

ISSN 0130-8475

Институт почвоведения и агрохимии

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1961 г.

**№ 1(68)
Январь–июнь 2022 г.**

Минск
2022

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 *Ю. К. ШАШКО*

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

Т. Н. АЗАРЕНКО, И. М. БОГДЕВИЧ, И. Р. ВИЛЬДФЛУШ,
С. А. КАСЬЯНЧИК, Н. В. КЛЕБАНОВИЧ, В. В. ЛАПА,
Е. Г. МЕЗЕНЦЕВА, Н. А. МИХАЙЛОВСКАЯ, Г. В. ПИРОГОВСКАЯ,
Ю. В. ПУТЯТИН, Т. М. СЕРАЯ, В. Г. СЫЧЕВ

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

1(68)

Январь – июнь 2022 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, 90
Тел. (017) 351-08-21, факс (017) 374-04-02
E-mail: brissainform@mail.ru

Ответственная за выпуск *Н. Ю. Жабровская*

Редакторы *Т. Н. Самосюк, А. С. Атлас*
Компьютерная верстка *А. С. Атлас*

Подписано в печать 15.06.2022. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 19,65. Уч.-изд. л. 17,45. Тираж 100 экз. Заказ 161.

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», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

- Дыдышко С. В., Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В.** Агроэкологическая оценка пригодности почв пахотных земель Мстиславского района для возделывания зерновых культур..... 7
- Курьянович М. Ф., Давидович Ю. С., Шалькевич Ф. Е.** Использование инфракрасных тепловых космических снимков для изучения почвенного покрова 21
- Цыбулько Н. Н., Устинова А. М., Юхновец А. В., Цырибко В. Б., Касьяненко И. И., Воронович С. Д.** Продуктивность однолетних и многолетних трав на дерново-подзолистых почвах разной степени эродированности (результаты длительных полевых опытов) 31

2. ПЛОДРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

- Мезенцева Е. Г., Кулеш О. Г., Грачёва А. А.** Влияние дефицитных систем удобрения на динамику содержания фосфатов и калия, их баланс в длительном опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве 40
- Пироговская Г. В.** Новые формы жидких азотсодержащих удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур в Беларуси 49
- Путятин Ю. В.** Оценка доступности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr сельскохозяйственным растениям в изменяющихся климатических условиях..... 64
- Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Симанков О. В.** Фосфорное питание яровой пшеницы на высокообеспеченной фосфатами дерново-подзолистой легкосуглинистой почве..... 73
- Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Кирдун Т. М., Мачок Т.В., Бирюкова О. М., Белявская Ю. А., Торчило М. М., Жабровская Н. Ю.** Агроэкономическая эффективность систем удобрения озимой пшеницы на высокоокультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве 85
- Вафоева М. Б., Абдуазимов А. М.** Влияние различных систем удобрения на качество зерна озимой пшеницы (в условиях Кашкадарьинской области Республики Узбекистан) 94
- Станилевич И. С., Богдевич И. М., Путятин Ю. В., Довнар В. А., Третьяков Е. С.** Диагностика минерального питания озимой тритикале серой и магнием на дерново-подзолистой суглинистой почве 103

Мезенцева Е. Г., Кулеш О. Г., Грачёва А. А., Симанков О. В., Зенькова С. М. Эффективность агробиотехнологических приёмов возделывания кукурузы на зелёную массу на дерново-подзолистой супесчаной почве.....	114
Иовик Л. Н. Влияние известкования дерново-подзолистой супесчаной почвы на вынос и баланс основных элементов питания при возделывании кукурузы.....	129
Пироговская Г. В., Сороко В. И., Хмелевский С. С. Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и жирнокислотный состав масла озимого и ярового рапса при возделывании на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве	138
Гончарук В. А., Зимина М. В., Синевич Т. Г. Эффективность применения сульфата магния в посевах подсолнечника	155
Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Белявская Ю. А., Кирдун Т. М., Бирюкова О. М., Торчило М. М. Микроэлементный состав сельскохозяйственных культур, произрастающих на территории Республики Беларусь	163
Рак М. В., Пукалова Е. Н. Эффективность микроудобрений МикроСтим при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах	174
Рак М. В., Гузова Н. С. Действие микроудобрений на накопление меди, марганца и цинка в растениях озимой пшеницы на дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве	183
Рак М. В., Пукалова Е. Н., Гузова Н. С., Гук Л. Н. Эффективность микроудобрений при возделывании озимого рапса на дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве	192
Михайловская Н. А., Барашенко Т. Б., Погирницкая Т. В., Дюсова С. В. Скрининг способности калиймобилизующих ризобактерий метаболизировать гербицид глифосат	200
Босак В. Н., Сачивко Т. В. Процессы химического выветривания новых видов агромелиорантов	212
Матыченков В. В., Бочарникова Е. А., Пироговская Г. В., Ермолович И. Е. Перспективы использования кремниевых препаратов в сельском хозяйстве (обзор научной литературы).....	219
Рефераты	235
Правила для авторов	244

CONTENTS
1. SOIL RESOURCES AND THEIR RATIONAL USE

- Dydyshka S. V., Azarenok T. N., Matychenkova O. V.** Agroecological assessment of suitability of soils Mstislavsky district of arable land for grain crops 7
- Kuryanovich M. F., Davidovich Y. S., Shalkevich F. E.** Of using infrared thermal space images to study the soil cover 21
- Tsybulka N. N., Ustinova A. M., Yukhnovets A. V., Tsyrybka V. B., Kasyanenko I. I., Voronovich S. D.** Influence of erosion of sod-podzolic soils on the productivity of agricultural crops (results of long-term field experiments)..... 31

2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION

- Mezentseva E. G., Kulesh O. G., Gracheva A. A.** Influence of deficit fertilizer systems on the dynamics of phosphate and potassium content and their balance in long-term experiments on sod-podsolic loamy sand soil 40
- Pirogovskaya G. V.** New forms of liquid nitrogen-containing fertilizers in the cultivation of agricultural crops in Belarus 49
- Putyatin Y. V.** Assessment of the availability of ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides to agricultural plants in changing climatic conditions 64
- Kulesh O. G., Mezentseva E. G., Simankov O. V.** Phosphorus nutrition of spring wheat on sod-podzolic light loamy high phosphate soils 73
- Seraya T. M., Bahatyrova E. N., Kirdun T. M., Machok T. V., Biryukova O. M., Belyavskaya Y. A., Torchilo M. M., Zhabrovskaya N. Yu.** Agro-economical efficiency of winter wheat fertilization systems on highly cultivated sod-podzolic loamy soil 85
- Vafoeva M. B., Abduazimov A. M.** The influence of various fertilizer systems on the quality of winter wheat grain (in the conditions of Kashkadarya region the Republic of Uzbekistan) 94
- Stanilevich I. S., Bogdevitch I. M., Putyatin Yu. V., Dovnar V. A., Tretjakov Ye. S.** Diagnostic of the winter triticale for sulfur and magnesium nutrition on podzoluvisol loamy soil 103
- Mezentseva E. G., Kulesh O. G., Gracheva A. A., Simankov O. V., Zenkova S. M.** Efficiency of agrobiotechnological practices of cultivation of cup for green growth on soddy-podzolic loamy-sandy soils 114

Iovik L. N. The influence of sod-podzolic sandy loam soil liming on the nutrient removing and balance during corn cultivation	129
Pirogovskaya G. V., Soroko V. I., Khmelevskij S. S. Influence of sulfur-containing fertilizers on productivity and fatty acid composition of oil in winter and spring rapeseed when cultivated on sod-podzolic loamy sand soil	138
Goncharuk V. A., Zimina M. V., Sinevich T. G. Efficiency of the use of magnesium sulfate in sunflower crops	155
Bahatyrova E. N., Seraya T. M., Belyavskaya Y. A., Kirdun T. M., Biryukova O. M., Torchilo M. M. Trace element composition of agricultural crops growing on the territory of the Republic of Belarus	163
Rak M. V., Pikalova E. N. The effectiveness of micro-fertilization of microstim in the cultivation of agricultural crops on sod-podzolic soils	174
Rak M. V., Guzova N. S. The effect of micronutrients on the accumulation of copper, manganese and zinc in winter wheat plants on sod-podzolic highly cultivated light loamy soil	183
Rak M. V., Pukalova E. N., Guzova N. S. , Guk L. N. The effectiveness of micro fertilizers in the cultivation of winter rapeseed on sod-podzolic highly cultivated light loamy soil	192
Mikhailouskaya N. A., Barashenko T. B., Pogirnitskaya T. V., Dyusova S. V. Screening the capability of potassium mobilizing rhizobacteria to metabolise herbicide glyphosate	200
Bosak V. M., Sachyuka T. U. Processes of chemical weathering of new types of agromeliorants.....	212
Matichenkov V. V., Bocharnikova E. A., Pirogovskaja G. V. Prospects for the use of silicon preparations in agriculture (review of scientific literature).....	219
Summaries	235
Instructions for authors	244

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.474:631.452

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-7-20](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-7-20)

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ПОЧВ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ МСТИСЛАВСКОГО РАЙОНА ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

С. В. Дыдышко, Т. Н. Азарёнок, О. В. Матыченкова

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

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях для интенсификации растениеводческой отрасли важнейшими требованиями являются минимизация затрат на получение продукции и соблюдение технологий производства, которое тесно связано как с проведением мероприятий по улучшению агрономических свойств пахотных почв, так и с разработкой действенных способов использования эффективного плодородия.

Пахотные земли в республике характеризуются неоднородностью почвенного покрова, обусловленного разнообразием гранулометрического состава почвообразующих и подстилающих пород, а, следовательно, и различным уровнем плодородия [2, 4, 6, 14]. В настоящее время номенклатурный список почв включает 426 наименований, а новая шкала оценочных баллов, разработанная для очередного тура кадастровой оценки земель, состоит из 332 разновидностей наиболее распространенных в составе пахотных земель [13, 21]. Разнообразие почв требует объединения близких по свойствам в более крупные группы – агропроизводственные группировки, построение которых основывается на следующих принципах: учет требований сельскохозяйственных культур к почвенным условиям; различие в плодородии почв, а также в агропочвенных и агротехнологических свойствах; различие в оценке земель, характеризующей почвенное плодородие. Критериями выделения групп являются: генетическая близость почв; гранулометрический состав и строение пород; степень окультуренности или деградации почв; однотипность мелиоративного воздействия при однотипности факторов, лимитирующих почвенное плодородие [30].

Работы по агропроизводственной группировке почв начали активно развиваться в период проведения крупномасштабных почвенных исследований. Первая агропроизводственная группировка почв Беларуси, которая использовалась при проведении I тура почвенного обследования, была проведена в 1960 г. [7]. При этом было выделено 11 агрогрупп, которые в свою очередь подразделялись на 47 подгрупп. Агрогруппы выделялись по типам почв, подгруппы – по гранулометрическому составу. Накопление данных о почвах республики

при крупномасштабном картографировании и проведение бонитировки почв позволили более точно произвести их агропроизводственную группировку. При проведении II тура почвенного обследования было выделено 33 агрогруппы [10, 26], а в методических указаниях – 30 агрогрупп [12].

Агропроизводственная группировка почв, разработанная Н. И. Смеяном, несколько отличается от перечисленных группировок [25, 28]. В ее основу положены генетические свойства почв, определяющие потребность в гидротехнической и химической мелиорации при использовании под пашню. По этому признаку почвы республики были объединены в 5 классов по потребности в мелиорациях, которые включают 19 агрогрупп, выделенных по генетическим свойствам (тип, увлажнение, гранулометрический состав) и набору основных мероприятий, устраняющих отрицательные свойства почв.

В связи с изменением агроклиматических условий в республике [14] особую значимость приобретают исследования почвенно-агроэкологических условий возделывания сельскохозяйственных культур. «...Размещение основных сельскохозяйственных культур в наиболее благоприятных для их роста и развития почвенно-климатических условиях дает возможность максимально использовать естественные природные ресурсы и сократить за счет этого потребление техногенных средств интенсификации земледелия» [19]. Очевидно, что наряду с общей агропроизводственной группировкой почв республики по пригодности под сельскохозяйственные культуры, первостепенное значение приобретают частные агрогруппировки с учетом их индивидуальных требований к составу и свойствам почв на региональном уровне землепользования.

В существующих отраслевых регламентах [11] не в полной мере показаны почвенные разновидности, отражающие разнообразие компонентного состава почв пахотных земель для возделывания сельскохозяйственных культур на региональном уровне землепользования. Отсутствие этих сведений затрудняет проведение этапа планирования в размещении сельскохозяйственных культур на рабочих участках в соответствии с их биологическими требованиями к условиям произрастания. Так, в существующем регламенте для возделывания озимой пшеницы предложены лишь 4 почвенные разновидности (дерново-подзолистые, средне- и легкосуглинистые и связносупесчаные почвы, подстилаемые с глубины 0,8–1,0 м моренным суглинком, окультуренные торфяные), в то время, как на основе частной группировки, например, установлено, что для возделывания озимой пшеницы пригодны 15 (дерново-карбонатные и дерново-подзолистые средне- и легкосуглинистые, а также связносупесчаные, подстилаемые моренным суглинком с глубины до 1 м и др.). В целом, для группы зерновых культур в регламентах указано 3–4 почвенные разновидности, а с учетом существующих агроэкологических условий пригодны 15.

Установление степени пригодности почв с использованием частных (специализированных) группировок является необходимым условием для формирования научно обоснованной структуры посевных площадей на территории землепользований.

Цель исследований – агроэкологическая оценка почв пахотных земель Мстиславского района и апробирование частных агропроизводственных группировок для установления степени пригодности почв пахотных земель для возделывания зерновых культур и ресурсосберегающего землепользования с учетом современного компонентного состава почвенного покрова.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования явилось все разнообразие почв пахотных земель Мстиславского района.

Изучение природно-хозяйственного потенциала почв по данным материалов крупномасштабного почвенного картографирования и осушенных сельскохозяйственных земель (2000–2019 гг.), данным агрохимических обследований (2013–2016 гг.) и II тура землеоценочных работ (2009–2016 гг.) с учетом корректировок в 2017–2020 гг. показало, что почвы как на республиканском, так и на региональном уровне землепользования (в пределах административного района) характеризуются неоднородностью компонентного состава по типовой принадлежности, степени увлажнения, подстилающих и почвообразующих пород, мелиоративным состоянием, степенью эродированности, различным уровнем эффективного плодородия. Для районного уровня землепользования характерен свой «индивидуальный» набор почвенных разновидностей, т. е. разный агроэкологический потенциал для выращивания сельскохозяйственных культур. Основной фонд пахотных земель Мстиславского района составляют автоморфные дерново-подзолистые (46,0 %) и дерново-подзолистые заболоченные (53,8 %) почвы, на дерновые и дерново-карбонатные заболоченные и аллювиальные дерновые заболоченные почвы приходится 0,2 %. По гранулометрическому составу почвы распределились следующим образом: легкосуглинистые – 90,7 %, супесчаные – 9,0 % и песчаные – 0,3 %. На эродированные почвы приходится 46,6 %, среди которых преобладают слабо- и среднеэродированные – 27,9 и 17,7 % соответственно.

Средневзвешенные показатели основных агрохимических свойств пахотных земель по материалам 13 тура агрохимического обследования (2016 г.) [1] по Мстиславскому району следующие: кислотность (pH_{KCl}) – 5,96 ед., гумус – 1,97 %, содержание подвижных форм фосфора (P_2O_5) – 209 мг/кг и калия (K_2O) – 249 мг/кг. Оптимальные параметры для почв различного гранулометрического состава представлены в пособии [5]. Исследования по определению плодородия почв выполнены специалистами РУП «Институт почвоведения агрохимии» согласно действующим методикам и ГОСТ: показатели кислотности почв (pH_{KCl}) определяли потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85) [18]; общее содержание гумуса, (%) – по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91) [16]; определение содержания в почве подвижных фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) (мг/кг) – методом А. Т. Кирсанова (в модификации ВИУ А) (ГОСТ 26207-91) [17].

На основании отраслевых регламентов для возделывания зерновых культур установлены оптимальные параметры агрохимических свойств и агроэкологического состояния почв, так как по своим биологическим особенностям и отношению к почвенным условиям сельскохозяйственные культуры различаются [11]: для озимой пшеницы: pH – 6,0 и выше, содержание гумуса не менее 2,0 %, подвижного фосфора и калия – не менее 150 мг/кг почвы, эродированность и завалуненность отсутствует; для озимой тритикале: pH – 5,5–7,0, содержание гумуса – не менее 1,6 %, подвижного фосфора и калия – не менее 150 мг/кг почвы, эродированность и завалуненность отсутствует; для яровой пшеницы: pH – 5,6–7,5, содержание гумуса не менее 1,8 %, подвижного фосфора и калия – не менее

145 мг/кг почвы, эродированность и завалуненность отсутствует; для ячменя: рН – 5,6–6,0, содержание гумуса – не менее 1,8 %, подвижного фосфора и калия – не менее 150 мг/кг почвы, эродированность и завалуненность отсутствует.

Лабораторные исследования по определению гранулометрического состава проведены методом «пипетки» по Н. А. Качинскому (ГОСТ 12536-2014) [8]. Применение данного метода обусловлено его низкой затратностью, простотой и доступностью использования в лабораторных условиях.

Пригодность почв установлена на основании усовершенствованной агропроизводственной группировки почв исходя из их генетических свойств (генезиса, гранулометрического состава, степени увлажнения), фактических показателей плодородия (показателя кислотности, содержания гумуса, подвижных форм фосфора и калия) и степени эродированности почв.

Обработка данных выполнена при помощи приложения «Анализ данных» (описательная статистика) программы EXCEL с помощью сравнительно-аналитического, аналитического методов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одной из важнейших характеристик почвенно-ресурсного потенциала сельскохозяйственных земель является их оценка, которая периодически проводится в республике для всех хозяйств, районов, областей и страны в целом. Основой оценки плодородия почв является шкала оценочных баллов, которая представляет собой список почв, распространенных на исследуемой территории, с установленными для них количественными показателями (баллами), объективно отражающими их плодородие при возделывании сельскохозяйственных культур. По шкале оцениваются типовые различия, характер и степень увлажнения, гранулометрический состав почвообразующих и подстилающих пород, литологическое строение профиля, как наиболее стабильные характеристики, определяющие уровень плодородия почв при оптимальных условиях реализации их генетического потенциала (исходный балл).

Необходимо отметить, что в условиях Беларуси наиболее важный показатель, который определяет уровень почвенного плодородия – гранулометрический состав не только пахотного горизонта, но и в пределах метровой корнеобитаемой толщи почвообразующих пород. Гранулометрический состав с достаточной полнотой отражается на почвенных картах различных уровней землепользования и учитывается в оценочных шкалах плодородия почв при проведении кадастровых землеоценочных работ. Например, балл плодородия дерново-подзолистых средне- и легкосуглинистых почв составляет 72,3, а мощных рыхлопесчаных почв – 20,0 баллов. От него зависит интенсивность протекания многих почвообразовательных процессов. Тонкодисперсная составляющая почв отвечает за содержание и качество органического вещества, емкость поглощения и состав поглощенных оснований. Именно гранулометрический состав, наряду с содержанием гумуса, служит одним из главных критериев качества почв и их агроэкологического потенциала.

В таблице 1 приведен фрагмент шкалы оценочных баллов, включающий дерново-подзолистые автоморфные и заболоченные (слабоглееватые, глееватые и глеевые) средне- и легкосуглинистые мощные почвы, которые составляют

ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

основной фонд (90,6 %) пахотных земель Мстиславского района: автоморфные – 39,6 % (23218 га), заболоченные – 51,0 % (29938 га) соответственно [4, 13]. Среди дерново-подзолистых заболоченных преобладают временно избыточно увлажненные (слабоглееватые) почвы, которые по своим характеристикам близки к автоморфным. Показатели урожайности сравнимы с полученными на автоморфных почвах. Например, по данным В. А. Горкунова [3] на временно избыточно увлажненных легкосуглинистых почвах урожайность озимой ржи снижается на 5–13 %, а урожайность ячменя практически соответствует урожайности, получаемой на автоморфных почвах.

Таблица 1

**Фрагмент шкалы оценочных баллов пахотных почв Мстиславского района
(под возделывание зерновых культур) [5]**

Почвенные разновидности	Мелиоративное состояние*	Пахотные земли	в том числе под сельскохозяйственные культуры					
			озимая рожь	озимая пшеница	озимая Тритикале	яровая пшеница	ячмень	овес
Дерново-подзолистые автоморфные								
Средне- и легкосуглинистые: мощные	–	72,3	71	75	73	75	73	71
Дерново-подзолистые заболоченные								
<i>временно избыточно увлажненные (слабоглееватые)</i>								
Средне- и легкосуглинистые: мощные	1	72,6	71	75	73	74	75	71
	0	68,6	64	67	68	72	73	69
<i>глееватые</i>								
Средне- и легкосуглинистые: мощные	1	68,6	64	67	66	74	75	73
	0	38,6	33	36	39	43	44	45
<i>глеевые</i>								
Средне- и легкосуглинистые: мощные	1	64,2	60	63	62	69	70	71
	0	23,6	21	22	23	23	24	26
Дерновые и дерново-карбонатные заболоченные (глеевые)								
Средне- и легкосуглинистые:	1	70,8	66	68	68	75	73	76
	0	26,6	24	25	25	26	26	29
Аллювиальные дерновые заболоченные (глееватые)								
На суглинистом аллювии	1	66,9	52	55	53	73	76	78
	0	37,4	28	30	29	37	39	41

* Мелиоративное состояние: 1 – осушенные, 0 – неосушенные.

Из таблицы 1 видно, что дерново-подзолистые автоморфные средне- и легкосуглинистые мощные почвы характеризуются высоким баллом плодородия – 72,3, варьируя от 71 для озимой ржи и овса до 75 баллов для

пшеницы. Плодородие дерново-подзолистых заболоченных слабogleеватых осушенных почв сопоставимо с плодородием автоморфных аналогов – балл плодородия составляет 72,6, варьируя от 71 под озимую рожь и овес до 75 баллов под озимую пшеницу и ячмень.

Оценка плодородия почв заключается в определении их пригодности по совокупности природных свойств для возделывания сельскохозяйственных культур. Так, средневзвешенные показатели основных агрохимических свойств пахотных земель по материалам 13 тура агрохимического обследования (2016 г.) [1] по Мстиславскому району ниже оптимальных параметров (за исключением K_2O), которые необходимы для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Оптимальные параметры для почв различного гранулометрического состава представлены в пособии [5]. Следует отметить низкое содержание гумуса в почвах Мстиславского района, что связано в первую очередь с большими площадями эродированных почв.

Одним из важных условий оптимизации землепользования в хозяйствах является использование почв с учетом их пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур и формирование на этой основе структуры посевных площадей, так как по своим биологическим особенностям и отношению к почвенным условиям сельскохозяйственные культуры существенно различаются [11].

На основании усовершенствованной общей агропроизводственной группировки почв под сельскохозяйственные культуры и исходя из индивидуальных требований отдельных культур к почвенным условиям, в республике разработаны частные агропроизводственные группировки почв по их пригодности для возделывания отдельных сельскохозяйственных культур.

Первые специализированные (частные) группировки почв под отдельные культуры (ячмень, озимую пшеницу, озимую рожь, овес, картофель, лен-долгунец) были разработаны Н. И. Смяном в 1980 г. [27]. В дальнейшем эти группировки совершенствовались [9] и на протяжении длительного времени широко использовались для организации и ведения севооборотов в хозяйствах.

Заслуживает внимания так называемая 4-уровневая группировка почв (от лучших к худшим). В ней все почвы республики были объединены в 12 агрогрупп (в некоторых вариантах 10), для которых установлена степень их пригодности для возделывания 12 сельскохозяйственных культур или их групп по четырем уровням – наиболее пригодные, пригодные, малопригодные и непригодные. Агрогруппировка произведена исходя из бонитировочного балла, рассчитанного на основе корреляционной зависимости между свойствами почв и урожайностью сельскохозяйственных культур, с учетом типовых различий почв, гранулометрического состава и увлажнения. Позднее такая группировка была расширена под наиболее требовательные к почвенным условиям культуры, возделываемые в республике: озимое тритикале, яровую пшеницу, сахарную свеклу, озимый рапс, люцерну, клевер) и усовершенствована за счет включения современных данных по условиям произрастания культур (степени эродированности, завалуненности почв и т. д.) [20, 30], данных об агрохимических свойствах почв, на которых они размещаются.

В настоящее время агропроизводственная группировка почв включает 15 агрогрупп, по которым приводится оценка степени их пригодности для 16 сельскохозяйственных культур или их групп. Частная агропроизводственная

группировка почв представляет собой таблицу, в которой для конкретной сельскохозяйственной культуры для каждой степени пригодности приводится перечень классификационных единиц почв (их характеристик или показателей) с учетом их балльной оценки по типам, степени увлажнения, строения и гранулометрического состава почвообразующих и подстилающих пород, современного экологического состояния, которые соответствуют одной из 4 групп (наиболее пригодные, пригодные, малопригодные и непригодные) пригодности почв. Наиболее важными в этой группировке являются первые две группы почв (наиболее пригодные и пригодные). Такая группировка почв позволит более точно установить пригодность каждого конкретного участка для возделывания различных культур, так как она учитывает не только генетические характеристики почв и биологические особенности культур, а также климатические и агроэкологические условия этих участков. Усовершенствованная группировка почв является основой для правильного размещения культур по полям севооборотов, установления структуры посевных площадей в зависимости от почвенных условий в сельскохозяйственных предприятиях.

Исходя из общей агропроизводственной группировки почв, оценки плодородия почв Мстиславского района и их эродированности установлена степень пригодности почв для возделывания зерновых культур (табл. 2). Таблица содержит информацию по пригодности каждой почвенной разновидности района для возделывания той или иной культуры, а также позволяет определить площади пригодных почв для их выращивания.

Таблица 2

Пригодность почв Мстиславского района для возделывания зерновых культур [24]

№ п/п	Почвы	Площадь, га						
			Озимая рожь	Озимая пшеница	Озимая тритикале	Яровая пшеница	Ячмень	Овес
Дерново-подзолистые								
1(5)	средне- и легкосуглинистые мощные	6824,3	3	3	3	3	3	3
	слабоэродированные	9832,2	3	3	3	3	3	3
	среднеэродированные	6231,0	2	2	2	2	2	2
	сильноэродированные	330,9	1	1	1	1	1	1
2(7)	связносупесчаные подстилаемые суглинком	1963,4	3	3	3	3	3	3
3(8)	связносупесчаные подстилаемые песком	622,5	2	2	2	2	2	2
4(9)	рыхлосупесчаные подстилаемые суглинком	390,4	2	1	2	1	1	2
5(10)	рыхлосупесчаные подстилаемые песком	646,7	2	1	1	1	1	2
6(11)	песчаные мощные	120,5	1	0	0	0	1	1
7(12)	песчаные подстилаемые суглинком	36,0	2	0	1	0	1	1

№ п/п	Почвы	Площадь, га						
			Озимая рожь	Озимая пшеница	Озимая тритикале	Яровая пшеница	Ячмень	Овес
Дерново-подзолистые заболоченные								
<i>слабоглееватые</i>								
8(14)	средне- и легкосуглинистые мощные	17924,6	2	2	2	3	3	3
	слабоэродированные	6554,8	2	2	2	3	3	3
	среднеэродированные	4154,0	1	1	1	1	1	2
	сильноэродированные	220,6	0	0	0	1	1	1
9(16)	связносупесчаные подстилаемые суглинком	802,0	1	1	1	2	2	2
10(17)	связносупесчаные подстилаемые песком	321,4	2	2	2	2	2	2
11(18)	рыхлосупесчаные подстилаемые суглинком	37,2	1	1	1	2	2	2
12(19)	рыхлосупесчаные подстилаемые песком	356,3	2	0	1	0	1	1
13(20)	песчаные мощные	18,6	2	0	1	0	1	1
<i>глееватые</i>								
14(23)	средне- и легкосуглинистые мощные	1053,1	0	0	0	0	0	1
15(25)	связносупесчаные подстилаемые суглинком	65,2	0	0	0	0	0	1
16(26)	связносупесчаные подстилаемые песком	30,4	0	0	0	0	0	0
<i>глеевые</i>								
17(32)	средне- и легкосуглинистые	30,5	0	0	0	0	0	1
18(33)	связносупесчаные	25,1	0	0	0	0	0	0
Дерновые и дерново-карбонатные заболоченные								
<i>глеевые</i>								
19(47)	средне- и легкосуглинистые	24,7	0	0	0	0	0	0
Аллювиальные дерновые заболоченные								
<i>слабоглееватые</i>								
20(51)	на суглинистом аллювии	6,8	0	0	0	1	1	1
<i>глееватые</i>								
21(54)	на суглинистом аллювии	48,8	0	0	0	0	0	0
	По району	58672,0						

Ввиду того, что в Мстиславском районе значительные площади занимают эродированные почвы, при оценке пригодности почв для возделывания сельскохозяйственных культур учитывалась также степень их эродированности. Для этого пригодность почв снижали на 1, 2 или 3 единицы по сравнению с неэродированными почвами.

При определении площадей пригодных почв учитывалась также их кислотность, так как некоторые сельскохозяйственные культуры очень требовательны к ней. На основании отраслевых регламентов для возделывания зерновых культур (2012 г.) [11] были установлены показатели кислотности почв, на которых допускается возделывание тех или иных культур. По материалам агрохимического обследования установлены их площади, а несоответствующие этим требованиям были изъяты из площадей пригодных почв.

В таблице 3 приведены площади почв Мстиславского района по степени их пригодности для возделывания зерновых культур. Показаны площади, на которых экономически целесообразно возделывать ту или иную сельскохозяйственную культуру. Так, для зерновых культур площади наиболее пригодных и пригодных почв варьируют от 85,5 % под озимую пшеницу до 96,0 % под овес. К этим площадям введены поправки на кислотность почв. Общие площади таких почв (с учетом кислотности) в районе составляют от 58,1 % для озимой пшеницы до 78,0 % для овса.

Таблица 3

Площади почв Мстиславского района по степени пригодности для возделывания зерновых культур [23]

Степень пригодности почв	Площадь	Озимая рожь	Озимая пшеница	Озимая тритикале	Яровая пшеница	Ячмень	Овес
Наиболее пригодные	га	18619,9	18619,9	18619,9	43099,4	43099,4	43099,4
	%	31,7	31,7	31,7	73,5	73,5	73,5
Пригодные	га	33102,3	31654,3	32044,5	8014,0	8014,0	13205,1
	%	56,4	53,9	54,6	13,7	13,7	22,5
Малопригодные	га	5444,6	6361,2	6382,0	5749,0	6280,0	2238,5
	%	9,3	10,9	10,9	9,7	10,6	3,8
Непригодные	га	1505,2	2036,6	1625,7	1809,2	1277,8	129,0
	%	2,6	3,5	2,8	3,1	2,2	0,2
Всего наиболее пригодных и пригодных	га	51722	50264	50664	51113	51113	56304
	%	88,2	85,5	86,4	87,1	87,1	96,0
Показатели рН и доля почв	рН	≥5,5	≥5,8	≥5,5	≥5,6	≥5,6	≥5,5
	%	81,2	67,8	81,2	77,5	77,5	81,2
Всего пригодных с учетом рН	га	42017,3	34078,9	41139,1	39612,0	39612,0	45739,8
	%	71,6	58,1	70,1	67,5	67,5	78,0
С учетом севооборота	га	10504	8520	10284	9903	9903	11435
	%	17,9	14,5	17,5	16,8	16,8	19,5

Значительная роль в ресурсосберегающем земледелии отводится рациональному землепользованию, т. е. оптимизации структуры посевных площадей на основе научно обоснованного чередования культур в севообороте: уточняются примерные схемы севооборотов с учетом конкретных условий хозяйствования и чередования культур, и определяется удельный вес

сельскохозяйственных культур в рекомендуемых для различных агрогрупп почв севооборотах [29]. На основании этого проведен расчет посевных площадей зерновых культур по агрогруппам почв, исходя из их площадей и удельного веса в рекомендуемых для них севооборотах. Определены суммарные посевные площади зерновых культур по району и их удельный вес в площади пашни.

Рассчитанная таким образом структура посевных площадей зерновых культур учитывает только почвенные условия. В каждом конкретном хозяйстве (районе) она может быть скорректирована в зависимости от сложившихся условий хозяйствования.

Однако сельскохозяйственные культуры не могут высеваться на всех пригодных почвах, необходимо соблюдать их чередование в севооборотах, а также допустимые сроки возврата на прежнее поле по фитосанитарным условиям. Так, по данным Института земледелия, допустимый период возврата на прежнее поле для озимой пшеницы и озимой тритикале составляет 2–3 года, яровой пшеницы и ячменя – 1–3 года [11]. Поэтому возможная площадь посева будет значительно меньше для зерновых культур, она уменьшается в 4 раза по сравнению с площадью пригодных почв и составляет: для озимой пшеницы – 14,5 %, яровой пшеницы и ячменя – 16,8 %, озимой тритикале – 17,5 %, озимой ржи – 17,9 %, овса – 19,5 %.

С учетом оценки плодородия почв разработан комплекс адаптированных к местным условиям агроуправляющих мер и мероприятий по возделыванию сельскохозяйственных культур, по повышению пригодности почв под культуры. Здесь же рассматриваются только те, которые непосредственно связаны с почвами и их технологическим состоянием [22, 23].

Так, за период исследований с 2017 по 2019 гг. посевные площади зерновых культур в Мстиславском районе сократились с 47,77 до 43,59 % (табл. 4), причем наибольшее сокращение отмечено для пшеницы – 6,80 %.

Таблица 4

Посевные площади зерновых культур в сельскохозяйственных организациях Мстиславского района в 2017–2019 гг.

Культура	Посевные площади					
	2017 г.		2018 г.		2019 г.	
	га	%	га	%	га	%
Зерновые культуры – всего	28510	47,77	26902	45,86	25243	43,59
рожь	2724	4,56	1402	2,39	1529	2,64
пшеница (всего)	11217	18,80	8880	15,14	6950	12,00
в т. ч.: озимая	8574	14,37	6652	11,34	5463	9,43
яровая	2643	4,43	2228	3,80	1487	2,57
тритикале (всего)	2974	4,98	3607	6,15	4054	7,00
в т. ч.: озимая	2974	4,98	3607	6,15	4054	7,00
яровая	–	0,00	0	0,00	0	0,00
ячмень яровой	4677	7,84	4764	8,12	4423	7,64
овес	2781	4,66	3134	5,34	4266	7,37

Сравнение полученных данных с фактическими площадями посевов сельскохозяйственных культур показывает посевные площади каких культур необходимо сократить, а каких при экономической целесообразности можно увеличить. Применительно к Мстиславскому району можно заключить, что в районе достаточно площадей для выращивания практически всех возделываемых в настоящее время зерновых культур на пригодных почвах. Необходимо только более тщательно подходить к подбору участков для их размещения (табл. 4, 5).

Таблица 5

Посевные площади зерновых культур в Мстиславском районе

Культура	Посевные площади		
	фактическая (% от посевных площадей)		возможные с учетом чередования в севообороте, %
	2017 г.	2019 г.	
Рожь озимая	4,6	2,6	17,9
Пшеница озимая	14,4	9,4	14,5
Пшеница яровая	4,4	2,6	16,8
Тритикале озимая	5,0	7,0	17,5
Ячмень яровой	7,8	7,6	16,8
Овес	4,7	7,4	19,5

Сравнение полученных данных с фактическими площадями посевов зерновых культур в Мстиславском районе показывает, что посевные площади зерновых можно увеличить: озимой ржи – на 13,3 %, яровой пшеницы – на 12,4 %, тритикале озимой – на 12,5 %, ячменя ярового – на 9,0 % и овса – на 14,8 %, а для озимой пшеницы резерва нет – фактическая площадь посева составляет 14,4 %, а возможная – 14,5 %.

ВЫВОДЫ

1. На основании усовершенствованной агропроизводственной группировки установлена степень пригодности почв пахотных земель Мстиславского района для возделывания зерновых культур (озимая рожь, озимая и яровая пшеница, озимая тритикале, ячмень яровой и овес: наиболее пригодные, пригодные, малопригодные, непригодные. Пригодность почв установлена исходя из их генетических свойств (генезис, гранулометрический состав, степень увлажнения), фактических показателей оценки плодородия (показатель кислотности, содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия) и степени эродированности почв.

2. Установлены площади пригодных почв Мстиславского района для возделывания зерновых культур: 85,5 % для озимой пшеницы, 86,4 % – озимой тритикале, 87,1 % – яровой пшеницы и ячменя, 88,2 % – озимой ржи и 96,0 % для овса. Общие площади пригодных почв с учетом рН для возделывания зерновых культур варьируют от 58,1 % для озимой пшеницы, 67,5 % – яровой пшеницы и ячменя, 70,1 % – озимой тритикале, 71,6 % – озимой ржи до 78 % для овса. Установлены

также возможные площади посева зерновых культур с учетом их чередования в севооборотах: для озимой пшеницы – 14,5 %, яровой пшеницы и ячменя – 16,8 %, озимой тритикале – 17,5 %, озимой ржи – 17,9 %, овса – 19,5 %.

3. Сравнение полученных данных возможных посевных площадей зерновых культур с учетом чередования в севообороте с фактическими площадями их посевов в Мстиславском районе показывает резерв посевных площадей этих культур: озимой ржи – 13,3 %, яровой пшеницы – 12,4 %, тритикале озимой – 12,5 %, ячменя ярового – 9,0 % и овса – 14,8 %, а для озимой пшеницы резерва нет – фактическая площадь посева составляет 14,4 %, а возможная – 14,5 %.

Таким образом, результаты исследований могут быть использованы для усовершенствования структуры посевных площадей зерновых культур, исходя из агроэкологического состояния почвенного покрова, а также при разработке мероприятий по рациональному использованию земельных ресурсов района.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.

2. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (справочное пособие) / В. В. Лапа, [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапа, А. Ф. Черныша; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 170 с.

3. Горкунов, В. А. Структура почвенного покрова пахотных земель Могилевской области: монография / В. А. Горкунов; под ред. Н. И. Смеяна. – Могилев: МГУ им. А. А. Кулешова, 2002. – 184 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. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств. Содержание и технология работ / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. – Минск, 2011. – 137 с.

6. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель. Технология работ ТКП 302-2018 (33520) / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. – Минск, 2018. – 105 с.

7. Медведев, А. Г. Руководство по почвенному исследованию земель колхозов и совхозов БССР / А. Г. Медведев, Н. П. Булгаков, Ю. И. Гавриленко. – Минск, 1960. – 176 с.

8. Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава: ГОСТ 12536–2014. – Введ. 05.12.2014. – М: Стандартинформ, 2019. – 23 с.

9. Методические рекомендации по организации и ведению севооборотов в условиях интенсификации земледелия в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях Белорусской ССР. – Минск, 1988. – 45 с.

10. Методические указания по почвенно-геоботаническим и агрохимическим

крупномасштабным исследованиям в БССР; под ред. Н. И. Смеяна и И. Н. Соловей. – Минск: Ураджай, 1973. – 299 с.

11. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 288 с.

12. Полевое исследование и картографирование почв БССР: метод. указания; под. ред. Н. И. Смеяна, Т. Н. Пучкаревой, Г. А. Ржеутской // БелНИИ почвоведения и агрохимии. – Минск: Ураджай, 1990. – 221 с.

13. Почвенное обследование земель и создание, обновление почвенных карт. Порядок и технология работ. Издание официальное (ТКП 651-2020 (33520)). – Минск: Госкомимущество. – 2020. – 66 с.

14. Почвы Республики Беларусь: монография / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапа // Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 632 с.

15. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / Г. И. Кузнецов [и др.]; под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смеяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.

16. Почвы. Методы определения органического вещества: ГОСТ 26213-91. – Введ. 29.12.91. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 8 с.

17. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26207-91. – Введ. 29.12.91. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 7 с.

18. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО: ГОСТ 26483-85. – Введ. 26.03.85. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – 6 с.

19. *Привалов, Ф. И.* Проблемы земледелия и пути их решения / Ф. И. Привалов // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб.к научных материалов / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»; ред. Ф. И. Привалов [и др.]. – 2-е изд., доп. и перераб. – Минск, 2007. – С. 7–17.

20. Пригодность почв Республики Беларусь для возделывания отдельных сельскохозяйственных культур: рекомендации / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – 57 с.

21. Примерный номенклатурный список почв республики Беларусь / Г. С. Цытрон [и др.] // Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь, РУП «Институт почвоведения и агрохимии», УП «Проектный институт Белгипрозем». – Минск, 2013. – 64 с.

22. Проектирование противозерозионных комплексов и использование эрозивноопасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси: рекомендации / РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси»; под общ. ред. А. Ф. Черныша. – Минск, 2005. – 52 с.

23. Рекомендации по формированию адаптивно-ландшафтных систем земледелия в северной, центральной и южной почвенно-экологических провинциях Беларуси на основе оценки почвенно-энергетического потенциала пахотных земель / Т. Н. Азаренок [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 60 с.

24. Рекомендации по формированию адаптивно-ландшафтных систем земледелия в центральной почвенно-экологической провинции Беларуси на основе оценки почвенно-энергетического потенциала пахотных земель (Мстиславский район Могилевской области) / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2018. – 22 с.

25. *Смеян, Н. И.* Агропроизводственная группировка и районирование почв БССР в соответствии с их пригодностью под основные сельскохозяйственные культуры: автореф. дис. ... д.-ра с.-х. наук / Н. И. Смеян. – Москва, 1980. – 39 с.

26. *Смеян, Н. И.* Агропроизводственная группировка почв Белорусской ССР / Н. И. Смеян, И. Н. Соловей // Почвы Белорусской ССР; под ред. чл.-корр. АН БССР Т. Н. Кулаковской, акад. АН БССР П. П. Рогового и канд. с.-х. наук Н. И. Смеяна. – Минск: Ураджай, 1974. – С. 230–233.

27. *Смеян, Н. И.* Почвы и структура посевных площадей / Н. И. Смеян. – Минск: Ураджай, 1990. – 150 с.

28. *Смеян, Н. И.* Пригодность почв БССР под основные сельскохозяйственные культуры / Н. И. Смеян. – Минск: Ураджай, 1980. – 175 с.

29. Типовые ресурсосберегающие и почвозащитные системы севооборотов и структуры посевных площадей, адаптированные к районам проявления эрозии и избыточного увлажнения почв на основе агроэкологической оценки земель / Н. Н. Цыбулько [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 19 с.

30. *Цытрон, Г. С.* Усовершенствованная агропроизводственная группировка почв Беларуси по их пригодности для возделывания основных сельскохозяйственных культур / Г. С. Цытрон, Л. И. Шибут // Почвоведение и агрохимия. – № 2(45). – 2010. – С. 7–18.

AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF SUITABILITY OF SOILS MSTISLAVSKY DISTRICT OF ARABLE LAND FOR GRAIN CROPS

S. V. Dydyshka, T. N. Azarenok, O. V. Matychenkova

Summary

Based on the improved general agro-production grouping of soils, the assessment of soil fertility in the Mstislavsky district and their erosion, the degree of suitability of soils of arable land in the region for the cultivation of grain crops (winter rye, winter and spring wheat, winter triticale, spring barley and oats) was established: the most suitable, suitable, unsuitable, unsuitable. The areas of suitable soils for the cultivation of grain crops, as well as the possible areas for their sowing, taking into account the alternation in crop rotations, have been identified, and a reserve of sown areas of grain crops in the region has been established. The results of the research can be used in the development of measures for the rational use of land resources and for improving the structure of sown areas of grain crops, taking into account the current state of the soil cover.

Поступила 18.04.2022

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФРАКРАСНЫХ ТЕПЛОВЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

М. Ф. Курьянович, Ю. С. Давидович, Ф. Е. Шалькевич

*Белорусский государственный университет,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время материалы дистанционного зондирования нашли широкое применение в различных областях наук о Земле. Однако, если методические и технологические вопросы использования аэрокосмических снимков видимого, ближнего и среднего инфракрасного диапазона достаточно глубоко проработаны, то для инфракрасного теплового изучены недостаточно. На инфракрасных тепловых снимках отображаются тепловые свойства объектов земной поверхности, которые не находят отображения на снимках других диапазонов спектра и не воспринимаются зрительной системой человека. Вопросам получения температурных характеристик объектов из тепловых снимков посвящены ряд публикаций [1, 2]. Тепловое излучение является индикатором различных свойств объектов как на глобальном, так и региональном уровне.

Наиболее широко тепловые космические снимки низкого и очень низкого пространственного разрешения используются на глобальном уровне (вся планета, континенты, океаны) для изучения пространственно-временного распределения температур земной [3] и океанической [4–6] поверхности, состояния атмосферы [7, 8], исследования вулканической активности [9]. Лишь отдельные работы посвящены применению тепловых снимков для изучения структуры геосистем разного иерархического уровня [10, 11]. Публикации по использованию тепловых космических снимков для изучения почв фактически отсутствуют и требуют изучения.

Цель данной статьи заключается в изучении возможности использования тепловых снимков для дешифрирования почвенного покрова и растительности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом выполненных исследований послужил почвенный покров территорий Белорусского Полесья, сформированный на различных почвообразующих породах.

Предмет исследования – снимки инфракрасного теплового диапазона и возможности их использования при изучении почв.

Исследования выполнены с использованием инфракрасных тепловых космических снимков с пространственным разрешением 100 м, полученные съемочной системой Landsat 8 (в поставке мультиспектрального снимка с ресамплингом до 30 м). Для верификации результатов дешифрирования почв и растительности

на тепловых снимках использовались почвенные карты, а также инфракрасные, панхроматические и синтезированные космические снимки систем Landsat 8 (15 и 30 м), PlanetScope (4 м) и БКА (2,1 м) [12, 13].

При дешифрировании космических снимков применялись визуальный и автоматизированный методы, а также метод ключевых участков.

Компьютерная обработка космических снимков проводилась с использованием программных продуктов ENVI 5.6 и ArcGIS 10.8 на технической базе НИУ «Институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко», БГУ. Используемые материалы дистанционных съемок прошли радиометрическую и атмосферную коррекцию.

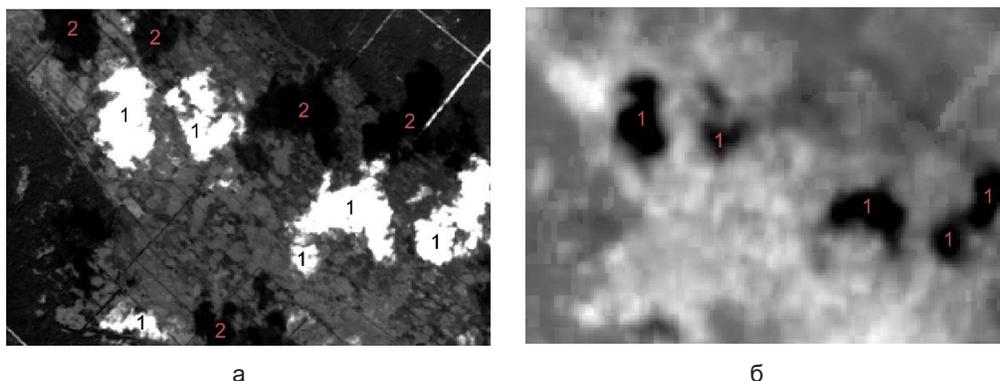
При обработке тепловых снимков был применен коэффициент масштабирования для получения значений термодинамической температуры в Кельвинах. Далее был произведен перевод значений термодинамической температуры из Кельвинов в Цельсии. Данные преобразования были произведены с помощью инструмента Band Math программного продукта ENVI 5.6.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Космические снимки, полученные в инфракрасном спектральном диапазоне, содержат информацию о собственном тепловом излучении объектов земной поверхности. Природные объекты обладают различными тепловыми и излучательными свойствами и по-разному реагируют на поступление солнечного излучения, что находит отображение в яркости их изображения на тепловых снимках. По тепловому режиму можно выделить объекты земной поверхности с температурой, обусловленной внутренним теплом (вулканы, термальные воды и др.), и нагреваемые Солнцем (растительность, почвы и др.). Наиболее динамичный температурный режим у объектов второй группы, который зависит от их физических и химических свойств, а также интенсивности солнечного излучения. Поэтому максимальные температурные контрасты природных объектов наблюдаются около полудня, они меньше вечером и значительно сглаживаются ночью, достигая минимума в предутренние часы.

При тематическом дешифрировании качество и количество полезной информации, извлекаемой из материалов дистанционной съемки (МДС), в значительной мере зависит от их правильного выбора. Подбор сезона съемки осуществляется в соответствии с разработанными оптимальными сроками дистанционных съемок для Республики Беларусь [14]. Использование снимков с пространственным разрешением 100 м обусловлено техническими возможностями съемочной системы Landsat 8. Выбор спектрального диапазона съемки 10–12 мкм объясняется максимумом теплового излучения в данном окне прозрачности. Наличие облачности может привести к ложному опознаванию объектов, поэтому съемку необходимо проводить при безоблачной погоде. Влияние облачности на дешифрируемость космических снимков наглядно демонстрирует рис. 1. На панхроматическом снимке (рис. 1, а) дешифрируемые объекты скрывают облака и их тени, на тепловом (рис. 1, б) – только облака.

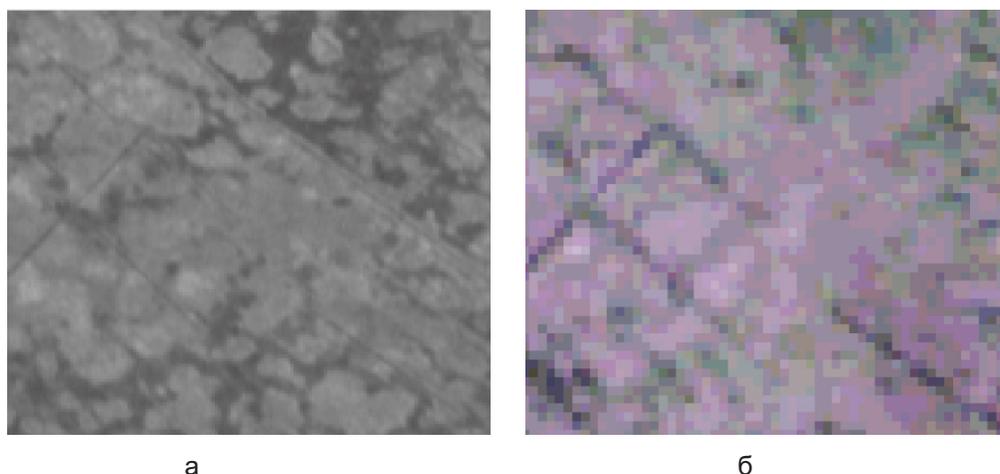
Для изучения особенностей дешифрирования почв на тепловых космических снимках было заложено три ключевых участка на различных почвообразующих породах.



а
 б
 Рис.1. Изображение облаков (1) и их теней (2) на панхроматическом (а) и тепловом (б) снимках

Исследования теплового поля мелиорированных торфяно-болотных почв проводились в пределах глубокой долинообразной депрессии [15], на территории Брагинского района Гомельской области. Территория преимущественно распахана, рельеф в целом выровненный, по всей территории распространены микроповышения, различные по площади и конфигурации, формирующие пятнистый рисунок изображения. Наглядное представление о пестроте почвенного покрова и его генерализации дают сканерные панхроматические космические снимки с пространственным разрешением 2,1 м, полученный с БКА (рис. 2, а) и космический снимок с пространственным разрешением 30 метров (рис. 2, б).

Космические снимки с различным пространственным разрешением (рис. 2) наглядно демонстрируют степень генерализации почвенного покрова. Если на космическом снимке с пространственным разрешением 2,1 метра выразительно изображаются микроповышения с минеральными почвами на общем фоне торфяных почв, то на снимке с разрешением 30 метров изображение генерализованно, значительное количество контуров объединены в отдельные контуры.



а
 б
 Рис.2. Изображение мелиорированной территории на космическом снимке с пространственным разрешением 2,1 м (а) и 30 м (б)

Для изучения взаимосвязи пространственного распределения теплового поля исследуемой территории и свойствами почв был заложен ключевой участок «Мелиорация» площадью 135,4 га, а также был заложен ключевой участок, на территорию которого была составлена почвенная карта масштаба 1 : 10 000 на основе аэрофотоснимка (рис. 3, 4).

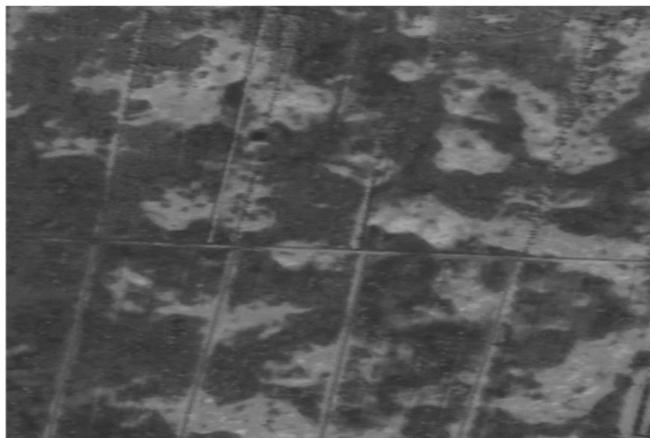


Рис.3. Фрагмент панхроматического снимка ключевого участка «Мелиорация»

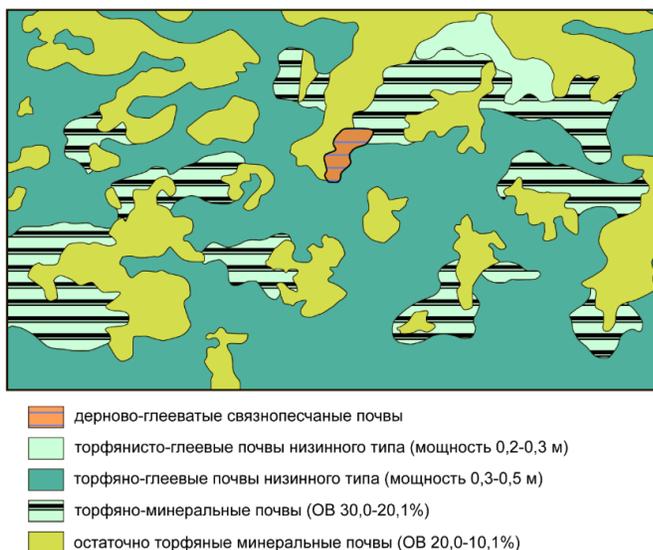


Рис.4. Фрагмент почвенной карты ключевого участка «Мелиорация» (масштаб 1 : 10 000)

Анализ изображений космических снимков, полученных в видимом (рис. 2) и тепловом (рис. 5) диапазоне электромагнитного спектра, а также почвенных карт (рис. 4) показало, что существует взаимосвязь между тоном изображения почв на панхроматических снимках и формированием теплового поля на тепловых снимках. Однако, невысокие изобразительные свойства теплового снимка данного пространственного разрешения потребовало проведения преобразования его

изображения с использованием ресамплинга, кластеризации и квантования. Кластеризация и квантование изображения теплового снимка было выполнено для повышения дешифрируемости изучаемых объектов. Все пиксели по их яркости изображения опробованным путем на основе анализа панхроматического космического снимка очень высокого разрешения (2,1 м) и почвенной карты в автоматизированном режиме были дифференцированы в 7 кластеров. Путем квантования каждая ступень кластера была окрашена в определенный цвет (рис. 6).



Рис.5. Фрагмент теплового снимка ключевого участка «Мелиорация»

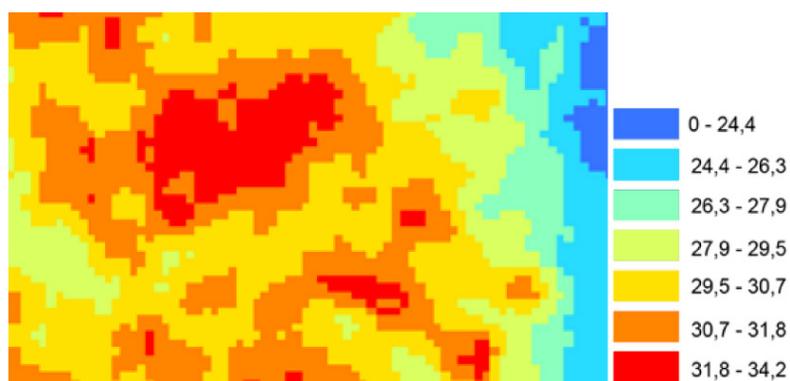


Рис.6. Квантованное изображение теплового снимка ключевого участка «Мелиорация» (в °С)

На квантованном изображении (рис. 6) красным цветом четко выделяются дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные связнопесчаные почвы, занимающие повышенные участки минеральных островов, температура которых колеблется в пределах от 31,7 °С до 34,1 °С. На плоских выровненных повышениях распространены дерново-глееватые связнопесчаные и минеральные остаточноторфяные почвы с содержанием органического вещества (ОВ) 10–5,1 %, изображенные красно-коричневым цветом (30,6–31,7 °С). Фоновой почвой для дерново-глееватых и минеральных остаточноторфяных почв являются остаточноторфяные с содержанием ОВ 20,0–10,1 %, изображенные желтым цветом (29,5–30,7 °С). Дегроторфоземы торфяно-минеральные (ОВ 30,0–20,1 %) и торфянистоглеевые почвы изображены салатovým цветом. Общая закономерность

формирования теплового поля исследуемой территории заключается в снижении интенсивности теплового излучения по мере увеличения степени увлажненности почв и мощности торфяного горизонта, от 29,5–30,7 °С у временно избыточно увлажненных до 24,4–26,2 °С у торфяно-глеевых (0,5–1,0 м).

Анализ изображений тепловых космических снимков, полученных 17.09.2020 г., ключевых участков распаханых автоморфных почв различного гранулометрического состава показал, что интенсивность теплового излучения связнопесчаной почвы на два градуса ниже, чем у связносупесчаной. Разносезонные тепловые космические снимки показывают, что интенсивность теплового излучения распаханной автоморфной связносупесчаной почвы в апреле месяце (03.04.2020 г.) на одиннадцать градусов ниже, чем в сентябре (17.09.2020 г.). Хотя сезонная динамика теплового поля изменчива, так как зависит от интенсивности солнечной радиации.

Ключевой участок «Новоселки» площадью 10 541,8 га заложен в Петриковском районе Гомельской области и характеризует почвы, занятые преимущественно лесной растительностью. Рельеф пологоволнистый, встречаются плоские грядобразные повышения, замкнутые и ложбинообразные понижения. Почвообразующей породой являются флювиогляциальные пески. Из лесной растительности преобладают сосна и береза, далее соответственно черная ольха и осина, из кустарников ива.

При дешифрировании почв лесных и луговых земель с использованием снимков видимого диапазона растительность служит их индикационным признаком. На инфракрасном космическом снимке (рис. 7) светло-серым и серым тоном изображается лиственная растительность, контрастно на ее фоне серовато-темным тоном дешифрируется сосновая растительность. На синтезированном космическом снимке (рис. 8) лиственная растительность изображается красным цветом, сосновая – темно-коричневым цветом. На крупномасштабных аэрокосмических снимках на фоне хвойного леса хорошо заметна примесь отдельных крон березы, которая на общем сером фоне изображается в виде светлого крапа. В условиях Белорусского Полесья при относительно однородных песчаных породах, лиственные породы являются хорошим индикатором степени увлажненности почв. С нарастанием степени увлажнения увеличивается доля лиственных пород [16].

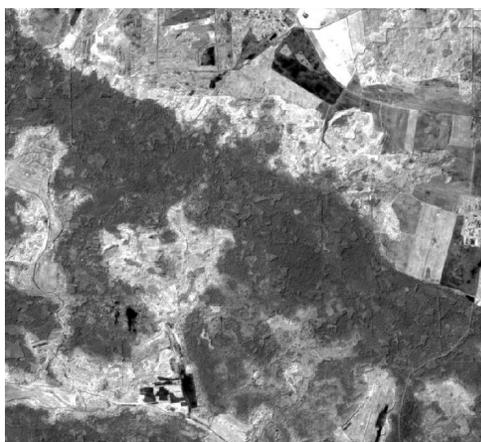
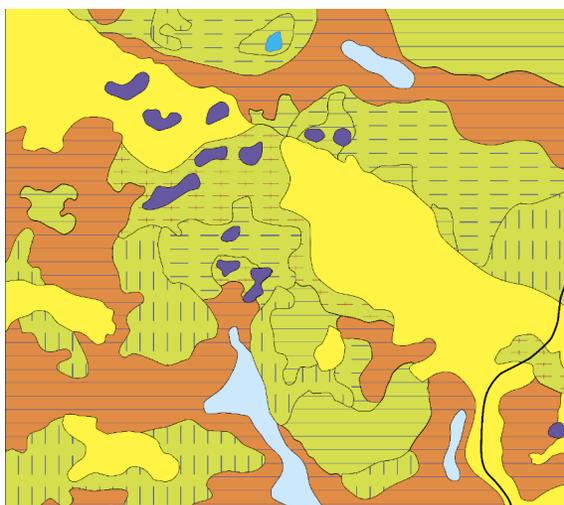


Рис. 7. Инфракрасный снимок ключевого участка «Новоселки»



Рис.8. Синтезированный снимок ключевого участка «Новоселки»

На тепловых снимках индикатором растительности является интенсивность её теплового излучения. Совместное использование теплового снимка с инфракрасным и синтезированным, а также почвенной картой (рис. 9), позволило более детально проанализировать пространственное распределение теплового поля исследуемой территории.



- дерново-подзолистые связнопесчаные почвы, развивающиеся на мощных рыхлых песках
- дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные связнопесчаные почвы, сменяемые с глубины 0,4-0,5 м рыхлым песком
- дерново-подзолистые глееватые связнопесчаные почвы, сменяемые с глубины 0,4-0,5 м рыхлым песком
- дерново-подзолистые глееватые с иллювиально-гумусным горизонтом связнопесчаные почвы, сменяемые с глубины 0,5-0,6 м рыхлым песком
- дерново-подзолистые глеевые связнопесчаные почвы, сменяемые с глубины 0,4-0,5 м рыхлым песком
- дерново-глееватые связнопесчаные почвы, сменяемые с глубины 0,4-0,5 м рыхлым песком
- торфяно-глеевые (0,3-0,5 м) почвы переходного типа, подстилаемые песком
- торфянисто-глеевые почвы низинного типа, развивающиеся на древесно-осоковых торфах, подстилаемые песком

Рис.9. Почвенная карта ключевого участка «Новоселки» (масштаб 1 : 100 000)

Тепловое поле лесной и луговой растительности характеризуется выраженной пространственной изменчивостью, обусловленной её видовым составом и проективным покрытием. На тепловом снимке (рис. 10) растительность отображена различной плотностью тона изображения, как сочетание участков с различной интенсивностью теплового излучения. На квантованном снимке (рис. 11) выразительно синим цветом изображаются березовые насаждения, произрастающие на дерново-подзолисто-глееватых и глеевых почвах, а также черноольховые – на дерново-глееватых, с самой низкой интенсивностью теплового излучения (9,5–16,5 °С). Это объясняется тем, что в период активной вегетации лиственные древесные породы как максимально накапливают, так и испаряют влагу, тем самым понижая свою температуру. Более высокая интенсивность теплового излучения (16,5–20,5 °С) у сосняков-долгомошников на дерново-подзолисто-с иллювиально-гумусовым горизонтом и глеевых почвах, изображающиеся светло-синим цветом (рис. 11). Следует отметить, что такая же интенсивность теплового поля и у дерново-глееватых связнопесчаных почвах занятых луговой растительностью.

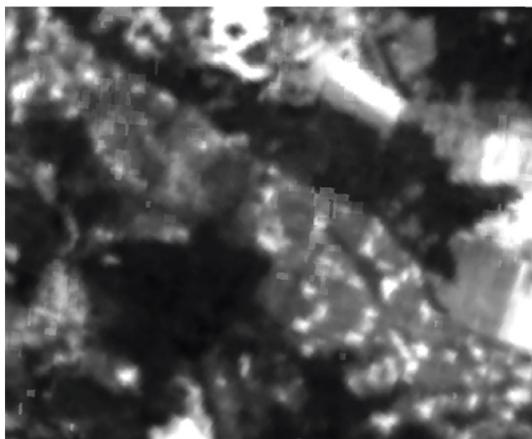


Рис. 10. Тепловой снимок ключевого участка «Новоселки»

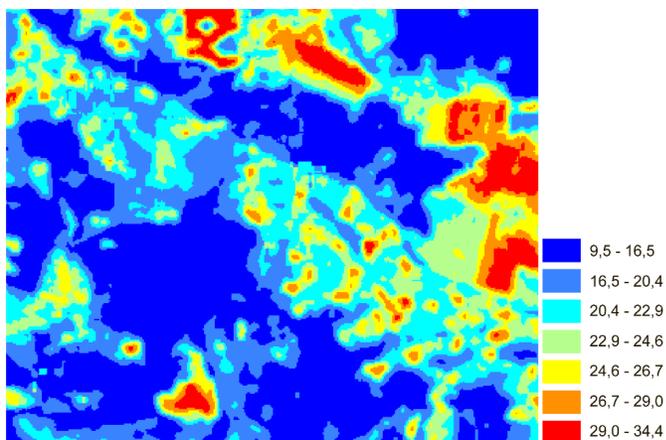


Рис. 11. Квантованное изображение теплового снимка ключевого участка «Новоселки» (в °С)

С юго-востока на северо-запад по территории ключевого участка простирается плоское грядобразное повышение, покрытое сосняками-лишайниковыми, реже мшистыми на дерново-подзолистых связнопесчаных оглеенных внизу почвах, контур которого отчетливо дешифрируется среди теплового поля участка с температурой от 20,5 до 22,9 °С (рис. 11). Правильность идентификации данного типа леса подтверждает изображение инфракрасного и синтезированного снимков (рис. 7, 8). Характерной особенностью изображения данных почв является пятнистый рисунок изображения, который формируют вырубки лесной растительности. Интенсивность теплового излучения вырубок зависит от степени покрытия травянистым покровом. На квантованном снимке (рис. 11) контрастно выделяются участки не покрытые растительностью с температурой в пределах 26,7–34,3 °С и покрытых – 22,9–26,7 °С. Отдельными контурами встречаются сосняки вересковые, произрастающие на дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных связнопесчаных почвах с теми же показателями интенсивности теплового излучения, что и у оглеенных внизу.

ВЫВОДЫ

1. Результаты исследований возможности использования тепловых космических снимков съемочной системы Landsat 8 с пространственным разрешением 100 м для изучения почв территорий, сформированных различными почвообразующими породами показали, что данные материалы после предварительной обработки (ресамплинг, кластеризация, квантование), направленной на повышение изобразительных свойств снимков, могут использоваться для среднemasштабного дешифрирования почв и растительности. Для крупномасштабного дешифрирования необходимы снимки высокого и сверхвысокого пространственного разрешения.

2. В результате анализа изобразительных и информационных свойств разносезонных тепловых космических снимков установлено, что для изучения почв пахотных земель наиболее информационными являются снимки ранневесенних сроков съемки, лесных земель – весенне-летних во время формирования полного листа у березы или дуба, полученные в спектральном диапазоне 10–12 мкм, при безоблачной погоде с максимально высоким пространственным разрешением.

3. Полученные результаты показывают, что интенсивность теплового излучения почв пахотных земель снижается с увеличением степени увлажненности почв и содержанием в них ОВ. Формирование теплового поля лесных земель зависит от разнообразия видового состава лесной растительности и его проективного покрытия. Наиболее высокая интенсивность теплового излучения у сосняков-лишайников и мшистых на дерново-подзолистых оглеенных внизу почвах (20,5–22,9 °С), наиболее низкие у черноольховых на дерново-глеевых почвах (9,5–16,5 °С). Эффективность дешифрирования тепловых космических снимков возрастает с совместным использованием панхроматических снимков при дешифрировании почв пахотных земель и инфракрасных или синтезированных – лесных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sobrino, J. A. Land surface temperature retrieval from Landsat-5 TM / J. A. Sobrino, J. C. Jimenez-Munoz, L. Paolini // Remote Sensing of Environment. –*

2004. – Vol. 90. – P. 434–440.

2. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives / Z.-L. Li [et al.] // *Remote Sensing of Environment*. – 2013. – Vol. 131. – P. 14–37.

3. Соловьев, В. И. Мониторинг температуры поверхности суши по данным геостационарных метеорологических спутников нового поколения / В. И. Соловьев, С. А. Успенский // *Исследование Земли из космоса*. – 2009. – № 3. – С. – 79–89.

4. Никитин, А. А. Основные черты пространственного распределения поверхностных термических фронтов в водах Японского моря и их изменчивость / А. А. Никитин // *Исследование Земли из космоса*. – 2006. – № 5. – С. 49–62.

5. Покровский, О. М. Объективный анализ полей температуры для поверхностей морей России по данным MODIS/Terra / О. М. Покровский // *Исследование Земли из космоса*. – 2005. – № 3. – С. 53–65.

6. Картирование температуры поверхности Мирового Океана по данным геостационарных ИСЗ / В. И. Соловьев [и др.] // *Исследование Земли из космоса*. – 2001. – № 3. – С. 10–15.

7. Поляков, А. В. Температурно-влажностное зондирование атмосферы по данным спутникового ИК-зондировщика высокого спектрального разрешения ИКФС-2 / А. В. Поляков, Ю. М. Тимофеев, А. Б. Успенский // *Исследование Земли из космоса*. – 2009. – № 5. – С. 3–10.

8. Детектирование и оценка балла облачности по данным атмосферных ИК-зондировщиков высокого разрешения / А. Н. Рублев [и др.] // *Исследование Земли из космоса*. – 2004. – № 3. – С. 43–51.

9. Козлов, Д. Н. Тепловизионная съемка активных вулканов Курильских островов в 2009–2011 гг. / Д. Н. Козлов, Р. В. Жарков // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. – 2012. – № 1. – Вып. 19. – С. 231–239.

10. Горный, В. И. О возможности картографирования физико-географических зон тепловой космической съемкой / В. И. Горный, С. Г. Крицук // *Доклады Академии Наук. География*. – 2006. – Т. 411. – № 5. – С. 684–686.

11. Southworth, J. An assessment of Landsat TM band 6 thermal data for analyzing land cover in tropical dry forest regions / J. Southworth // *International Journal of Remote Sensing*. – 2004. – Vol. 25, №4. – P. 689–706.

12. USGS Earth Explorer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://earth-explorer.usgs.gov/>. – Дата доступа: 04.03.2022.

13. PLANET imagery product specifications. – Planet Labs Inc., 2021. – 100 p.

14. Курьянович, М. Ф. Влияние погодных условий и сезонных факторов на дешифрируемость аэрокосмических снимков / М. Ф. Курьянович, Ф. Е. Шалькевич // *Сахаровские чтения 2013 года: экологические проблемы XXI века: материалы Международной практической конференции*. – Минск, 2013. – С. 280.

15. Романова, Т. А. Методика составления карт СПП и их востребованность в Беларуси / Т. А. Романова, Ч. А. Романовский // *Материалы Международной научной конференции «Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты (1–3 сентября 2007 г. Санкт-Петербург)»* / под ред. Б. Ф. Апарина (председатель). – Санкт-Петербург, 2007. – С. 671.

16. Шалькевич, Ф. Е. Особенности дешифрирования лесной растительности по материалам многозональной съемки / Ф. Е. Шалькевич, М. Е. Фейгельман // *Вестник Беларус. Дзярж. Ун-та. Сер.2. Хімія. Біялогія. Геаграфія*. – 1991. – № 1. – С. 66–69.

OF USING INFRARED THERMAL SPACE IMAGES TO STUDY THE SOIL COVER

M. F. Kuryanovich, Y. S. Davidovich, F. E. Shalkevich

Summary

The possibilities of using infrared thermal images with a spatial resolution of 100 m obtained by the Landsat 8 survey system for soil interpretation are shown. On the example of key plots of arable and forest lands, the influence on the formation of the thermal field of soils of arable lands of their granulometric composition, degree of moisture content and content of organic matter is demonstrated, for forest lands – types of forest vegetation and its projective cover.

Поступила 04.05.2022

УДК 633.2:631.459:631.445.2

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-31-39](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-31-39)

ПРОДУКТИВНОСТЬ ОДНОЛЕТНИХ И МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ЭРОДИРОВАННОСТИ (результаты длительных полевых опытов)

Н. Н. Цыбулько, А. М. Устинова, А. В. Юхновец, В. Б. Цырибко,
И. И. Касьяненко, С. Д. Воронович

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

ВВЕДЕНИЕ

В Беларуси 473,3 тыс. га сельскохозяйственных земель подвержено водной эрозии. Эродированные почвы сконцентрированы в основном на пахотных землях – 361,7 тыс. га. Почвы с намытым верхом занимают на пашне 52,4 тыс. га [1]. При проведении крупномасштабных почвенных исследований эродированные почвы выделяются самостоятельными контурами. Это позволяет определить их площадь и учесть при кадастровой оценке земель.

Смыв гумуса и элементов минерального питания, ухудшение водно-физических и биологических свойств эродированных почв приводят к деградации их плодородия и снижению производительной способности. Отмечается, что потеря 1 см гумусового горизонта уменьшает потенциальную урожайность зерновых культур на 0,5–2,0 ц/га [2]. По литературным данным снижение урожайности сельскохозяйственных культур на эродированных почвах по отношению к неэродированным следующее: на слабоэродированных почвах – на 10–30 %; на среднеэродированных – на 30–60; на сильноэродированных почвах – на 60–80 %. Продуктивность в наибольшей мере снижают пропашные культуры, а в меньшей – многолетние травы [3].

Принято считать, что в условиях Беларуси средние недоборы урожая зерновых культур составляют на слабоэродированных почвах 12 %, среднеэродированных – 28, сильноэродированных – 40 %; пропашных культур – 20, 40, 60 соответственно; льна – 15, 34, 50; многолетних трав – 5, 18, 30 % [4].

Учет влияния эродированности на плодородие почв осуществляется посредством введения понижающего поправочного коэффициента к баллу почв. Величина этого коэффициента зависит от вида эрозии (водная или ветровая), степени эродированности и от культур, для которых проводится оценка [5].

Цель работы – обобщение многолетних данных, полученных в длительных стационарных полевых опытах, продуктивности однолетних и многолетних трав на дерново-подзолистых почвах в разной степени подверженных водной эрозии.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальной основой работы явились результаты длительных (2000–2021 гг.) полевых опытов, проведенных на двух стационарах Института почвоведения и агрохимии в северной и центральной почвенно-экологических провинциях Беларуси. В северной провинции исследования выполняли в полевых опытах, заложенных по почвенно-геоморфологическому профилю от водораздельной равнины до нижней части склона. Склон северо-восточной экспозиции, выпуклый, крутизной – 5–7°. Почвы стационара – в разной степени смытые дерново-подзолистые легкосуглинистые, сформированные на мощных моренных суглинках. В центральной почвенно-экологической провинции исследования выполняли на стационарных стоковых площадках, развернутых на склоне южной экспозиции, крутизной 5–7° и склоне северной экспозиции, крутизной 3–5°. Почвы стационара – в разной степени смытые дерново-подзолистые легкосуглинистые, сформированные на лессовидных суглинках. Диапазоны изменений агрохимических показателей почв приведены в таблице 1.

Таблица 1

Диапазоны значений агрохимических показателей пахотного горизонта почв

Почва	Степень смытости почвы	Агрохимические показатели пахотного слоя почв (Ап)			
		рН _{KCl}	гумус, %	P ₂ O ₅	K ₂ O
				мг/кг почвы	
Дерново-подзолистая на лёссовидных суглинках	Несмытая	4,23–6,50	1,43–3,20	200–323	134–425
	Слабосмытая	4,20–6,50	1,41–2,61	157–250	157–328
	Среднесмытая	4,11–6,33	1,01–2,47	150–235	121–256
	Сильносмытая	4,09–6,16	1,00–2,14	139–214	101–273
Дерново-подзолистая на моренных суглинках	Несмытая	5,05–6,80	1,74–2,66	175–353	153–303
	Слабосмытая	5,93–6,29	1,65–2,26	121–284	131–255
	Среднесмытая	5,47–6,93	1,45–2,10	118–235	121–251
	Сильносмытая	5,29–6,16	1,00–1,79	106–209	118–238

Исследования проводили методом постановки полевых опытов. Продуктивность однолетних и многолетних трав изучали в плодосменных, зернотравяных и травяно-зерновых севооборотах, а также при бессменном возделывании (галега восточная). Все культуры возделывали в соответствии с утвержденными организационно-технологическими нормативами [6–8].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Многолетние бобовые и бобово-злаковые травосмеси. Принято считать, что из сельскохозяйственных культур многолетние травы в наименьшей степени реагируют на эродированность почв. По литературным данным урожайность их составляет на слабозэродированных почвах 90–95 %, на среднеэродированных – 85–90, на сильноэродированных – 60–75 % от урожайности на несмытых почвах [9].

В наших исследованиях на дерново-подзолистых почвах, сформированных на лессовидных и моренных суглинках, из бобовых трав возделывали люцерну посевную, клевер луговой и галегу восточную, из бобово-злаковых травосмесей – клевер луговой с тимофеевкой луговой.

На дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках, расположенных на склоне южной экспозиции с крутизной 5–7°, получены 11-летние данные по продуктивности люцерны посевной на несмытой, среднесмытой, сильносмытой и намытой почвах. Урожайность зеленой массы ее колебалась по годам на несмытой почве от 345,9 до 1080,6 ц/га, на среднесмытой почве – от 317,1 до 961,2, на сильносмытой почве – от 246,5 до 864,7 и на намытой почве – от 362,4 до 891,8 ц/га, а в среднем составила 698,8, 603,5, 544,6 и 651,3 ц/га соответственно. Урожайность культуры на среднесмытой почве была ниже по сравнению с несмытой почвой в среднем на 43,8 ц/га зеленой массы (8 %), на сильносмытой почве – на 79,0 ц/га (14 %), на намытой почве – на 64,6 ц/га (11 %) (табл. 2).

На дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках, расположенных на склоне северной экспозиции с крутизной 3–5°, получены 2-летние данные по продуктивности люцерны. Урожайность ее на несмытой почве колебалась по годам от 380,0 до 849,4 ц/га зеленой массы, на слабосмытой почве – от 347,1 до 700,0 ц/га, на среднесмытой почве – от 298,2 до 561,2 ц/га и на намытой почве – от 482,4 до 761,8 ц/га зеленой массы, а в среднем составила 614,7, 523,5, 429,7 и 622,1 ц/га соответственно. Урожайность культуры на слабосмытой почве была ниже по сравнению с несмытой почвой в среднем на 91,2 ц/га зеленой массы (15 %), на среднесмытой почве – на 185,0 ц/га (30 %) (табл. 2).

Таблица 2

Влияние степени смытости дерново-подзолистых почв на продуктивность многолетних бобовых и бобово-злаковых трав

Культура количество лет опытов	Степень смытости почвы	Урожайность зеленой массы за годы исследований, ц/га			Снижение (–) или прибавка (+) зерна к несмытой почве	
		мини- мальная	макси- мальная	средняя	ц/га	%
Дерново-подзолистая почва на лессовидных суглинках. Склон южной экспозиции, крутизной 5–7°						
Клевер с тимофеевкой 3	Несмытая	332,3	800,9	571,4	–	–
	Среднесмытая	299,1	765,5	527,6	–43,8	–8
	Сильносмытая	284,1	714,5	492,3	–79,0	–14
	Намытая	283,2	721,4	506,8	–64,6	–11
Люцерна посевная 11	Несмытая	345,9	1080,6	698,8	–	–
	Среднесмытая	317,1	961,2	603,5	–95,2	–14
	Сильносмытая	246,5	864,7	544,6	–154,1	–22
	Намытая	362,4	891,8	651,3	–47,4	–7

Культура количество лет опытов	Степень смытости почвы	Урожайность зеленой массы за годы исследований, ц/га			Снижение (-) или прибавка (+) зерна к несмытой почве	
		мини- мальная	макси- мальная	средняя	ц/га	%
Дерново-подзолистая почва на лессовидных суглинках. Склон северной экспозиции, крутизной 3–5°						
Клевер луговой 2	Несмытая	321,0	680,5	500,7	–	–
	Слабосмытая	261,9	604,8	433,3	–67,4	–13
	Среднесмытая	260,0	548,1	404,0	–96,7	–19
Люцерна посевная 2	Несмытая	380,0	849,4	614,7	–	–
	Слабосмытая	347,1	700,0	523,5	–91,2	–15
	Среднесмытая	298,2	561,2	429,7	–185,0	–30
Галега восточная 9	Несмытая	482,4	761,8	622,1	7,4	1
	Слабосмытая	458,8	845,3	683,0	–	–
	Среднесмытая	431,8	740,0	597,0	–86,0	–13
Клевер с тимopheевкой 3	Несмытая	331,2	682,9	536,6	–146,4	–21
	Слабосмытая	317,3	557,7	428,9	–	–
	Среднесмытая	288,2	460,0	373,0	–55,9	–13
Люцерна посевная 8	Сильносмытая	236,4	455,0	329,8	–99,1	–23
	Несмытая	318,8	657,6	448,8	–	–
	Среднесмытая	255,3	558,2	375,7	–73,1	–16
Сильносмытая	197,6	525,9	329,0	–119,8	–27	
	Намытая	225,3	615,3	385,8	–63,0	–14
Дерново-подзолистая почва на моренных суглинках. Склон северо-восточной экспозиции, крутизной 5–7°						

Анализ данных показал следующее, во-первых, на почвах с одинаковой эродированностью урожайность люцерны на склоне южной экспозиции была в среднем на 173,8 ц/га зеленой массы, или на 29 % выше, чем на склоне северной экспозиции, а во-вторых, на склоне северной экспозиции влияние степени эродированности почвы на снижение продуктивности культуры проявлялось более существенно.

В исследованиях на дерново-подзолистых почвах, сформированных на моренных суглинках, расположенных на склоне северо-восточной экспозиции с крутизной 5–7°, продуктивность люцерны посевной колебалась по годам (8 лет опытов) на несмытой почве от 318,8 до 657,6 ц/га зеленой массы, на среднесмытой почве – от 255,3 до 558,2, на сильносмытой почве – от 197,6 до 525,9 и на намытой почве – от 225,3 до 615,3 ц/га зеленой массы, а в среднем составила соответственно 448,8, 375,7, 329,0 и 385,8 ц/га зеленой массы. Урожайность на среднесмытой почве была ниже по сравнению с несмытой почвой в среднем на 73,1 ц/га (16 %), на сильносмытой – на 119,8 ц/га (27 %), на глееватой намытой почве – на 63,0 ц/га (14 %).

Галегу восточную возделывали бессменно в течение 9 лет на дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках на склоне северной экспозиции на несмытой, слабосмытой и среднесмытой почвах. Продуктивность ее за годы исследований колебалась на несмытой почве от 458,8 до 845,3 ц/га зеленой массы, а в среднем за 9 лет составила 683 ц/га зеленой массы. На слабосмытой почве

средняя урожайность была ниже 86,0 ц/га, или на 13 %, на среднесмытой почве – на 146,4 ц/га, или на 21 %.

По клеверу луговому, который возделывали на дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках на склоне северной экспозиции, имеются данные за 2 года опытов. При средней урожайности его на несмытой почве 500,7 ц/га зеленой массы снижение ее на слабосмытой почве составило 67,4 ц/га (13 %), на среднесмытой почве – 96,7 ц/га (19 %).

Анализ экспериментальных данных показал, что при одинаковых почвенно-геоморфологических условиях наибольшую продуктивность из изучаемых бобовых трав обеспечила галега восточная, ниже люцерна посевная и клевер луговой. На слабосмытых почвах относительное снижение урожайности этих культур по отношению к несмытой почве примерно одинаковое – 13–15 %, а на среднесмытых почвах люцерна посевная в большей степени снижает урожайность (30 %) по сравнению с галеей восточной и клевером луговым – 19–21 %.

Бобово-злаковую травосмесь (клевер луговой и тимофеевку луговую) возделывали в течение 3 лет на дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках, расположенных на склоне южной экспозиции с крутизной 5–7°, и на дерново-подзолистых почвах, сформированных на моренных суглинках, расположенных на склоне северо-восточной экспозиции с крутизной 5–7°.

На дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках урожайность бобово-злаковой травосмеси изменялась за годы исследований в зависимости от складывающихся условий вегетационных периодов на несмытой почве от 332,3 до 800,9 ц/га зеленой массы, на среднесмытой почве – от 299,1 до 765,5 ц/га, на сильноосмытой почве – от 284,1 до 714,5 ц/га, на намытой почве – от 283,2 до 721,4 ц/га зеленой массы. В среднем за 3 года опытов абсолютное снижение продуктивности на средне- и сильноосмытой почвах по отношению к несмытой составило соответственно 43,8 и 79,0 ц/га зеленой массы, а относительное – 8 и 14 %. На глееватой намытой почве она была также ниже на 64,6 ц/га, или на 11 %.

На дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках продуктивность бобово-злаковой травосмеси была ниже по сравнению с почвами на лессовидных суглинках. На несмытой почве она колебалась по годам в пределах 317,3–557,7 ц/га зеленой массы и в среднем составила 428,9 ц/га. На среднесмытой почве средняя урожайность зеленой массы была ниже на 55,9 ц/га, или на 13 %, на сильноосмытой почве – на 99,1 ц/га, или на 23 %. То есть на этих почвах наблюдалось более существенное влияние их эродированности.

Однолетние травы (горох- и пелюшко-овсяные смеси на зеленую массу). Эродированность почв оказывает существенное влияние на урожайность однолетних бобово-злаковых трав – горохо-овсяных и пелюшко-овсяных травосмесей.

В 11-летних полевых опытах на дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках, расположенных на склоне южной экспозиции с крутизной 5–7°, получены данные по продуктивности горохо-овсяной травосмеси на несмытой, среднесмытой, сильноосмытой и намытой почвах. Урожайность ее колебалась по годам в зависимости от складывающихся гидротермических условий вегетационных периодов в очень широких пределах – на несмытой почве от 172,2 до 781,1 ц/га зеленой массы, на среднесмытой почве – от 138,3 до 722,8, на сильноосмытой почве – от 126,1 до 664,4 и на намытой почве – от 103,9 до 930,0 ц/га зеленой массы. В среднем за годы исследований она составила 341,0, 295,2, 269,3 и 356,5 ц/га соответственно.

Урожайность однолетних трав на среднесмытой почве была ниже по сравнению с несмытой почвой в среднем на 45,8 ц/га зеленой массы (13 %), на сильносмытой почве – на 71,7 ц/га (21 %), а на намытой почве – на 15,5 ц/га (4 %) выше (табл. 3).

Таблица 3

Влияние степени смытости дерново-подзолистых почв на продуктивность однолетних трав (горохо- и пелюшко-овсяные смеси)

Кол-во лет опытов	Степень смытости почвы	Урожайность зеленой массы за годы исследований, ц/га			Снижение (–) или прибавка (+) зерна к несмытой почве	
		минимальная	максимальная	средняя	ц/га	%
Дерново-подзолистая почва на лессовидных суглинках. Склон южной экспозиции, крутизной 5–7°						
11	Несмытая	172,2	781,1	341,0	–	–
	Среднесмытая	138,3	722,8	295,2	–45,8	–13
	Сильносмытая	126,1	664,4	269,3	–71,7	–21
	Намытая	103,9	930,0	356,5	15,5	4
Дерново-подзолистая почва на лессовидных суглинках. Склон северной экспозиции, крутизной 3–5°						
5	Несмытая	226,1	493,3	433,4	–	–
	Слабосмытая	258,3	466,7	391,8	–41,7	–10
	Среднесмытая	170,6	464,4	341,9	–91,5	–21
	Намытая	169,4	536,1	352,2	–81,2	–19
Дерново-подзолистая почва на моренных суглинках. Склон северо-восточной экспозиции, крутизной 5–7°						
8	Несмытая	177,8	425,6	288,2	–	–
	Среднесмытая	154,4	301,1	233,0	–55,2	–19
	Сильносмытая	116,7	282,2	206,9	–81,3	–28
	Намытая	177,2	327,8	238,9	–49,3	–17

На дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках, расположенных на склоне северной экспозиции с крутизной 3–5°, продуктивность однолетних трав в целом была выше, чем на склоне южной экспозиции, что обусловлено лучшей влагообеспеченностью растений. В среднем за 5-летний период исследований урожайность горохо-овсяной травосмеси составила на несмытой почве 433,4 ц/га зеленой массы, на слабосмытой почве – 391,8, на среднесмытой почве – 341,9 ц/га и на намытой почве – 352,2 ц/га зеленой массы. Урожайность на слабо-, среднесмытой и намытой почвах была ниже по сравнению с несмытой почвой соответственно на 41,7, 91,5 и 81,2 ц/га зеленой массы, или на 10, 21 и 19 %.

Наиболее низкая продуктивность однолетних бобово-злаковых травосмесей формировалась на дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках, которая изменялась за 8 лет опытов на несмытой почве от 177,8 до 425,6 ц/га зеленой массы, на среднесмытой почве – от 154,4 до 301,1, на сильносмытой почве – от 116,7 до 282,2 ц/га и на намытой почве – от 177,2 до 327,8 ц/га зеленой массы. Урожайность однолетних трав на среднесмытой почве была ниже по сравнению с несмытой почвой в среднем на 55,2 ц/га зеленой массы (19 %), на сильносмытой почве – на 81,3 ц/га (28 %), на намытой почве – на 49,3 ц/га (17 %).

При кадастровой оценке сельскохозяйственных земель влияние степени эродированности на плодородие почв устанавливается через понижающие коэффициенты к баллу почв, определяемому по шкале. Понижающие поправочные коэффициенты на эродированность к баллу почв составляют в среднем для слабосмытых почв 0,884, среднесмытых почв – 0,736, сильносмытых почв – 0,609 и для намытых почв – 0,958. Поправочные коэффициенты установлены также для 4 групп сельскохозяйственных культур – зерновые и зернобобовые, пропашные, лен, многолетние травы. Поправочные коэффициенты для многолетних трав в целом составляют на слабосмытых почвах 0,93, на среднесмытых почвах – 0,82, на сильносмытых почвах – 0,70, на намытых почвах – 0,98 [5].

По результатам анализа и обобщения многолетних данных продуктивности однолетних и многолетних трав, полученных в длительных стационарных опытах на дерново-подзолистых почвах, подверженных водной эрозии, определены средневзвешенные коэффициенты снижения производительной способности почв разной степени эрозионной деградации по многолетним бобовым, бобово-злаковым травосмесям и однолетним травам (табл. 4).

Таблица 4

Коэффициенты снижения производительной способности дерново-подзолистых почв разной степени смытости по культурам

Степень смытости почвы	Многолетние травы*	Многолетние бобовые травы	Многолетние бобово-злаковые травосмеси	Однолетние бобово-злаковые травосмеси
Несмытая	1,00	1,00	1,00	1,00
Слабосмытая	0,93	0,86	Нет данных	0,90
Среднесмытая	0,82	0,80	0,89	0,82
Сильносмытая	0,70	0,75	0,81	0,75
Намытая	0,98	0,89	0,89	0,84

* Принятые (существующие) коэффициенты.

В условиях полевых опытов коэффициенты снижения продуктивности многолетних бобовых трав (клевер луговой, люцерна посевная, галега восточная) составили на слабо-, средне- и сильносмытой почвах 0,86, 0,80 и 0,75 соответственно, на намытой почве – 0,89. Коэффициенты снижения продуктивности многолетней бобово-злаковой травосмеси (клевер луговой + тимopheевка луговая) на смытых почвах были выше.

Коэффициенты снижения производительной способности дерново-подзолистых почв разной степени смытости для однолетних бобово-злаковых травосмесей на средне- и сильносмытых почвах были такими же, как и для многолетних бобовых трав, а на намытой почве несколько ниже.

ВЫВОДЫ

1. В условиях полевых опытов при соблюдении технологий возделывания (технологических регламентов) многолетние бобовые травы снижают урожайность на дерново-подзолистых слабосмытых почвах в среднем на 14 % по сравнению с неэродированными почвами, на средне- и сильносмытых почвах – на 20 и 25

соответственно. В зависимости от складывающихся гидротермических условий вегетационного периода уменьшение может достигать 30 %. При одинаковых почвенно-геоморфологических условиях люцерна посевная в большей степени снижает урожайность по сравнению с галегой восточной и клевером луговым.

2. Многолетние бобово-злаковые травосмеси снижают урожайность на дерново-подзолистых среднесмытых почвах в среднем на 11 %, на сильносмытых почвах – на 19 %. На дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках продуктивность бобово-злаковой травосмеси ниже по сравнению с почвами на лесовидных суглинках.

3. Однолетние бобово-злаковые травосмеси снижают урожайность на дерново-подзолистых слабосмытых почвах в среднем на 10 % по сравнению с незерообразованными почвами, на средне- и сильносмытых почвах – на 18 и 25, соответственно. Однолетние травы в большей степени снижают урожайность на дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках по сравнению с почвами на лесовидных суглинках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие; под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смеяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.

2. Ковда, В. А. Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана / В. А. Ковда. – М.: Наука, 1981. – 250 с.

3. Ванин, Д. Е. Научные основы природоохранных ресурсосберегающих интенсивных систем земледелия / Д. Е. Ванин // Земледелие. – 1986. – №11. – С. 26–30.

4. Проектирование противоэрозионных комплексов и использование эрозионноопасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси: рекомендации / РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси»; под ред. А. Ф. Черныша. – Минск, 2005. – 52 с.

5. 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.

6. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов. – Минск: Ин-т аграрной экономики НАН Беларуси, 2005. – 460 с.

7. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сборник отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 288 с.

8. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сборник отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч. практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 469 с.

9. Кирюшин, В. И. Экологические основы земледелия / В. И. Кирюшин. – М.: Колос, 1996. – 367 с.

**INFLUENCE OF EROSION OF SOD-PODZOLIC SOILS
ON THE PRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL CROPS
(RESULTS OF LONG-TERM FIELD EXPERIMENTS)**

**N. N. Tsybulka, A. M. Ustinova, A. V. Yukhnovets, V. B. Tsyrybka,
I. I. Kasyanenko, S. D. Voronovich**

Summary

Perennial leguminous grasses reduce yields on sod-podzolic slightly washed soils by an average of 14 % compared to non-eroded soils, on medium and heavily washed soils – by 20 and 25 % respectively. Depending on the developing hydrothermal conditions of the growing season, the decrease can reach 30 %. Under the same soil-geomorphological conditions, the alfalfa of the north reduces the yield to a greater extent compared with the eastern galega and meadow clover.

Perennial legume-cereal grasses reduce yields on sod-podzolic medium-washed soils by an average of 11 %, on heavily washed soils – by 19 %. Annual legume-cereal grasses reduce yields on sod-podzolic slightly washed soils by an average of 10 % compared to non-aerated soils, on medium and heavily washed soils – by 18 and 25 % respectively. Annual grasses to a greater extent reduces the yield on sod-podzolic soils on moraine loams compared to soils on loess-like loams.

Поступила 14.02.2022

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.8:631.89.631.445.2

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-40-49](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-40-49)

ВЛИЯНИЕ ДЕФИЦИТНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА ДИНАМИКУ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФАТОВ И КАЛИЯ, ИХ БАЛАНС В ДЛИТЕЛЬНОМ ОПЫТЕ НА ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш, А. А. Грачёва

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

ВВЕДЕНИЕ

Плодородие почв является базой устойчивого развития аграрной отрасли. При систематическом известковании, применении органических и минеральных удобрений улучшаются режимы питания почв, физические и биологические свойства, т.е. идёт постепенное окультуривание. На стадии окультуренности большинство агрохимических свойств дерново-подзолистых почв достигают оптимальных параметров. В результате чего формируется высокий потенциал почвенного плодородия, что в свою очередь оказывает непосредственное влияние на повышение продуктивности возделываемых культур. Поддержание достигнутого уровня плодородия почв – одно из важнейших условий эффективного ведения сельского хозяйства республики.

Наращивание объёмов применения известковых материалов, органических и минеральных удобрений в период широкого внедрения в сельскохозяйственное производство интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур позволило снизить кислотность дерново-подзолистых почв, существенно повысить содержание в них гумуса, подвижных фосфатов и калия, увеличить продуктивность пахотных земель. В настоящее время в земледелии Республики Беларусь доля участия почвенного плодородия в формировании урожайности сельскохозяйственных культур составляет порядка 50 %, что свидетельствует о достаточно высоком потенциальном плодородии почв, созданном за предшествующий период использования удобрений [1]. Статистический анализ применения минеральных удобрений показал, что за последние 5 лет (2016–2020 гг.) в среднем по стране на 1 га пашни ежегодно применяли 167 кг д. в. NPK, из них азота – 76 кг д. в., фосфора – 18 кг д. в., калия – 74 кг д. в.

Для обоснования эффективности применяемых систем удобрения и целенаправленного регулирования почвенного плодородия определяется баланс основных элементов питания и оценивается показателями их дефицита или избытка,

интенсивностью и т.д. Анализ баланса азота, фосфора и калия в почвах показал, что уменьшение объёмов внесения минеральных удобрений в стране на 36 % (за 2016–2020 гг.) по отношению к предыдущему периоду (2011–2015 гг.) обусловило по стране изменение положительных показателей до слабоположительных (табл. 1).

Таблица 1

Баланс элементов питания и интенсивность баланса в пахотных почвах Республики Беларусь

Элемент	2016–2020 гг.	2011–2015 гг.	±	Интенсивность баланса, %
	Баланс, кг/га			
Азот	10,3	29,3	–19,0	107
Фосфор	1,3	25,7	–24,4	104
Калий	18,7	65,2	–46,5	120

При уровне продуктивности 43,3 ц к. ед./га (в среднем за 2016–2020 гг.) и средневзвешенных показателях содержания фосфатов и калия 181 и 215 мг/кг почвы соответственно. Интенсивность баланса азота, фосфора и калия по республике характеризуется как положительная и в целом близка к оптимальным значениям (110–130 %) [2].

Уровень плодородия почвы достаточно нестабильная величина, которая зависит от многих факторов, и в первую очередь от доз и сбалансированности применяемых под сельскохозяйственные культуры удобрений. В этой связи научный интерес представляет прогнозирование изменения агрохимических свойств почв в зависимости от интенсивности применения удобрений. В длительных полевых опытах были проведены многочисленные исследования по изучению баланса элементов питания, а также закономерностей изменения плодородия почв в условиях применения минеральных удобрений.

В то же время исследований по изучению эффективного последствия минеральных удобрений в течение длительного времени крайне мало. В условиях резкого сокращения объёмов вносимых минеральных удобрений важно не допустить снижения почвенного плодородия, поскольку все процессы окультуривания антропогенно-преобразованных почв обратимы и неустойчивы. И чем в большей степени они изменены по отношению к исходным показателям, тем в большей степени возникает неравновесное состояние [3].

Поскольку последствие азотных удобрений на последующие культуры несущественное, особый интерес представляет изучение длительности эффективного последствия фосфорных и калийных, пролонгированное действие которых оказывает положительное влияние на условия минерального питания возделываемых культур в течение ряда лет.

В исследованиях по изучению фосфатного режима почв [4, 5] показано, что фосфорные удобрения в прямом действии используются растениями лишь на 10–20 %. Остаточные фосфаты играют большую роль в фосфатном режиме окультуренных почв и обеспеченности растений фосфором, их доступность варьирует в зависимости от свойств почвы, количества внесенных ранее фосфатов, времени взаимодействия фосфорных удобрений с почвой, биологических особенностей культур и других факторов. Доказано, что последствие фосфорных удобрений может проявляться в течение нескольких десятилетий [6, 7].

Изучение последствий почвенного фонда калия, сформированного предшествующим внесением различных доз калийных удобрений, показало, что его длительность и эффективность закономерно зависят от исходного уровня содержания калия в почве, обусловленного ранее поддерживаемым балансом данного элемента, а также системами удобрения возделываемых культур и структурой севооборотов [8–13]. Наши исследования показали, что применение калий-дефицитных систем удобрения за ротацию севооборота даже на почве с высоким содержанием калия ведёт к развитию интенсивных деградационных процессов в отношении данного элемента и истощению калийного фонда почвы [14].

Цель исследований – оценить влияние различных систем удобрения, а также последствий остаточных количеств фосфора и калия, вносимых с минеральными и органическими удобрениями в предшествующий период, на баланс элементов питания и агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на протяжении 1986–2018 гг. в длительном стационарном полевом опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве, подстилаемой с глубины 30–50 см песком. Пахотный слой почвы перед закладкой опыта в 1986 г. характеризовался следующими усреднёнными показателями: pH_{KCl} – 5,8, содержание P_2O_5 – 94, K_2O – 225 мг/кг почвы, гумус – 2,1 %.

В предыдущий период исследований (1986–1998 гг.) за счёт известкования, применения органических и минеральных удобрений в трех ротациях культур зернопропашного севооборота агрохимические свойства почвы были доведены до оптимального уровня. Суммарная доза внесенных органических удобрений в виде навоза КРС за весь период составила 120 т/га. За счёт среднегодового внесения минеральных удобрений в дозе 240–245 кг/га NPK на фоне органических удобрений (10 т/га/год) продуктивность культур севооборотов составила 61–65 ц/га к. ед./год, а содержание подвижных соединений фосфора достигло 161–176 мг/кг почвы при сохранении высокого уровня калия (207–230 мг/кг почвы).

Во второй период исследований (1999–2018 гг.) в опыте устанавливалась длительность последствий остаточных количеств фосфора и калия, вносимых с минеральными и органическими удобрениями в предшествующий период на продуктивность сельскохозяйственных культур. Установлено время, за которое почва по содержанию фосфора и калия возвращается в исходное состояние [15]. Схема опыта включала варианты внесения полного (NPK), азотного (N), а так же с исключением азотных (PK), фосфорных (NK) и калийных (NP) удобрений.

В этот период чередование культур в опыте 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 минеральных удобрений применяли аммиачную селитру или мочевины, двойной суперфосфат и калий хлористый. Среднегодовые дозы и сочетания ви-

дов удобрений представлены в таблице 1. Органические удобрения внесены последний раз в 1995 г. и далее в системах удобрения не использовались.

Опыт заложен в одном поле. Общий размер делянки – 49,5 м² (5,5 м · 9,0 м). Агротехника возделывания культур – рекомендуемая для центральной зоны Республики Беларусь на супесчаных почвах в соответствии с отраслевыми регламентами и рекомендациями [16–17].

Для установления общего выноса элементов питания в растительных образцах определяли содержание общего азота – методом Къельдаля (ГОСТ 13496.4–93), фосфора – на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 26657–85) и калия – на пламенном фотометре (ГОСТ 30504–97).

В почвенных образцах содержание фосфора и калия определяли по методу Кирсанова (ГОСТ 26487–85), гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213); рН_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483–85).

Погодные условия по годам в период проведения исследований существенно различались, что отражалось на уровне урожайности возделываемых культур и эффективности применяемых удобрений. В наиболее благоприятные по гидро-термическим условиям годы при внесении полного минерального удобрения сбор кормовых единиц достигал 75–111 ц/га.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Продуктивность культур севооборотов в значительной степени зависела от применяемых систем удобрения. За счёт сформированного плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы среднегодовая продуктивность культур составила 32,8 ц/га к. ед. (рис. 1). Достоверная эффективность последствия органических удобрений отмечалась лишь в первые две ротации севооборотов [15], при среднегодовой продуктивности 34,7 ц к. ед./га прибавка составила 1,9 ц/га, или 6 % к контролю. Максимальную продуктивность культур четырёх пятипольных ротаций (59,6 ц/га к. ед.) предсказуемо обеспечило применение полной минеральной системы удобрения (N₈₀P₃₇K₉₅) на фоне последствия навоза – прибавка к фону составила 24,9 ц/га к. ед., или 82 % к контролю.

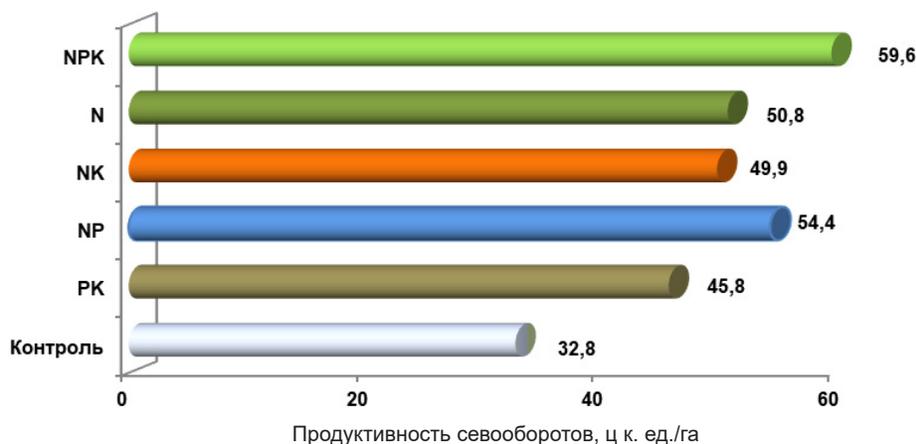


Рис. 1. Влияние систем удобрения на продуктивность сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистой супесчаной почве, среднее за 1998–2018 гг.

Исключение из системы удобрения азота, фосфора или калия оказало негативное влияние на формирование продуктивности возделываемых культур. При последствии калийных удобрений ($N_{81}P_{42}$), и, как следствие, в недостаточном калийном питании, продуктивность снизилась на 5,2 ц/га, или на 9 %, по отношению к полной минеральной системе составила 54,4 ц/га к. ед. Дефицит фосфора ($N_{81}K_{95}$) проявился более существенным снижением урожайности культур на 16 %, недобор составил 9,7 ц/га к. ед. Одновременное исключение из системы удобрения фосфора и калия (N_{86}) обусловило получение 50,8 ц/га к. ед., или 85 % к полной системе удобрения. Наибольшее же снижение продуктивности возделываемых культур отмечалось в варианте без применения азотных удобрений ($P_{42}K_{96}$), которое в среднем за 20 лет исследований составило 13,8 ц к. ед./га. Таким образом, ряд влияния дефицита элементов питания на снижение продуктивности культур представился следующим образом: $N > P > PK > K$ [15].

Научные основы применения удобрений в земледелии базируются на познании круговорота веществ и их баланса. При отсутствии или недостаточном уровне поступления элементов питания с удобрениями их баланс в почве характеризуется большой напряжённостью. Отчасти определённая их часть восполняется за счёт веществ, высвобождающихся при разложении послеуборочных остатков, однако, их количество не компенсирует вынос с урожаем. По мере истощения почв развитие растений ухудшается, снижается количество поступивших в почву растительных остатков, включается механизм способности самой почвы в какой-то мере восполнять дефицит доступных соединений элементов питания за счёт потенциальных ресурсов. В наших исследованиях анализ роли факторов в формировании максимальной среднегодовой продуктивности севооборотов показал, что значительная её часть (48–67 %, а в среднем 55 %) формировалась за счёт потенциального плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы.

В соответствии с методикой [2] был рассчитан среднегодовой баланс фосфора и калия за 20-летний период исследований (1999–2018 гг.). В приходную статью включены: поступление азота, фосфора и калия с минеральными удобрениями, осадками и семенами; среднегодовая фиксация азота (15 кг/га) свободноживущими микроорганизмами. Расходная статья включала: вынос элементов питания сельскохозяйственными культурами, газообразные потери азота (25 % от общего количества, внесенного с удобрениями), вынос с инфильтрационными водами.

Расчёты показали, что практически при всех изучаемых системах удобрения расход фосфора на формирование урожая превышал его поступление в почву (табл. 2).

Исключение составил вариант со среднегодовым применением $P_{42}K_{96}$, где сложился слабоположительный баланс фосфора (+4 кг/га). Слабоотрицательный баланс фосфора (–5 кг/га) был получен при парной комбинации такой же дозы фосфорных удобрений с азотом (N_{81}). Среднегодового внесения полного минерального удобрения ($N_{80}P_{37}K_{95}$) также оказалось недостаточным для восполнения выноса элемента высокими урожаями культур – баланс фосфора отрицательный (–14 кг/га). Наибольший же дефицит элемента характерен для неудобренного варианта (–26 кг/га), а также систем удобрения с парной комбинацией $N_{81}K_{95}$ и моноазота N_{86} , который составил 40 и 44 кг/га соответственно.

Интенсивность баланса фосфора в системах удобрения с применением P_{37-42} составила 74–110 %.

Таблица 2

Среднегодовой баланс и динамика содержания фосфора в дерново-подзолистой супесчаной почве за период 1999–2018 гг.

Вариант	Фосфор, кг/га			Интенсивность, %	Изменение содержания P ₂ O ₅ в почве, мг/кг		
	поступило	вынос	баланс ±		1998 г.	2014–2018 гг., Ø	±
Без удобрений (контроль)	2	24	–26	8	101	76	–25
P ₄₂ K ₉₆	44	40	+4	110	176	104	–72
N ₈₁ P ₄₂	44	49	–5	90	173	144	–29
N ₈₁ K ₉₅	2	42	–40	5	154	85	–69
N ₈₆	2	44	–42	5	166	78	–88
N ₈₀ P ₃₇ K ₉₅	39	53	–14	74	161	142	–19

Баланс калия характеризовался большей напряжённостью. Дефицит элемента в варианте без использования удобрений достиг 86 кг/га (табл. 3). При среднегодовом применении K₉₅₍₉₆₎ в парных комбинациях с азотом или фосфором, а также в составе полной минеральной системы удобрения (NPK) расход элемента на формирование 45,8–49,9 ц/га к. ед. превышал его поступление на 40, 19 и 50 кг/га соответственно. Максимальные же по опыту потери элемента наблюдались в вариантах с последствием калийных удобрений при моноазотной системе удобрения и парной комбинации NP – 126 и 134 кг/га соответственно.

Интенсивность баланса калия при всех системах удобрения с применением K₉₅₋₉₆ составила 68–85 % и характеризуется как дефицитная.

Балансовые методы расчёта позволяют лишь приблизительно оценить эффективность последствия фосфорных и калийных удобрений на состояние плодородия почвы. Более точным и показательным критерием оценки является фактическое изменение содержания элементов питания за период исследований. Наши исследования показали, что дефицит одного или нескольких питательных элементов в системе удобрения сельскохозяйственных культур способствовал истощению почвенных ресурсов [15].

Таблица 3

Среднегодовой баланс и динамика содержания калия в дерново-подзолистой супесчаной почве за период 1999–2018 гг.

Вариант	Калий, кг/га			Интенсивность, %	Изменение содержания K ₂ O в почве, мг/кг		
	поступило	вынос	баланс ±		1998 г.	2014–2018 гг., Ø	±
Без удобрений (контроль)	12	98	–86	12	148	62	–86
P ₄₂ K ₉₆	108	127	–19	85	215	163	–52
N ₈₁ P ₄₂	12	146	–134	8	228	63	–165
N ₈₁ K ₉₅	107	136	–29	79	230	129	–101
N ₈₆	12	138	–126	9	218	65	–153
N ₈₀ P ₃₇ K ₉₅	107	157	–50	68	207	120	–87

Расчёты показали, что в варианте без удобрений содержание подвижного фосфора в почве снизилось до исходного уровня (90 мг/кг почвы) через 10 лет [15], а ежегодные потери элемента на протяжении периода исследования составили 1,3 мг/кг почвы.

Максимальные значения потерь фосфатов характерны не только для вариантов с остаточным последствием фосфора при парной комбинации НК (–69 мг/кг) и моноазотной системе удобрения (–88 мг/кг), но также и при применении РК (–77 мг/кг). Ежегодные потери элемента за весь период исследований при таких системах удобрения составили 2,6–4,4 мг/кг почвы с наиболее интенсивным снижением содержания подвижного фосфора в варианте с внесением только азотных удобрений (N_{86}).

При внесении полного минерального удобрения в среднегодовой дозе $N_{80}P_{37}K_{95}$ фактическое снижение содержания подвижных соединений фосфора в почве за 20 лет составило 19 мг/кг почвы, или около 1 мг/год.

В варианте без внесения удобрений потери подвижного калия за 20-летний период исследований составили 86 мг/кг, или 4,3 мг/кг почвы ежегодно. Наиболее значительные потери элемента отмечены при системах удобрения с использованием последствия калийных удобрений – моноазотной (N_{86}) и парной комбинации азотных удобрений с фосфорными ($N_{81}P_{42}$), когда содержание подвижного калия за исследуемый период снизилось более чем в 3 раза к исходному при соответствующих ежегодных потерях 7,7 и 8,3 мг/кг почвы.

Расчёты показали, что систематическое ежегодное применение калийных удобрений в дозе 95–96 кг д. в./га в комбинациях с азотными и фосфорными удобрениями несколько замедляло процесс потери подвижного калия, однако через 20 лет также привело к снижению его содержания более чем в 2 раза, с неблагоприятным прогнозом усиления потерь в 3 раза через 25 лет [15]. Ежегодные потери элемента составили 5,1 и 2,6 мг/кг почвы соответственно.

При внесении полного минерального удобрения в среднегодовой дозе $N_{80}P_{37}K_{95}$ фактическое снижение содержания подвижных соединений калия в почве за 20 лет составило 87 мг/кг почвы, или 4,4 мг/год.

К началу проведения исследования (1998 г.) содержание гумуса составляло в среднем 2,10 %, увеличившись за предыдущие годы (1986–1997 гг.) на 0,16–0,55 % за счёт комплексного применения минеральных и органических удобрений при возделывании культур.

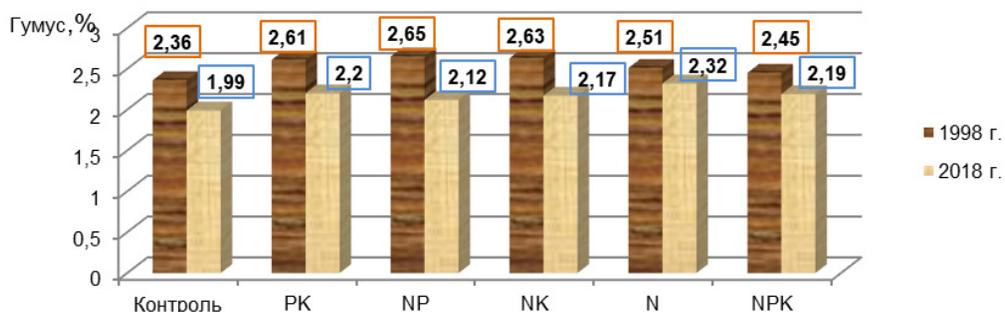


Рис. 2. Динамика содержания гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве

За 20-летний период применения дефицитных минеральных систем удобрения (без использования органических удобрений) содержание гумуса снизилось на 0,19–0,53 % (рис. 2).

Наименьшие его потери характерны для моноазотной (0,19 %) и полной систем удобрения (0,26 %). Максимальное снижение содержания гумуса отмечено в вариантах со среднегодовым внесением $N_{81}K_{95}$ (0,41 %), $P_{42}K_{96}$ (0,46 %) и $N_{81}P_{42}$ (0,53 %).

ВЫВОДЫ

1. Возделывание сельскохозяйственных культур без применения удобрений в течение 20 лет на дерново-подзолистой супесчаной почве средней окультуренности при среднегодовой продуктивности на уровне 32,8 ц к. ед./га обусловило отрицательные балансы подвижных форм фосфора (–26 мг/га) и калия (–86 мг/га) при ежегодном снижении их содержания на 1,3 и 4,3 мг/кг почвы соответственно.

2. Среднегодовые дозы минеральных удобрений $N_{80}P_{37}K_{95}$ при формировании 59,6 ц к. ед./га, оказались недостаточными для поддержания достигнутого уровня плодородия почвы. Балансы подвижных форм элементов сложились отрицательные: фосфора – –14 мг/га, калия – –50 мг/га при ежегодном соответствующем снижении их содержания на 1,0 и 4,4 мг/кг почвы и потерях гумуса на 0,26 % за весь период исследования.

3. Длительное исключение из систем удобрения одного или двух элементов питания способствует усилению деградационных процессов в почве и снижению продуктивности возделываемых культур:

– внесении парной комбинации $N_{81}K_{95}$ за 20-летний период исследований обусловило: снижение содержания гумуса на 0,41 %, уровня продуктивности (по отношению к полной системе удобрения) – на 16 %, отрицательные балансы калия (–29 кг/га) и фосфора (–40 мг/га) при ежегодных потерях подвижных форм последнего на уровне 2,0 мг/кг почвы;

– при внесении парной комбинации $N_{81}P_{42}$ отмечено снижение содержания гумуса на 0,53 % и продуктивности – на 9 %, баланс фосфора сложился слабоотрицательный (–5 кг/га), калия – резкоотрицательный (–134 мг/га) при максимальных ежегодных потерях подвижных форм последнего на уровне 6,7 мг/кг почвы;

– более благоприятные балансы фосфора (+4 кг/га) и калия (–19 кг/га) сложились при внесении парной комбинации $P_{42}K_{96}$, однако фактические ежегодные потери их подвижных форм составили 3,6 и 2,6 мг/кг почвы соответственно. При этом содержание гумуса снизилось на 0,46 % при наибольшем по опыту недобору урожая (–13,8 ц к. ед./га);

– к наиболее интенсивному истощению почвы подвижными формами фосфора и калия приводит моноазотная система удобрения. Одностороннее ежегодное применение азотных удобрений в дозе N_{86} на протяжении 20 лет исследования на супесчаной почве при сдерживании темпов снижения гумуса и формировании продуктивности культур на уровне 50,8 ц к. ед./га, обусловило отрицательные балансы фосфора (–42 кг/га) и калия (–126 мг/га) при потерях их подвижных форм на 4,4 и 7,7 мг/кг почвы в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мезенцева Е. Г.* Минеральные удобрения: современные тенденции эффективности в АПК Республики Беларусь / Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш, С. М. Зенькова // Плодородие почв и эффективное применение удобрений: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 22–25 июня, 2021 г. – Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2021. – С. 114–118.
2. Методика расчёта элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2007. – 24 с.
3. *Шафран, С. А.* Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах / С. А. Шафран, Н. А. Кирпичников // Агрохимия. – 2019. – № 4. – С. 3–10.
4. *Касицкий, Ю. И.* Об оптимальном содержании подвижного фосфора в почвах Нечерноземной зоны СССР / Ю.И. Касицкий // Агрохимия. – 1991. – № 6. – С. 107–109.
5. *Дзюин, Г. П.* Фосфатное состояние дерново-подзолистой суглинистой почвы в севообороте / Г. П. Дзюин, А. Г. Дзюин // Агрохимия. – 2014. – № 11. – С. 20–25.
6. *Сычев, В. Г.* Влияние агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений / В. Г. Сычев, С. А. Шафран. – М.: ВНИИА, 2012. – 200 с.
7. *Кирпичников, Н. А.* Действие и последствие фосфорных удобрений на дерново-подзолистой почве при различной степени известкования / Н. А. Кирпичников, С. Н. Адрианов // Агрохимия. – 2007. – № 10. – С. 14–23.
8. *Якименко, В. Н.* Действие и последствие калийных удобрений в полевом опыте на серой лесной почве / В. Н. Якименко // Агрохимия. – 2015. – № 4. – С. 3–12.
9. *Никитина, Л. В.* Действие и последствие разных систем удобрения в длительном полевом опыте на калийный режим суглинистой почвы / Л. В. Никитина // Плодородие. – 2015. – № 6. – С. 3–5.
10. *Ониани, О. Г.* Агрохимия калия / О. Г. Ониани. – М.: Наука, 1981. – 200 с.
11. Изменение калийного состояния хорошо окультуренной почвы при применении калий-дефицитной системы удобрения / А. И. Иванов [и др.] // Агрохимия. – 2009. – № 4. – С. 21–2.
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. *Кулеш О. Г.* Трансформация калийного состояния высокоокультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в условиях применения калий-дефицитных систем удобрения / О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 51–59.
15. Длительность последствие фосфорных и калийных удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы / Н. Н. Семеновко [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 56–67.
16. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 390 с.
17. Справочник агрохимика / под ред. Т. Н. Кулаковской, И. М. Богдевича. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск: Урожай, 1985. – 214 с.

INFLUENCE OF DEFICIT FERTILIZER SYSTEMS ON THE DYNAMICS OF PHOSPHATE AND POTASSIUM CONTENT AND THEIR BALANCE IN LONG-TERM EXPERIMENTS ON SOD-PODSOLIC LOAMY SAND SOIL

E. G. Mezentseva, O. G. Kulesh, A. A. Gracheva

Summary

The results of multi-year research to assess the impact of fertilizer systems and the effect of residual amounts of phosphorus and potassium introduced with mineral and organic fertilizers in the preceding period on the balance of nutrients and fertility of medium-cultivated sod-podzolic loamy sand soil in article are presents.

It was established that application of $N_{80}P_{37}K_{95}$ at high productivity of cultivated crops (59,6 cfu/ha) was insufficient for maintaining the achieved level of soil fertility with negative balances of mobile forms of phosphorus (-14 kg/ha) and potassium (-50 kg/ha).

The exclusion of a particular nutrient element from the fertilization system for a long period contributes to the intensification of degradation processes in the soil, causing the loss of humus by 0,19–0,53 % for the 20-year period of the study, with annual losses of mobile phosphorus and potassium of 1,0–3,6 and 2,6–8,3 mg/kg of soil.

Поступила 23.03.2022

УДК 631.84:633

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-49-64](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-49-64)

НОВЫЕ ФОРМЫ ЖИДКИХ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ СЕДЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В БЕЛАРУСИ

Г. В. Пироговская

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

ВВЕДЕНИЕ

Оксиды серы являются одним из загрязнителей атмосферного воздуха и их анализ в атмосферных осадках, почвах и растениях представляет определенный интерес. В 1979 г. на Женевской конференции принято решение о совместных действиях стран в области охраны атмосферного воздуха, в том числе о сокращении выбросов серы в окружающую среду.

При этом сера оказывает важное влияние на рост и развитие растений и, преимущественно, тех, которые положительно отзываются на ее внесение. Практически все сельскохозяйственные культуры хорошо отзываются на внесение серы на фоне систематического и достаточного внесения азотно-фосфорно-калийных удобрений.

Наиболее отзывчивыми на их внесение являются, в первую очередь, рапс яровой и озимый, капуста и другие крестоцветные, гречиха, озимая и яровая пшеница; картофель, сахарная свекла, кормовые культуры, бобовые, лен, подсолнечник, морковь, овощные культуры и др. По своему физиолого-биологическому значению сера для растений находится в одном ряду с азотом, фосфором и калием.

В мировой и отечественной практике к настоящему времени накоплен большой объем экспериментальных данных по влиянию серосодержащих удобрений на урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур. В Республике Беларусь изучением эффективности серосодержащих удобрений занимались многие ученые. Исследованиями установлено, что при внесении серосодержащих удобрений улучшаются показатели качества продукции за счет повышения накопления сахаров, белка, витаминов, пигментов и других показателей качества [1–13].

В технологиях возделывания сельскохозяйственных культур серосодержащие 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 серосодержащие удобрения рекомендуются в основном для основного внесения в почву и только на 2–5 % площадей проводятся некорневые подкормки сельскохозяйственных культур соединениями серы. При этом утверждается, что некорневые подкормки серой в период вегетации растений неэффективны, и этот прием можно рассматривать лишь как дополнительный инструмент в обеспечении биологической потребности растений, а не как мера устранения уже проявившихся симптомов дефицита этого элемента [14].

Актуальность исследований в Республике Беларусь по использованию серосодержащих удобрений обусловлена несколькими причинами: в последние годы наблюдается уменьшение содержания серы как на пахотных землях (90,0 % почв с низким и средним содержанием серы), так и на почвах сенокосов и пастбищ (81,8 %); производство серосодержащих удобрений в республике недостаточно (ежегодно около 300 тыс. т ф. в.); в сельскохозяйственном производстве на больших площадях возделываются культуры, хорошо отзывающиеся на внесение серосодержащих удобрений.

В Республике Беларусь выпускаются следующие формы серосодержащих удобрений: сульфат аммония мелкокристаллический (ОАО «Гродно Азот» и ОАО «Нафтан»), сульфат аммония гранулированный без добавок и с добавками гуматов и микроэлементов (ООО «Белагроферт»), разные марки сульфоаммофосов (ОАО «Гомельский химический завод»). Жидкие азотно-серосодержащие удобрения выпускались на химических предприятиях в опытном или опытно-промышленном масштабе: на ОАО «Гродно Азот» – КСА-21 и КСА-23, содержащие 21–23 % N и 5,6–8,0 % S; на ОАО «СветлогорскХимволокно» (г. Светлогорск) – АСУ₁ и АСУ₂, с содержанием 12–20 % N и 4–8 % S и Свежка-1 и Свежка-2 с микроэлементами – В, Cu, Mn, Zn, Fe, в различных сочетаниях) для озимых и яровых зерновых культур, рапса озимого и ярового, кукурузы и других крестоцветных культур (N₁₂₋₂₀S_{3,6-7,8}).

В Республике Беларусь в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» с 1999 по 2020 гг. проводили исследования по изучению сравнительной оценки эффективности различных форм твердых и жидких серосодержащих удобрений, в том числе с модифицирующими добавками, на урожайность и качество сельскохозяйственных культур, отзывчивых на внесение серы (рапс озимый и яровой,

гречиха, картофель) на дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах. Установлены дозы, сроки и способы их применения, влияние на урожайность и качество продукции (содержание элементов питания, серы, соотношение азота к сере, масличность семян, содержание серы в рапсовом масле и др. показатели), определен баланс серы в почвах, рассчитана экономическая эффективность их применения, разработаны технологические схемы внесения этих удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур. В научных публикациях [11–13] показана в основном эффективность твердых форм азотно-серосодержащих удобрений.

В данной работе приводим экспериментальные данные по влиянию жидких азотно-серосодержащих (NS) удобрений на урожайность и качество продукции по сравнению с известными азотными (Nm – мочевины и $N_{\text{КАС}}$ – карбамидно-аммиачная смесь). Эти исследования являются важными, представляются впервые и имеют большое как научное, так и практическое значение.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению влияния разных форм жидких азотно-серосодержащих удобрений на урожайность и качество продукции проводили в различные годы при возделывании разных сельскохозяйственных культур на следующих почвах:

– на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощных лессовидных суглинках в экспериментальной базе «Курасовщина», ОАО «Щомыслица» и ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области (общий размер делянки – 27 м², повторность вариантов – 4-кратная);

– на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,5 м рыхлым песком в ОАО «Экспериментальная база им. Суворова» и ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области (общий размер делянки – 24 м², повторность вариантов – 4-кратная), в фермерском хозяйстве «Горизонт» Мостовского района Гродненской области;

– на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, развивающейся на связанном песке, подстилаемой с глубины 0,35 м рыхлым песком в полевых и производственных опытах в Светлогорском районе Гомельской области.

В качестве минеральных удобрений для основного внесения в почву применяли: в базовом варианте – карбамид (Nm), или карбамидно-аммиачная смесь ($N_{\text{КАС}}$), аммонизированный суперфосфат (NP = 8-30) и калий хлористый; испытываемые удобрения – жидкие азотно-серосодержащие (карбамид-сульфатные) удобрения КАС-21 и КСА-23 ($N_{21-23}S_{5,6}$); жидкие АСУ-1 ($N_{20}S_4$) и АСУ-2 ($N_{12}S_8$) без добавок и NS с модифицирующими добавками микроэлементов (Свежка-1, $N_{20}S_{3,6}$) и Свежка-2 ($N_{12}S_{7,8}$). Дозы удобрений в опытах указаны в таблицах под каждую культуру.

Закладку и проведение опытов проводили в соответствии с методическими указаниями по закладке полевых опытов. Уход за посевами сельскохозяйственных культур в опытах осуществлялся согласно технологическим регламентам их возделывания, а обработка посевов против сорняков, вредителей и болезней проводилась препаратами, которые внесены в «Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь» [15]. Исследования и анализ почвенных образцов проводили согласно существующим методикам.

Отбор растительных образцов (основной и побочной продукции) и их анализ проводили согласно существующим 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 – на атомно-адсорбционном спектрофотометре ГОСТ 30502-97, 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 [16] с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на персональном компьютере, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы Excel.

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эффективность жидких форм азотно-серосодержащих удобрений, выпускаемых в опытном масштабе на ОАО «Гродно Азот» при возделывании разных сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых суглинистых, рыхлосупесчаных и песчаных почвах приведена в таблице 1–2, овощных культур – в таблице 3.

Для оценки условий увлажнения вегетационных периодов возделывания сельскохозяйственных культур применяется гидротермический коэффициент (ГТК). Если ГТК больше 1,6, то год считается влажным, от 1,6-1,3 – оптимальным, от 1,3 до 1,0 – слабозасушливым, от 1,0 до 0,7 – засушливым, от 0,7 до 0,4 – очень засушливым, от 0,4 до 0,2 – сухим, от 0,2 и меньше – очень сухим.

Исследования проводили в годы с различными погодными условиями: вегетационный период за 5–9 месяц при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в 1999 г. характеризовался как засушливый (ГТК = 0,62), 2000, 2016 и 2018 гг. – слабозасушливый (ГТК = 0,98, 1,21 и 1,05), 2019 г. – засушливый (ГТК = 0,99) и 2020 г. – оптимальный (ГТК = 1,50); на рыхлосупесчаных почвах (в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского») и овощных культур (фермерское хозяйство «Горизонт») в условиях 2016 г. – слабозасушливый (ГТК = 1,25 и 1,07). При проведении исследований на дерново-подзолистых песчаных почвах в Светлогорском районе Гомельской области вегетационный период возделывания сельскохозяйственных культур в 2010 г. характеризовался как – слабозасушливый (ГТК = 1,12), 2011 и 2012 гг. – оптимальный (ГТК = 1,38 и 1,47).

В условиях 1999 г. урожайность ячменя на дерново-подзолистых суглинистых почвах, развивающихся на мощных лессовидных суглинках (экспериментальная база «Курасовщина» Минского района) в годы исследований составляла от 32,8

(контроль без удобрений) до 38,1–40,6 ц/га (в зависимости от форм, применяемых удобрений), в 2000 г. – 23,9 и 42,3–46,7 ц/га соответственно, а в среднем за 2 года – 28,4 и 40,2–42,9 ц/га. Прибавки зерна ячменя от внесения жидких азотно-серосодержащих удобрений в среднем за 2 года составили 2,3–2,7 ц/га (при НСР₀₅ = 2,1 ц/га) по сравнению с внесением стандартных удобрений (КАС, аммонизированный суперфосфат, калий хлористый – базовый вариант). При применении этих удобрений на той же почве (1999, 2000 и 2016 гг.) под озимую пшеницу получена тенденция или достоверное повышение урожайности зерна в размере от 2,2 до 3,7 ц/га. Самые высокие прибавки зерна (5,4–6,4 ц/га) получены при внесении (1999–2000 гг.) азотно-серосодержащих удобрений под яровую пшеницу (табл. 1).

В таблице 2 приведены данные по эффективности азотно-серосодержащих удобрений по сравнению с базовым вариантом, где применялись – карбамид, аммонизированный суперфосфат и калий хлористый (табл. 2). В условиях слабозасушливого вегетационного периода (5–9 месяц) 2016 г. применение азотно-серосодержащих удобрений обеспечило на дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах также увеличение урожайности сельскохозяйственных культур: семян рапса озимого – на 2,2–2,7 ц/га, клубней картофеля – на 48–68 ц/га, зерна озимой пшеницы – 2,7–3,6 ц/га, зеленой массы кукурузы – 11–47 ц/га, а зерна гороха – наблюдалась только тенденция повышения урожайности (на 0,5–0,6 ц/га, при НСР₀₅ = 1,76 ц/га) (табл. 2).

При возделывании огурца, томата, перца, лука на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных и легкосуглинистых почвах в условиях 2016 г. наиболее эффективным азотно-серосодержащим удобрением оказалось КСА-23, а на кабачке, моркови и капусте – КСА-21 по сравнению с базовым вариантом, где вносились минеральные удобрения, не содержащие серу (карбамид, аммонизированный суперфосфат, калий хлористый) (табл. 3).

Необходимо отметить, что при засушливых и слабозасушливых условиях (1999 и 2000 гг.) при внесении КСА-21 и КСА-23 в подкормки без разбавления водой и при разбавлении 1:1 при температуре воздуха свыше 20–25 °С и дефиците относительной влажности воздуха на зерновых культурах (в фазу начала выхода в трубку) наблюдались незначительные ожоги листьев, чего не наблюдалось при подкормках в условиях влажного года.

Установлено, что при внесении азотно-серосодержащих удобрений КСА-21 и КСА-23 на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах (фермерское хозяйство «Горизонт»), наблюдалось повышение урожайности овощных культур при одновременном улучшении качества продукции, что видно на примере отдельных овощных культур (табл. 4).

Агрохимическая эффективность азотно-серосодержащих удобрений АСУ-1 и АСУ-2 (разработчики РУП «Институт почвоведения и агрохимии» и ОАО «СветлогорскХимволокно») изучалась в 2010–2011 гг. (Светлогорский район, Гомельская область), 2018–2020 (ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденский район и ОАО «Гастелловское» Минский район). В качестве базового варианта применяли жидкое азотное удобрение КАС на фоне РК (аммонизированный суперфосфат и калий хлористый). В статье приводим отдельные экспериментальные данные по эффективности этих удобрений. Например, при применении жидких азотно-серосодержащих под озимый рапс отмечалось повышение урожайности семян в среднем за годы исследований на 3,5 ц/га, семян рапса ярового – на 1,5 ц/га (обеспечена только тенденция увеличения, так как прибавка была на уровне НСР₀₅), клубней картофеля – на 20,3 ц/га (табл. 5).

Таблица 1
Влияние жидких азотно-серосодержащих удобрений КСА-21 и КСА-23 на урожайность сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых суглинистых почвах, развивающихся на мощных лессовидных суглинках, ц/га

Варианты/дозы*	Урожайность сельскохозяйственных культур														
	ячмень					озимая пшеница					яровая пшеница				
	1999 г.	2000 г.	сред- нее	± к базо- вому	1999 г.	2000 г.	2016 г.	сред- нее	± к базо- вому	1999 г.	2000 г.	сред- нее	± к базо- вому		
Контроль без удо- брений	32,8	23,9	28,4	–	41,5	34,4	48,3	41,4	–	23,5	23,8	23,7	–		
Базовый вариант – N (КАС) + РК	38,1	42,3	40,2	–	47,5	52,5	91,0	63,7	–	25,6	32,5	29,1	–		
Испытуемое 1 – NS (КАС-21) + РК	40,6	44,3	42,5	2,3	52,5	56,1	93,7	67,4	3,7	32,3	36,7	34,5	5,4		
Испытуемое 2 – NS (КАС-23) + РК	39,1	46,7	42,9	2,7	52,9	50,0	94,7	65,9	2,2	36,9	34,1	35,5	6,4		
НСР ₀₅	2,42	3,49	2,12	–	3,71	3,85	4,57	2,34	–	3,52	4,53	2,87	–		

* Дозы удобрений:

– под ячмень ($N_{68}P_{30}K_{90}$ перед посевом);

базовый вариант – N_{60} (КАС) + N_8P_{30} (аммонизированный суперфосфат) + K_{90} (калий хлористый);

испытуемое 1 – $N_{60}S_{16}$ (КАС-21) + N_8P_{30} (аммонизированный суперфосфат) + K_{90} (калий хлористый);

испытуемое 2 – $N_{60}S_{14,6}$ (КАС-23) + N_8P_{30} (аммонизированный суперфосфат) + K_{90} (калий хлористый);

– под озимую пшеницу ($N_{110}P_{48}K_{105}$) – во всех вариантах перед посевом внесли ($N_{15}P_{48}K_{105}$) – комплексное удобрение без добавки серы, марка 5-16-35), проведено две подкормки азотом N_{55} и N_{40} :

базовый вариант – N_{55} (КАС) и N_{40} (КАС с разбавлением водой 1:3);

испытуемое 1 – $N_{55}S_{14,7}$ (КАС-21) и $N_{40}S_{10,7}$ (КАС-21 с разбавлением водой 1:3);

испытуемое 2 – $N_{55}S_{13,4}$ (КАС-23) и $N_{40}S_{9,7}$ (КАС-23 с разбавлением водой 1:3).

– под яровую пшеницу ($N_{110,7}P_{40}K_{90}$), из них $N_{81,7}P_{40}K_{90}$ – перед посевом и N_{30} – в подкормку:

базовый вариант – перед посевом N_{70} (КАС) + $N_{11}P_{40}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{90} (калий хлористый) и в подкормку – N_{30} (КАС с разбавлением водой 1:3);

испытуемое 1 – перед посевом $N_{70}S_{18,7}$ (КАС-21) + $N_{11}P_{40}$ + K_{90} и в подкормку – $N_{30}S_{8,0}$ (КАС-21 с разбавлением водой 1:3);

испытуемое 2 – перед посевом $N_{70}S_{17,0}$ (КАС-23) + $N_{11}P_{40}$ + K_{90} и в подкормку – $N_{30}S_{7,3}$ (КАС-23, с разбавлением водой 1:3).

Таблица 2

Влияние жидких азотно-серосодержащих (карбамид-сульфатных) удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых суглинистых и рыхлосупесчаных почвах» (2016 г.), ц/га

Варианты	ц/га	± к базовому	ц/га	± к базовому	ц/га	± к базовому	ц/га	± к базовому	ц/га	± к базовому
	озимый рапс*		картофель**		озимая пшеница**		кукуруза (з/м)*		горох*	
Контроль без удобрений	13,6	–	175	–	48,3	–	631	–	16,1	–
Нм + РК (базовый вариант)	29,1	–	280	–	91,0	–	871	–	26,0	–
NS (КСА-21) + РК	31,3	2,2	328	48	93,7	2,7	882	11	26,5	0,5
NS (КСА-23) + РК	31,8	2,7	348	68	94,6	3,6	918	47	26,6	0,6
НСР ₀₅	2,11	–	16,9	–	2,51	–	42,3	–	1,76	–

* На дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах:

– под озимый рапс ($N_{190}P_{70}K_{133}$) – во всех вариантах перед посевом внесли ($N_{30}P_{70}K_{133}$) – комплексное удобрение без добавки серы, марка 7-16-31), проведено две подкормки азотом N_{100} и N_{60} :

базовый вариант – N_{100} (карбамид) и N_{60} (карбамид);

испытуемое 1 – $N_{100}S_{26,7}$ (КСА-21) и $N_{60}S_{16}$ ((КСА-21);

испытуемое 2 – $N_{100}S_{24,3}$ (КСА-23) и $N_{60}S_{14,6}$ (КСА-23).

– под кукурузу ($N_{110}P_{70}K_{120}$):

базовый вариант – перед посевом – N_{91} (карбамид) + $N_{18,7}P_{70}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{120} (калий хлористый);

испытуемое 1 – перед посевом – $N_{91}S_{24,3}$ (КСА-21) + $N_{18,7}P_{70}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{120} (калий хлористый);

испытуемое 2 – перед посевом – $N_{91}S_{22,2}$ (КСА-23) + $N_{18,7}P_{70}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{120} (калий хлористый);

– под горох ($N_{40}P_{60}K_{100}$)

базовый вариант – перед посевом – N_{24} (карбамид) + $N_{16}P_{60}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{100} (калий хлористый);

испытуемое 1 – перед посевом – $N_{24}S_{6,4}$ (КСА-21) + $N_{16}P_{60}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{100} (калий хлористый);

испытуемое 2 – перед посевом – КСА-23 – $N_{24}S_{5,8}$ (КСА-23) + $N_{16}P_{60}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{100} (калий хлористый).

** На дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах:

– под картофель $N_{90}P_{60}K_{120}$:

базовый вариант – перед посевом – N_{74} (карбамид) + $N_{16}P_{60}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{120} (калий хлористый);

испытуемое 1 – перед посевом – $N_{74}S_{19,7}$ (КСА-21) + $N_{16}P_{60}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{100} (калий хлористый);

испытуемое 2 – перед посевом – $N_{74}S_{18,0}$ (КСА-23) + $N_{16}P_{60}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{100} (калий хлористый);

– озимую пшеницу ($N_{170}P_{64}K_{140}$) – во всех вариантах перед посевом внесли ($N_{20}P_{64}K_{140}$) – комплексное удобрение без добавки серы, марка 5-16-35), проведено четыре подкормки азотом ($N_{60+40+40+10}$):

базовый вариант – перед посевом $N_{20}P_{64}K_{140}$ + $N_{60+40+40+10}$ (все подкормки карбамидом);

испытуемое 1 – перед посевом $N_{20}P_{64}K_{140}$ + первая и вторая подкормка N_{60+40} (КСА-21), внесено $N_{60}S_{16}$ и $N_{40}S_{10,7}$; третья и четвертая подкормка N_{40+10} – карбамидом;

испытуемое 2 – перед посевом $N_{20}P_{64}K_{140}$ + первая и вторая подкормка N_{60+40} (КСА-21), внесено $N_{60}S_{14,6}$ и $N_{40}S_{9,7}$; третья и четвертая подкормка N_{40+10} – карбамидом.

Таблица 3

Влияние жидких азотно-серосодержащих удобрений на урожайность овощных культур на дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах (2016 г.), ц/га

Варианты	± К базовому		± К базовому		± К базовому		± К базовому		± К базовому		± К базовому		± К базовому	
	ц/га	огурец*	ц/га	томат*	ц/га	перец**	ц/га	кабачок**	ц/га	морковь*	ц/га	лук*	ц/га	капуста*
Контроль без удобрений	25,3	–	20,9	–	31,1	–	111,9	–	219	–	173	–	512	–
Nm + PK (базовый вариант)	39,4	–	52,3	–	55,0	–	142,3	–	345	–	215	–	718	–
NS (КСА-21) + PK	40,4	1,0	53,6	1,3	55,6	0,6	145,9	3,6	413	68	276	61	819	101
NS (КСА-23) + PK	41,9	2,5	54,3	2,0	62,5	7,5	144,7	2,4	408	63	289	74	792	71
НСР ₀₅	2,33	–	1,27	–	2,51	–	3,39	–	28,7	–	28,8	–	51,1	–

* Дозы удобрений на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах:

- под огурец – N₈₀P₃₀K₉₀ (сумма 200 кг/га д. в.);
- под томат – N₇₀P₃₀K₈₀ (сумма 180 кг/га д. в.);
- морковь – N₉₀P₅₀K₁₀₀ (сумма 240 кг/га д. в.);
- лук – N₆₀P₆₀K₁₀₀ (сумма 220 кг/га д. в.);
- капусту – N₁₁₀P₇₀K₁₂₀ (сумма 300 кг/га д. в.).

** Дозы удобрений на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах:

- под перец – N₈₀P₃₀K₇₀ (сумма 150 кг/га д. в.);
- под кабачок – N₉₀P₆₀K₉₀ (сумма 240 кг/га д. в.).

Внесение жидких азотно-серосодержащих удобрений повышало масличность семян на 0,9–1,9 %, при содержании масла в семенах в зависимости от форм применяемых удобрений – на уровне 48,1–50,7 %. Увеличивалась и масса 1000 семян озимого рапса на 0,19–0,38 г по сравнению с азотными удобрениями, не содержащими серу (базовый вариант), при содержании ее в вариантах с АСУ на фоне РК от 4,88 до 5,26 г. Следует отметить, что содержание глюкозинолатов в семенах рапса озимого во всех вариантах опыта было ниже нормативного значения (СТБ 1398-2003) – не более 3 %. Содержание серы в сельскохозяйственной продукции в Республике Беларусь не регламентируется, имеются только ПДК по содержанию 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. В наших исследованиях содержание серы в масле из семян рапса озимого в зависимости от вариантов опыта находилось в пределах от 6,34 до 14,76 мг/кг и такое масло было рекомендовано для использования на продовольственные цели и на рафинированное масло очищенное. Удобрения оказали определенное воздействие на химический состав семян рапса озимого: содержание азота в семенах, в зависимости от вариантов опыта, находилось в пределах от 2,68 до 3,82 %, фосфора – 1,63–1,78 %, калия – 0,83–1,02 %, кальция (CaO) – 0,24–0,34, магния (MgO) – 0,50–0,68 %, серы – 0,50–0,68.

Содержание масла в семенах рапса ярового находилось в пределах от 44,0 до 46,8 % (2018–2019 гг.), а применение жидких азотно-серосодержащих удобрений повышало содержание масла в семенах на 0,5–2,1 % и массу 1000 семян – на 0,24–0,68 г. Содержание глюкозинолатов составляло от 0,69 до 1,51 % и не превышало нормативного значения. Содержание серы в масле из семян рапса ярового было более высоким, чем в масле из семян рапса озимого, но в целом, масло было пригодно на продовольственные цели и на рафинированное масло очищенное. Содержание азота в семенах рапса ярового в варианте без удобрений (контроль) было наименьшим – 3,03 %. При внесении удобрений жидких его содержание находилось в пределах от 3,44 до 4,02 %. В вариантах с N:S удобрениями увеличение содержания азота было достоверным или близким к достоверному по отношению к базовому варианту (стандартным тукам с карбамидом гранулированным). Содержание фосфора, в зависимости от вариантов опыта, составляло 1,22–2,06 %, калия – 0,96–1,10, кальция – 0,20–0,27, магния – 0,62–0,68 %, серы – 0,49–0,63 %.

Эффективность жидких азотно-серосодержащих удобрений Свежка с добавками микроэлементов при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях 2011–2012 гг. представлена в таблице 6. В качестве базового варианта применяли удобрения (карбамид, аммонизированный суперфосфат и калий хлористый).

Под все сельскохозяйственные культуры жидкие азотно-серосодержащие удобрения Свежка вносили перед посевом. Дозы удобрений жидких указаны под культуру за вычетом азота, внесенного с аммонизированным суперфосфатом, в том числе внесено под рапс яровой – $N_{84}S_{16}$ (Свежка-1) и $N_{84}S_{54,6}$ (Свежка-2), соответственно под картофель – $N_{101}S_{19,2}$ и $N_{101}S_{65,7}$, кукурузу – $N_{89}S_{16,9}$ и $N_{89}S_{57,9}$, яровую пшеницу – $N_{84}S_{16}$ и $N_{84}S_{54,6}$ кг/га д. в. Экспериментальные данные показывают, что в эти годы на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава

была получена прибавка урожайности сельскохозяйственных культур от внесения жидких серосодержащих удобрений Свежка в размере: семян рапса ярового от 3,5 до 4,9 ц/га, клубней картофеля – 75–98 ц/га, зеленой массы кукурузы – 70–76 ц/га, зерна кукурузы – 5,4–8,6 ц/га и зерна яровой пшеницы – 5,9–6,7 ц/га по сравнению с базовым вариантом (карбамид, аммонизированный суперфосфат, калий хлористый). При этом следует отметить, что на всех культурах лучше сработали азотно-серосодержащие удобрения с более высоким содержанием серы.

Эффективность жидких азотно-серосодержащих удобрений (Свежка-2) изучалась и в условиях 2018–2020 гг. при возделывании гречихи и картофеля на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области). В среднем за три года (2018–2020 гг.) урожайность зерна гречихи, возделываемой на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, составила в контрольном варианте – 15,7 ц/га, в базовом варианте без добавок микроэлементов ($N_{60}S_{40}$ (АСУ-2) + $P_{45}K_{90}$) – 24,6 ц/га, в варианте с азотно-серосодержащим удобрением Свежка-2 ($N_{60}S_{39}B_{0,15}$) – 28,1 ц/га, с прибавкой зерна гречихи к базовому 3,5 ц/га (при НСР₀₅ = 1,99 ц/га).

Качество зерна гречихи оценивалось по массе 1000 зерен, содержанию серы, а также по выходу крупы (общий выход, выровненность, ядрица, продел, коэффициент разваримости, цвет, вкус, консистенция). При внесении жидких азотно-серосодержащих удобрений отмечалась тенденция увеличения массы 1000 зерен по отношению к смеси стандартных туков. Содержание серы в зерне гречихи находилось в пределах от 0,14 до 0,17 %. Общий выход крупы, показатель выровненности зерен и крупность ядрицы достоверно увеличивались. Не установлено влияние серосодержащих удобрений на коэффициент разваримости крупы, цвет и вкус. Консистенция крупы была рассыпчатая во всех вариантах.

Урожайность клубней картофеля (сорт Волат) при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в среднем за три года (2018–2020 гг.) составила в контрольном варианте – 420 ц/га, в варианте со стандартными удобрениями (карбамид, аммонизированный суперфосфат и калий хлористый) – 581 ц/га, в базовом варианте ($N_{90}S_{60}$ без добавок (АСУ-2) + $P_{68}K_{135}$) – 600 ц/га, в варианте с азотно-серосодержащим удобрением Свежка-2 ($N_{90}S_{58,5}B_{0,15}Cu_{0,20}$) с микроэлементами – 629 ц/га, с прибавкой клубней картофеля к базовому – 29 ц/га, к стандартным удобрениям – 48 ц/га.

Качество клубней картофеля оценивалось по товарности клубней, содержанию в них крахмала, сахаров, нитратов, основных элементов питания и серы. Установлено, что при применении серосодержащих удобрений отмечалась тенденция или достоверное увеличение товарности клубней картофеля по отношению к смеси стандартных удобрений. Что касается влияния разных форм и доз серосодержащих на содержание крахмала и нитратов в клубнях картофеля, то существенного их действия на эти показатели по сравнению с базовыми вариантами не выявлено. При этом серосодержащие удобрения способствовали достоверному повышению содержания сахаров в клубнях и обеспечивали тенденцию или достоверное увеличение содержания общего азота (на 0,27–1,04 %). Содержание фосфора находилось в пределах от 0,61 до 0,68 %, калия – от 3,05 до 3,74, кальция – от 0,030 до 0,045 и магния – от 0,17 до 0,24 %, серы – от 0,13 до 0,17 %. При этом четкой зависимости содержания серы в клубнях от вносимых форм удобрений не выявлено.

Таблица 4
Влияние жидких азотно-серосодержащих удобрений на качество овощных культур на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах (фермерское хозяйство «Горизонт» Mostовского района, Гродненской области, 2016 г.)

Варианты	± к базовому		Содержание нитратов, мг/кг сырой массы	± к базовому	Сбор сухого вещества, ц/га	морковь		± к базовому	Содержание сахара, %	капуста		± к базовому	Товарность, %	± к базовому	Содержание нитратов, мг/кг сырой массы	± к базовому
	Содержание сахара, %	лук				лук	картофель									
Контроль без удобрений	11,4	-	6,70	-	28,5	-	31,3	-	7,2	-	201	-	72,5	-	96,0	-
Нм + РК (базовый вариант)	13,2	-	6,54	-	44,9	-	54,8	-	7,6	-	291	-	84,5	-	117,8	-
NS (КСА-21) + РК	13,4	0,2	5,20	-1,34	53,7	8,8	39,1	-15,7	8,8	1,2	221	-70	87,2	2,7	116,3	-1,5
NS (КСА-23) + РК	13,8	0,6	6,15	-0,39	53,0	8,1	40,9	-13,9	7,8	0,2	281	-10	86,2	1,7	116,3	-1,5
НСР ₀₅	0,18	-	0,389	-	3,92	-	7,31	-	0,18	-	21,2	-	1,68	-	20,42	-

Дозы удобрений под культуры на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах:

- лук (N₆₀P₆₀K₁₀₀): **базовый вариант** - N₄₄ (карбамид) + N₁₆P₆₀ (аммонизированный суперфосфат) + K₁₀₀ (калий хлористый); **испытанное 1** - N₄₄S_{11,7} (КСА-21) + N₁₆P₆₀+ K₁₀₀; **испытанное 2** - N₄₄S_{10,7} (КСА-23) + N₁₆P₆₀+ K₁₀₀;
- морковь (N₉₀P₅₀K₁₀₀): **базовый вариант** - N₇₇ (карбамид) + N₁₃P₅₀ (аммонизированный суперфосфат) + K₁₀₀ (калий хлористый); **испытанное 1** - N₇₇S_{20,5} (КСА-21) + N₁₃P₅₀+ K₁₀₀; **испытанное 2** - N₇₇S_{18,7} (КСА-23) + N₁₃P₅₀+ K₁₀₀;
- капуста (N₁₁₀P₇₀K₁₂₀): **базовый вариант** - N₉₁ (карбамид) + N₁₉P₇₀ (аммонизированный суперфосфат) + K₁₂₀ (калий хлористый); **испытанное 1** - N₉₁S_{24,3} (КСА-21) + N₁₉P₇₀+ K₁₂₀; **испытанное 2** - N₉₁S_{22,2} (КСА-23) + N₁₉P₇₀+ K₁₂₀;
- картофель (N₁₀₀P₆₀K₁₄₀): **базовый вариант** - N₈₄ (карбамид) + N₁₆P₆₀ (аммонизированный суперфосфат) + K₁₄₀ (калий хлористый); **испытанное 1** - N₈₄S_{22,4} (КСА-21) + N₁₆P₆₀+ K₁₄₀; **испытанное 2** - N₈₄S_{20,5} (КСА-23) + N₁₆P₆₀+ K₁₄₀.

Таблица 5

Влияние жидких азотно-серосодержащих удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых песчаных (Светлогорский район, 2010–2011 гг.) и рыхлосупесчаных (Экспериментальная база им. Котовского, 2018–2020 гг.) почвах в полевых и производственных опытах

Варианты	ц/га				Среднее, ± к базовому	ц/га				Среднее, ± к базовому	ц/га				Среднее, ± к базовому				
	2010		2011			2018		2019			2010		2018			2019		2020	
	озимый рапс					яровой рапс					картофель								
Контроль без удобрений	–	–	6,2	7,4	–	10,7	9,4	10,2	20,6	12,7	341	303	461	496	400,3				
Нкас + РК (базовый вариант)	15,6	17,9	18,8	18,9	17,8	13,3	18,9	22,9	32,1	21,8	550	394	745	603	573,0				
NS (АСУ-1)* + РК	–	–	–	–	–	14,1	–	–	–	–	576	–	–	–	–				
NS (АСУ-2)** + РК	18,0	21,6	24,5	21,2	21,3 3,5***	14,3	23,3	23,5	32,0	23,3 1,5***	588	411	750	624	593,3 20,3***				
НСР ₀₅	2,21	2,25	1,80	1,84	2,04	0,92	2,04	1,69	1,99	1,72	16,9	20,7	21,1	19,5	19,52				

АСУ – 1 = 20-4 и АСУ – 2 = 12-8

* азотно-серосодержащее удобрение АСУ-1, содержащее N – 20 %, S – 4 %;

** азотно-серосодержащее удобрение АСУ-2, содержащее N – 12 %, S – 8 %;

*** прибавка к базовому варианту.

Дозы удобрений под культуры:

– *озимый рапс* (N₁₅₀P₆₈K₁₃₃): перед посевом – N₃₀P₆₈K₁₃₃ (комплексное удобрение, марка 7-16-31) – во всех вариантах, кроме контроля + две подкормки N₈₀₊₄₀; **базовый вариант** – две подкормки (N₈₀₊₄₀) – карбамидом; **испытуемое удобрение 1** – N₈₀₊₄₀ (АСУ-1), в первую подкормку – N₈₀S₁₆ и во вторую – N₄₀S₈; **испытуемое удобрение 2** – N₈₀₊₄₀ (АСУ-2), в первую подкормку – N₈₀S₅₃ и во вторую – N₄₀S_{26,7}; – *яровой рапс* (N₁₄₀P₆₀K₁₅₀) – перед посевом N₁₀₀P₆₀K₁₅₀ + N₄₀ в подкормку; **базовый вариант** – перед посевом N₈₄ (КАС) + N₁₆P₆₀ (аммонизированный суперфосфат) + K₁₅₀ (калий хлористый) + подкормка N₄₀ (карбамидом); **испытуемое удобрение 1** – перед посевом N₈₄S_{16,8} (АСУ-1) + N₁₆P₆₀+K₁₅₀; в подкормку – N₄₀ (карбамид); **испытуемое удобрение 2** – N₈₄S₅₆ (АСУ-2) + N₁₆P₆₀+K₁₅₀; в подкормку – N₄₀ (карбамид); – *картофель* (N₉₀P₆₈K₁₃₅): перед посевом N₇₂ (КАС) + N₁₈P₆₈ (аммонизированный суперфосфат) + K₁₃₅ (калий хлористый); **испытуемое удобрение 1** – перед посевом N₇₂S_{14,4} (АСУ-1) + N₁₈P₆₈+K₁₃₅; **испытуемое удобрение 2** – N₇₂S₄₈ (АСУ-2) + N₁₈P₆₈+K₁₃₅

Таблица 6

Влияние жидких азотно-серосодержащих удобрений Свежка на урожайность сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава (Светлогорский район, 2011–2012 гг.)

Варианты	ц/га	± к базовому	ц/га	± к базовому	ц/га	± к базовому	ц/га	± к базовому	ц/га	± к базовому
	рапс яровой*	всего	картофель**	всего	кукуруза (з/м)***	всего	кукуруза (зерно)****	всего	яровая пшеница****	всего
Контроль без удобрений	13,5	–	361	–	653	–	81,6	–	39,9	–
Нм (карбамид) + РК (базовый вариант)	22,0	–	466	–	823	–	117,0	–	47,6	–
NS (Свежка-1) + РК	25,5	3,5	541	75	893	70	122,4	5,4	53,5	5,9
NS (Свежка-2) + РК	26,9	4,9	564	98	899	76	125,6	8,6	54,3	6,7
НСР ₀₅	1,04	–	21,5	–	29,2	–	4,30	–	3,25	–

Свежка-1 (NS с микроэлементами) = 20-3,8 и Свежка-2 (NS с микроэлементами) = 12-7,8 (в удобрения для ярового рапса* включали В, Сu, Мп; для картофеля** – В, Сu; для кукурузы*** – Zn и Мп; для яровой пшеницы**** – Сu, Мп.

Дозы удобрений под культуры (доза азота указана общая, внесенная с жидкими азотно-содержащими удобрениями Свежка, аммонизированным суперфосфатом + подкормка азотом):

- яровой рапс (N₁₀₀₊₃₀P₆₀K₁₀₀). **базовый вариант** – перед посевом N₈₄ (карбамид) + N₁₆P₆₀ (аммонизированный суперфосфат) + K₁₀₀ (калий хлористый), в подкормку – N₃₀ (карбамид); **испытуемое 1** – N₈₄S_{16,0} (Свежка-1) + N₁₆P₆₀ + K₁₄₀, в подкормку – N₃₀ (карбамид); **испытуемое 2** – N₈₄S_{54,6} (Свежка-2) + N₁₆P₆₀ + K₁₄₀, в подкормку – N₃₀ (карбамид);
- картофелю (N₁₂₀P₇₀K₁₄₀). **базовый вариант** – N₁₀₁ (карбамид) + N₁₉P₇₀ (аммонизированный суперфосфат) + K₁₄₀ (калий хлористый); **испытуемое 1** – N₁₀₁S_{19,2} (КСА-21) + N₁₉P₇₀ + K₁₄₀; **испытуемое 2** – N₁₀₁S_{66,7} (КСА-23) + N₁₉P₇₀ + K₁₄₀;
- кукурузу – (N₁₁₀₊₃₀P₈₀K₁₂₂); **базовый вариант** – перед посевом N₈₉ (карбамид) + N₂₁P₈₀ (аммонизированный суперфосфат) + K₁₂₂ (калий хлористый), в подкормку – N₃₀ (карбамид); **испытуемое 1** – N₈₉S_{16,9} (Свежка-1) + N₁₆P₆₀ + K₁₄₀, в подкормку – N₃₀ (карбамид); **испытуемое 2** – N₈₉S_{57,9} (Свежка-2) + N₁₆P₆₀ + K₁₄₀, в подкормку – N₃₀ (карбамид);
- яровую пшеницу (N₁₀₀P₆₀K₁₂₀). **базовый вариант** – N₈₄ (карбамид) + N₁₆P₆₀ (аммонизированный суперфосфат) + K₁₂₀ (калий хлористый); **испытуемое 1** – N₈₄S₁₆ (КСА-21) + N₁₆P₆₀ + K₁₂₀; **испытуемое 2** – N₈₄S_{54,6} (КСА-23) + N₁₆P₆₀ + K₁₂₀.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования по изучению агрономической эффективности применения жидких азотно-серосодержащих удобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава позволяют сделать следующие выводы.

Применение жидких азотно-серосодержащих удобрений (карбамид-сульфатных КСА-21 и КСА-23) с содержанием $N_{21-23}S_{5,6}$ способствовало увеличению урожайности зерна ячменя на 2,3–2,7 ц/га, озимой пшеницы – 2,2–3,7, яровой пшеницы – 5,4–6,4, семян озимого рапса – 2,2–2,7, клубней картофеля – 48–68, зеленой массы кукурузы – 11–47 ц/га, овощных культур (огурцов – на 1,0–2,5 ц/га, томатов – 1,3–2,0, кабачков – 2,4–3,6, корнеплодов моркови – 63–68, луковиц лука репчатого – 61–74 ц/га по сравнению с удобрениями, не содержащими серы. Качество продукции улучшалось за счет повышения содержания и сбора сухого вещества, протеина, сахаров и снижения содержания нитратов.

Внесение жидких азотно-серосодержащих удобрений АСУ-1 ($N_{20}S_4$) и АСУ-2 ($N_{12}S_8$) без добавок микроэлементов обеспечило в среднем за годы исследований по сравнению с удобрениями стандартными азотными на фоне РК повышение урожайности семян рапса озимого на 3,5 ц/га, семян рапса ярового – на 1,5, клубней картофеля – на 20,3 ц/га. Качество семян рапса улучшалось за счет увеличения массы 1000 семян и содержания масла (на 0,9–1,9 % в семенах рапса озимого, при содержании масла на уровне 48,1–50,7 %, соответственно в семенах рапса ярового – на 0,5–2,1 %, при содержании масла – от 44,0 до 46,8 %), клубней картофеля – за счет повышения товарности клубней и снижения содержания нитратов.

Применение удобрений жидких азотно-серосодержащих с добавками микроэлементов Свежка-1 ($N_{20}S_{3,8}$) и Свежка-2 ($N_{12}S_{7,8}$) обеспечивало по сравнению с жидкими азотно-серосодержащими удобрениями АСУ без добавок микроэлементов увеличение урожайности семян рапса ярового на 3,5–4,9 ц/га, клубней картофеля – на 75–98, зеленой массы кукурузы – 70–76, зерна кукурузы – 5,4–8,6 и зерна яровой пшеницы – на 5,9–6,7 ц/га, при одновременном улучшении качественных показателей продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимирова, Э. Д.* Действие серосодержащих удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур в зависимости от агрохимических свойств почв: автореф. дис. ... канд. с.-х наук: 06.01.04 / Э. Д. Владимирова; Сельскохозяйственная академия. – Горки, 1974. – 24 с.
2. Применение серосодержащих удобрений на дерново-подзолистых почвах Белоруссии: рекомендации / М. П. Шкель [и др.]. - Минск: Ураджай, 1988. - 18 с.
3. *Богдевич, И. М.* Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур / И. М. Богдевич, Т. М. Германович // Научно-практический опыт в агропромышленном производстве. – Минск: Белнаучцентр-информмаркет АПК, 1995. – 3 с.
4. *Германович, Т. М.* Серосодержащие удобрения как фактор повышения урожайности ярового ячменя и повышения качества продукции / Т. М. Германович //

Почвенные исследования и применение удобрений: межведомственный тематич. сб. / Беларус. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 1997. – Вып. 24. – С. 87–97.

5. *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-исследовательское государственное предприятие «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 1998. – 17 с.

6. *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.

7. Рекомендации по применению магниевых и серосодержащих удобрений под яровой рапс в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистых суглинистых почв магнием / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: РУП Институт почвоведения и агрохимии, 2007. – 16 с.

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

9. Диапазон оптимального уровня содержания обменного магния в дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах и эффективность серосодержащих удобрений при возделывании кукурузы / О. М. Таврыкина [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1(52). – С. 268–278.

10. *Докшин, Я. В.* Влияние хлор- и магниевых серосодержащих удобрений на продуктивность картофеля / Я. В. Докшин // Агроэкологические основы применения удобрений в современной земледелии: материалы 48-й Междунар. науч. конф. молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, Москва, 24 апр. 2014 г. / Федеральное агентство научных организаций, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д. Н. Прянишникова. – Москва, 2014. – С. 69–72.

11. Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество гречихи и картофеля на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Г. В. Пироговская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 102–114.

12. Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество озимого и ярового рапса на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве / Г. В. Пироговская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 114–125.

13. Рекомендации по применению серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры / Г. В. Пироговская [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 84 с.

14. *Минеев В. Г.* Агрохимия: учебник / В. Г. Минеев; 2-е изд., перераб. и доп.. – М.: Издательство МГУ, Издательство «Колос», 2004. – 720 с.

15. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / А. В. Пискун [и др.]. – Минск: Промкомплекс, 2020. – 742 с.

16. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – Москва: Колос, 1972. – 336 с.

NEW FORMS OF LIQUID NITROGEN-CONTAINING FERTILIZERS IN THE CULTIVATION OF AGRICULTURAL CROPS IN BELARUS

G. V. Pirogovskaya

Summary

The article presents data on the effectiveness of liquid nitrogen-sulfur fertilizers (1999–2000, 2010–2011, 2016, 2018–2020) on sod-podzolic soils of different granulometric composition (light loamy, loose-sanded) in Gomel, Minsk and Grodno regions in the cultivation of agricultural and vegetable crops. It is shown that the use of liquid nitrogen-sulfur fertilizers, for crops demanding sulfur, provides an increase in yield, while improving the quality of products.

Поступила 05.05.2022

УДК:632.118.3:633

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-64-72](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-64-72)

ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ ^{137}Cs И ^{90}Sr СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ РАСТЕНИЯМ В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Ю. В. Путятин

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

ВВЕДЕНИЕ

Путь радионуклидов до организма человека может быть разным, но наиболее вероятной является цепь «почва–растение–животное–человек». Подвижность радионуклидов в биоценозах зависит от их физико-химических свойств, условий внешней среды и биологических особенностей растений и животных. Формы нахождения радионуклидов в объектах окружающей среды являются одним из определяющих факторов их поведения в экосистемах. Степень опасности любых радионуклидов зависит не только от их общего содержания, но и от их подвижности в почве. От форм нахождения радионуклидов в почве зависит их миграция по почвенному профилю, а также размеры вымывания с осадками, интенсивность поступления в растения. Чем прочнее связаны радионуклиды с почвой, тем меньше их миграция, в том числе и поступление в растения и далее в продукцию животноводства и в организм человека. Эти сведения необходимо учитывать для разработки мер по реабилитации загрязненных радионуклидами территорий [1–3].

Как показывают многочисленные исследования, содержание мобильных

форм ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах не различалось в течение двух-трех лет после аварии. Пик содержания водорастворимых и обменных форм радиоцезия достигал 40 % (суммарно) в 1988–1989 гг., и затем их содержание снизилось до 5–10 % за счет сорбции почвенными минералами. Содержание мобильных форм ^{90}Sr нарастало от 5–10 % в первые два года после выпадений, до 50–70 % к 1990 г. В настоящее время, в радиационностабильных условиях, доля фиксированной фракции ^{137}Cs составляет 83–98 % от валового содержания в почве, содержание ^{90}Sr в прочносвязанной форме не превышает 7–12 %. Процессы трансформации форм радионуклидов в почвах различаются, что связано с механизмом поглощения радионуклидов твердой фазой: вхождением в кристаллическую решетку глинистых минералов, ионным обменом, химическим соосаждением и т. п. [1–4]. Выветривание и выщелачивание радионуклидов из топливных частиц выпадений под влиянием природных процессов привело к тому, что ведущая роль физико-химических форм выпадений как фактора, обуславливающего радиоэкологическую обстановку, уменьшается, а со временем роль почвенно-климатических факторов увеличивается [5].

После аварии на ЧАЭС с 1989 г. в Беларуси начался самый продолжительный период потепления за все время инструментальных наблюдений за температурой воздуха на протяжении последних почти 130 лет. За период с 1989 по 2015 г. среднегодовая температура воздуха в Беларуси на 1,3 °С превысила климатическую норму, принятую Всемирной метеорологической организацией (ВМО). В 2015 г. средняя годовая температура воздуха составила +8,5 °С, что на 2,7 °С выше климатической нормы и оказалась самой высокой за весь период инструментальных наблюдений, начиная с 1881 г. В результате потепления произошло изменение границ агроклиматических зон (областей): Северная агроклиматическая область распалась, а на юге Белорусского Полесья образовалась новая, более теплая агроклиматическая область. Исследования показывают, что тенденции этих изменений в ближайшие десятилетия сохраняться [6].

В настоящее время в Беларуси агроклиматические зоны сдвинулись более чем на 200 км на север и новая агроклиматическая зона с суммой температур 2600–2800 с эффективными температурами свыше 10 °С появилась на юге республики. Новая климатическая зона распространилась на большую часть территории загрязнения радионуклидами Чернобыльских выпадений, где ведется сельскохозяйственное производство и также на зону отчуждения. Согласно экспертной оценке Института природопользования НАН Беларуси и Гидрометеорологической службы Республики Беларусь к 2030 г. эта новая агроклиматическая зона распространится полностью на земли, загрязненные радионуклидами, где преобладают минеральные почвы легкого гранулометрического состава и осушенные торфяные почвы [6, 7].

Понимание того, как агроэкосистемы территорий, загрязненных радионуклидами, реагируют на изменение климата, является чрезвычайно важным для продовольственной и экологической безопасности и оптимизации защитных мероприятий.

Цель исследования заключалась в определении форм нахождения радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в дерново-подзолистых почвах различного гранулометрического состава и влияния климатических условий вегетационного периода на переход ^{90}Sr из почвы в растения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по оценке подвижности проводили с образцами дерново-подзолистых легкосуглинистой, супесчаной и песчаной почв, отобранных с пахотных земель в 2021 г. (таб. 1, 2).

В исследованиях использовали метод последовательной экстракции форм нахождения радионуклидов, предложенный Ф. И. Павлоцкой и получивший дальнейшее развитие в работах большой группы радиоэкологов [8–11]. Метод включает в себя выделение пяти фракций радионуклидов, характеризующихся разной прочностью и природой связи с твердой фазой почвы.

Подвижные и кислоторастворимые формы радионуклидов цезия-137 и стронция-90 определяли последовательной обработкой почв дистиллированной H_2O (водорастворимая форма), 1 М CH_3COONH_4 , pH = 4,8 (обменная и легкорастворимая форма), 1М HCl (подвижная форма) и 6 М HCl (кислоторастворимая форма). Соотношение твердой и жидкой фаз составляло 1:5. Содержание каждого радионуклида в почвенных фракциях рассчитывали в процентах от его суммарного содержания в навеске почвы. [12].

Маршрутные исследования проводились путем отбора проб растительных образцов в фазы технической спелости и сопряженных почвенных образцов в производственных посевах Хойникского и Брагинского районов Гомельской области методом учетных площадок на дерново-подзолистых супесчаных почвах в период с 2008 по 2019 г. Почвенные образцы отбирали методом конверта, т. е. один смешанный образец состоял из 5 индивидуальных проб, взятых на глубину перегнойного горизонта с площади 1 м² с помощью почвенного тростевого бура. Масса воздушно-сухого образца почвы для проведения анализа на содержание радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr составляла 1,5 кг. Из точечных растительных проб массой 0,6–1,0 кг формировали объединенную пробу. Все данные по удельной активности растительных образцов (Бк/кг) пересчитывались на стандартную влажность: для зерна – 14 %, сена – 16 % и зеленой массы – 82 %. *Выборка (n) для каждой исследуемой сельскохозяйственной культуры составляла не менее 30.*

Измерения удельной активности ¹³⁷Cs в растительных и почвенных образцах проводили в соответствии с методами испытаний МВИ.МН 1181-2011. Методика выполнения измерений объемной и удельной активности ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs и ⁴⁰K на гамма-бета-спектрометре типа МКС-АТ1315, объемной и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁴⁰K на гамма-спектрометре типа EL1309 (МКГ-1309) в пищевых продуктах, питьевой воде, почве, сельскохозяйственном сырье и кормах, продукции лесного хозяйства, других объектах окружающей среды. Линия гамма-излучения ¹³⁷Cs соответствовала 661,66 кэВ. Ошибка измерений не превышала 15 %.

Содержание ⁹⁰Sr оценивали по дочернему продукту распада ⁹⁰Y после проведения радиохимической очистки от мешающих радионуклидов оксалатным методом с последующим измерением на пластиковом сцинтилляционном детекторе спектрометра-радиометра «Прогресс-БГ». Выход носителя иттрия определяли гравиметрическим методом, выход носителя стронция – на атомно-абсорбционном спектрофотометре [13]. Статистическая погрешность измерений не превышала 20 %.

Для оценки условий вегетационного периода использовали гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), который показывает уровень влагообеспеченности

территории и представляет собой отношение суммы осадков в миллиметрах за период с температурами выше +10 °С к сумме температур в градусах Цельсия (°С) за то же время. [14]. По данным экспертов Центра климатических исследований Института природопользования НАН Беларуси по гидротермическому коэффициенту увлажнения (ГТК) характеризуют следующие условия увлажнения территории: больше 1,6 – влажные, от 1,6 до 1,3 – оптимальные, от 1,3 до 1,0 – слабозасушливые, от 1,0 до 0,7 – засушливые, от 0,7 до 0,4 – очень засушливые, от 0,4 до 0,2 – сухие, от 0,2 и меньше – очень сухие. [6, 7].

Методы математической обработки результатов. Коэффициенты перехода (Кп) радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в растения рассчитывались по формуле:

$$K_{п} = \frac{A_p}{A_s}, \quad (1)$$

где: A_p – удельная активность радионуклида в растении (Бк кг⁻¹);

A_s – плотность загрязнения почвы радионуклидом (кБк м⁻²).

Для математической обработки экспериментального материала использовали регрессионный, корреляционный и методы описательной статистики с использованием программного обеспечения MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По мнению Д. В. Манахова и др., для оценки доступности радионуклидов растениям следует использовать сумму водорастворимой и обменной (легкорастворимой) фракций по методике Павлоцкой. Для оценки геохимической подвижности радионуклидов следует использовать сумму подвижных фракций (водорастворимой, обменной (легкорастворимой) и собственно подвижной) [12]. Исследователи отмечают, что подвижная фракция ^{137}Cs включает в себя как собственно обменные, так и специфически сорбированные формы, содержащая радионуклид, ассоциированный с оксидами Mn, легко окисляемыми органическими соединениями и частично с аморфными оксидами Fe и Al [18]. В состав кислоторастворимой фракции ^{137}Cs входят аморфные и кристаллические оксиды Fe и Al, а также продукты взаимодействия гумусовых веществ с устойчивыми полуторными оксидами и глинистыми минералами [19]. Радиоцезий сосредоточенный в остатке, остающемся после серии экстракций находится в межпакетном пространстве кристаллических решеток вторичных глинистых минералов (преимущественно со структурой иллитов) [20].

Эксперименты показали, что в исследуемых почвах радионуклиды цезия и стронция находятся в разных формах и соотношениях (табл. 1, 2). Результаты исследований, полученные при изучении форм нахождения ^{137}Cs показали, что количественное распределение радиоцезия по формам нахождения зависит от гранулометрического состава почвы. Основная доля ^{137}Cs находится в прочно связанной форме и, вероятнее всего, в кристаллической решетке глинистых минералов. Доля легкодоступных форм радиоцезия (водорастворимая + обменная) для растений составляет в дерново-подзолистых песчаных почвах 10,9 %, в супесчаных – 5,1 % и в суглинистой – 3,9 % от валового содержания в почве. В настоящее время прочная фиксация радиоцезия минеральными почвами и определяет низкие переходы данного радионуклида в продукцию растениеводства (табл. 1).

Таблица 1

Формы ^{137}Cs в образцах пахотного горизонта (0–20 см) дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава (2021 г.)

Дерново-подзолистая почва	Форма				
	водорастворимая	обменная	подвижная	кислоторастворимая	остаток
	Бк/кг почвы				
Песчаная	0,7 ± 0,3	119 ± 8,3	140 ± 8,1	820 ± 49,2	21,2 ± 1,5
Доля от валового содержания, %	0,06	10,81	12,72	74,48	1,93
Супесчаная	0,4 ± 0,2	23,6 ± 1,6	25,8 ± 1,8	408 ± 24,5	9,5 ± 0,8
Доля от валового содержания, %	0,09	5,05	5,53	87,38	2,03
Суглинистая	11 ± 0,9	109 ± 6,5	228 ± 13,7	2620 ± 157,2	104 ± 7,3
Доля от валового содержания, %	0,36	3,55	7,42	85,29	3,39

В противоположность радиоцезию, среди подвижных форм стронция в почвах преобладают обменные и легкорастворимые формы радионуклида. Как известно, стронций поглощается глинистыми минералами по механизму ионного обмена в межслоевом пространстве, постепенно замещая обменные катионы (Ca^{2+} , Mg^{2+}), до момента установления равновесия [15–17].

В наших экспериментах, доля доступных форм радиостронция (водорастворимая + обменная + подвижная) для растений составляет в дерново-подзолистых песчаных почвах 87,3 %, в супесчаных 81,2 % и в суглинистой 92,0 % от валового содержания в почве и доля легкодоступных (водорастворимая + обменная) составляет 67,2 %, 59,5 % и 75,5 % соответственно (табл. 2). Данный факт определяет высокие переходы радиостронция в продукцию растениеводства [23].

Таблица 2

Формы ^{90}Sr в образцах пахотного горизонта (0–20 см) дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава (2021 г.)

Дерново-подзолистая почва	Форма				
	водорастворимая	обменная	подвижная	кислоторастворимая	остаток
	Бк/кг почвы				
Песчаная	8,78 ± 3,16	48,23 ± 8,68	17,09 ± 7,01	8,68 ± 5,03	2,07 ± 1,28
Доля от валового содержания, %	10,35	56,84	20,14	10,23	2,44
Супесчаная	7,41 ± 4,37	20,42 ± 5,31	10,11 ± 4,14	7,76 ± 5,51	1,05 ± 0,86
Доля от валового содержания, %	15,85	43,68	21,63	16,60	2,25
Суглинистая	8,98 ± 4,85	65,30 ± 11,1	16,23 ± 5,68	4,14 ± 2,15	3,69 ± 2,10
Доля от валового содержания, %	9,13	66,40	16,50	4,21	3,75

Транспорт Са, химического аналога Sr, осуществляется преимущественно в апопласте путем свободной диффузии, ускоряемой транспирацией, в объеме клеточной стенки, где часть ионов находится в растворе, идентичном внешнему почвенному раствору [21]. Sr и Са переходят в корень по одинаковым путям, причем при переходе в симпласт доля неспецифической ионной утечки существенно превалирует над селективными каналами и существенную роль играет связывание ⁹⁰Sr (аналогично Са) в цитоплазматической части симпласта [22].

В связи с тем, что транспорт стронция в растения ускоряется транспирацией, нами проведена сравнительная оценка влияния климатических условий на перенос ⁹⁰Sr из почвы в растения с использованием гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК) в качестве интегрального показателя влагообеспеченности, отражающего соотношение температуры и осадков в течение вегетационного периода. Полевые исследования, проведенные в период с 2008 по 2019 гг., показывают, что в более теплые и сухие вегетационные периоды с высокой степенью вероятности можно ожидать значительного увеличения переноса стронция из почвы в растения (табл. 3).

Вегетационные периоды в годы отбора проб для люцерны характеризовались как слабозасушливые и засушливые, для кукурузы – засушливые, для тритикале – оптимальные и слабозасушливые и гороха – засушливые и очень засушливые. Результаты исследований показывают, что для всех исследуемых сельскохозяйственных культур отмечается увеличение переходов стронция-90 от 1,1 до 3,9 раза со снижением показателя ГТК с 1,45 до 0,65. Максимальное увеличение Кп стронция-90 с 1,6 до 6,4 отмечено у гороха посевного в более засушливых и теплых условиях вегетационного периода, что возможно связано с тем, что горох является кальциефильной культурой, что определяет высокие размеры выноса его химического аналога ⁹⁰Sr.

Таблица 3

Зависимость коэффициентов перехода ⁹⁰Sr от условий вегетационного периода, влияние отношения осадков к сумме активных температур вегетационного периода (ГТК) на переходы ⁹⁰Sr (Кп) из дерново-подзолистых супесчаных почв в сельскохозяйственные культуры

Культура	Продукция	ГТК	Кп
Люцерна	сено	0,99	17,87 ± 3,22
		0,73	18,79 ± 2,82
Кукуруза	зеленая масса	0,96	1,01 ± 0,16
		0,69	1,41 ± 0,21
Тритикале	зерно	1,49	0,74 ± 0,11
		1,12	1,16 ± 0,16
Горох	зерно	0,98	1,62 ± 0,29
		0,65	6,36 ± 0,96

По предварительным данным можно отметить, что с потеплением климата на территории радиоактивного загрязнения проблемы с высокими переходами стронция-90 в растениеводческую продукцию будут усугубляться. В связи с этим необходима разработка мер адаптации по использованию сельскохозяйственных земель загрязненных радионуклидами. Для этого будет необходимо изменить

структуру посевных площадей, включая внедрение засухоустойчивых культур, применять меры по борьбе с дефляцией земель для ограничения переноса радионуклидов на прилегающие территории, внедрять влагосберегающие технологии и увеличивать площади орошаемого земледелия. Выше названные меры потребуют новых данных о коэффициентах перехода радионуклидов из почвы в растения для прогнозирования загрязнения радионуклидами урожая интродуцированных культур, для улучшения стратегий реабилитации загрязненных земель и оптимизации защитных мероприятий в условиях потепления климата.

ВЫВОДЫ

1. Количественное распределение ^{137}Cs по формам нахождения зависит от гранулометрического состава дерново-подзолистых почв. Спустя 35 лет после аварии на Чернобыльской АЭС основная доля ^{137}Cs находится в прочно связанной форме, что определяет низкие переходы данного радионуклида в продукцию растениеводства. Доля легкодоступных форм радиоцезия (водорастворимая + обменная) для растений составляет в дерново-подзолистых песчаных почвах 10,9 %, в супесчаных – 5,1 % и в суглинистой – 3,9 % от валового содержания в почве.

2. Среди подвижных форм ^{90}Sr в дерново-подзолистых почвах преобладают обменные и легкорастворимые формы радионуклида. Доля доступных форм радиостронция (водорастворимая + обменная + подвижная) для растений составляет в дерново-подзолистых песчаных почвах 87,3 %, в супесчаных – 81,2 % и в суглинистой – 92,0 % от валового содержания в почве и доля легкодоступных (водорастворимая + обменная) составляет 67,2 %, 59,5 % и 75,5 % соответственно. Данный факт определяет высокие переходы радиостронция в продукцию растениеводства.

3. Результаты исследований показывают, что для исследуемых сельскохозяйственных культур отмечается увеличение переходов ^{90}Sr в растения из дерново-подзолистой супесчаной почвы в более теплые и сухие вегетационные периоды. По предварительным данным можно отметить, что с потеплением климата на территории радиоактивного загрязнения проблемы с высокими переходами ^{90}Sr в растениеводческую продукцию будут усугубляться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сельскохозяйственная радиоэкология // Р. М. Алексахин [и др.]. – М.: Экология, 1992. – 400 с.

2. Архипов А. Н. Поведение ^{90}Sr и ^{137}Cs в агроэкосистемах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.01 / А. Н. Архипов; Всерос. науч.-исслед. ин-т с.-х. радиологии и агроэкологии. – Обнинск, 1995 – 26 с.

3. Формы нахождения в почвах и динамика накопления ^{137}Cs в сельскохозяйственных культурах после аварии на Чернобыльской АЭС / Н. И. Санжарова [и др.] // Почвоведение. – 1997. – № 2. – С. 129–134.

4. Круглов, С. В. Распределение и формы нахождения радиоактивных и стабильных изотопов Cs и Sr в торфяных почвах / С. В. Круглов, Б. В. Осипов, Е. В. Просяников // Радиоэкология торфяных почв: материалы Междунар. конф., Санкт-Петерб. гос. аграр. ун-т. – СПб., 1994. – С. 95–97.

5. *Путятин Ю. В.* Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию: монография / Ю. В. Путятин. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 255 с.
6. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата. В. И. Мельник [и др.]. – Минск-Женева, 2017. – 84 с.
7. *Мельник В. И.* Изменение климата и меры по адаптации сельского хозяйства к этим изменениям в Республике Беларусь / В. И. Мельник // Труды ФГБУ «ВНИИ-ИСХМ». – 2013. – Вып. 38. – С. 249–256.
8. *Павлоцкая Ф. И.* Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах / Ф. И. Павлоцкая. – М.: Атомиздат, 1974. – 215 с.
9. Comparison of methods for assessing plutonium speciation in environmental objects / T. A. Goryachenkova [et al.] // Radiochem. – 2005. – Vol. 47, № 6. – P. 599–604.
10. *Круглов С. В.* Формы нахождения радионуклидов в почвах 30-км зоны ЧАЭС и их изменение со временем / С. В. Круглов, А. Д. Куринов, Н. П. Архипов: IV Междунар. науч.-техн. конф. «Итоги 8 лет работы по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС». – Сб. докл. Чернобыль. – 1994. – Т. 1. – С. 243–250.
11. *Arkhipov N. P.* Relative amounts of compounds of heavy natural radionuclides / N. P. Arkhipov, T. A. Fedorova, L. T. Fevrалеva // Sov. Soil Sci. – 1986. – Vol. 18, № 3. – P. 66–70.
12. Методы изучения форм нахождения радионуклидов в почвах / Д. В. Маханов [и др.] // Радиационная биология. Радиозкология. – 2019. – Т. 59, № 4. – С. 410–418.
13. International Atomic Energy Agency. Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency. IAEA–TECDOC–1092. – Vienna, 1999. – 307 p.
14. Сельскохозяйственный энциклопедический словарь; под ред. гл. ред. В. К. Месяц. – М.: Советская энциклопедия, 1989. – 656 с.
15. Закономерности поведения радионуклидов при использовании глинистых пород в качестве материала защитного барьера в хранилищах РАО / М. Н. Сабодина // Пятая Российская конференция по радиохимии «Радиохимия-2006»: Тезисы докладов, Дубна 23–27 октября 2006 г. – Дубна, 2006. – С. 269.
16. *Павлоцкая Ф. И.* Формы нахождения и миграция искусственных радионуклидов в почве / Ф. И. Павлоцкая. – М.: Атомиздат, 1979. – 215 с.
17. *Кобец С. А.* Сорбция Sr на монтмориллоните с осажденными на его поверхности гидроксидами железа / С. А. Кобец // 8-я Международная конференция «Сотрудничество для решения проблемы отходов» WasteEC0–2011, Харьков, 23–24 февраля 2011 г.
18. *Круглов С. В.* Формы нахождения радионуклидов в почвах 30-ти км зоны ЧАЭС и их изменение со временем / С. В. Круглов, А. Д. Куринов, Н. П. Архипов // IV Междунар. науч.-техн. конф. «Итоги 8 лет работы по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС». – Сб. докл. Чернобыль. – 1994. – Т. 1. – С. 243–250.
19. *Filgueiras A. V.* Chemical sequential extraction for metal partitioning in environmental solid samples / A. V. Filgueiras, I. Lavilla, C. Bendicho // J. Environ. Monit. – 2002. – Vol. 4, № 6. – P. 823–857.
20. Роль химии в реабилитации сельскохозяйственных угодий, подвергшихся радиоактивному загрязнению / Н. И. Санжарова [и др.] // Рос. химический журнал – 2005. – Т. XLIX. – № 3. – С. 26–34.
21. *White P. J.* The pathways of calcium movement to the xylem / P. J. White //

Journal of Experimental Botany. – 2001. – Vol. 52, № 358. – P. 891–899.

22. Соколик А. И. Действие почвенных факторов на механизмы переноса радионуклидов в системе почва–растение / А. И.Соколик, Д. А. Федорович // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях: труды Международ конф. Санкт-Петербург. – Гидрометеиздат, 2000. – С. 124–130.

23. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Н. Н. Цыбулько [и др.]; НАН Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 144 с.

ASSESSMENT OF THE AVAILABILITY OF ^{137}Cs AND ^{90}Sr RADIONUCLIDES TO AGRICULTURAL PLANTS IN CHANGING CLIMATIC CONDITIONS

Y. V. Putyatin

Summary

In field experiments conducted on sod-podzolic soils, it was found that 35 years after the Chernobyl accident, the largest share of ^{137}Cs is in a strongly bound form, which determines the low transfer of ^{137}Cs into crops. The share of easily available ^{137}Cs forms (water-soluble + exchangeable) for plants is 10,9 % in sod-podzolic sandy soils – 5,1 % in sandy loam and – 3,9 % in loam of the total content in the soil. The share of easily available of ^{90}Sr forms (water-soluble + exchangeable) is 67,2 % in sod-podzolic sandy soils 59,5 % sandy loam and 75,5 % loam of the total content in the soil. This fact determines the high transfer of ^{90}Sr into crops. The research results show that for the studied crops there is a significant increase in the transfer of ^{90}Sr to plants from sod-podzolic sandy loam soil in warmer and drier growing seasons. It can be noted that with the warming of the climate on the territory of radioactive contamination, the problems with high transfer of ^{90}Sr into crops will worsen.

Поступила 15.04.202

ФОСФОРНОЕ ПИТАНИЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ВЫСОКООБЕСПЕЧЕННОЙ ФОСФАТАМИ ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева, О. В. Симанков

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

ВВЕДЕНИЕ

Формирование урожая протекает под совокупным влиянием широкого спектра внешних факторов: климатических (водного, температурного и воздушного режимов), почвенных (агрохимических, биологических и физических), агротехнических. Каждый из них оказывает определенное непосредственное или косвенное действие на продуктивность посевов. Мощным регулируемым и требующим изучения фактором в создании высокого и устойчивого урожая, является минеральное питание растений в отдельные фазы их роста и развития.

Интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур опираются на биологические особенности растений, учитывают требования растений к условиям среды, которые изменяются по фазам развития и этапам органогенеза, удовлетворяют их, что позволяет управлять процессом формирования урожая и качества продукции, программировать урожай. Чтобы обеспечить оптимальные условия питания для формирования высокой урожайности растений, необходимо вначале установить их потребность в питательных веществах с учетом выноса на единицу продукции и интенсивности поглощения в критические периоды их потребления [1].

Исключительно важную роль в питании растений играет фосфор. Большинство процессов обмена веществ осуществляется только при его участии. Он практически всегда находится во втором минимуме после азота. Создание в корнеобитаемом слое почвы достаточного запаса минерального фосфора, особенно доступных его форм, обеспечивает высокую продуктивность культурных растений.

При этом фактический материал по определению оптимальных параметров содержания доступных (подвижных) фосфатов в почве достаточно противоречив. Одни исследования свидетельствуют о снижении продуктивности и росте непродуцируемых затрат основных элементов питания при содержании фосфатов в почве 300–400 мг/кг и выше [2–4], по другим данным негативные последствия наблюдаются уже при содержании подвижных фосфатов выше 200 мг/кг почвы [5]. В то же время, в годы с неблагоприятными погодными условиями в начальный период роста эффект от внесения фосфорных удобрений наблюдался на почве с содержанием подвижного фосфора 700–800 мг/кг [6]. А в исследованиях [7] не установлено угнетающего действия на рост и развитие испытываемых культур (ячмень, кукуруза, рапс) концентрации фосфора в почве до 2200 мг/кг почвы.

Цель данной работы – изучение особенностей динамики доступных фосфатов в почве с очень высокими запасами данного элемента, особенностей поступления фосфора в растения яровой пшеницы по основным фазам роста и развития.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные полевые исследования с яровой пшеницей сорт Сударыня проводили в 2018–2020 гг. на опытном поле РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в ОАО «Гастелловское» Минского района на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя перед посевом: pH_{KCl} – 5,9–6,1, содержание гумуса – 2,3–2,6 %, подвижные соединения фосфора – поле 1 (2018 г.) – 699 мг/кг почвы, поле 2 (2019 г.) – 708 мг/кг, поле 3 (2020 г.) – 573 мг/кг почвы, калия – 277, 253 и 187 мг/кг почвы соответственно.

Предшественник яровой пшеницы – горохо-овсяная смесь на зеленую массу и поукосно – редька масличная.

Удобрения – мочевина, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий вносили под предпосевную обработку почвы согласно схеме опыта (табл. 2).

Агротехника возделывания яровой пшеницы – общепринятая для Республики Беларусь, включающая интегрированную систему защиты растений от сорной растительности, вредителей и болезней.

Опыт заложен в 4-кратном повторении, общая площадь деланки – 24 м².

В течение вегетации растений яровой пшеницы в фазы 1-го узла, флаг-листа, колошения, молочной спелости и созревания осуществлялся мониторинг за биометрическими показателями. В эти же фазы и перед посевом яровой пшеницы до внесения удобрений, осуществлялся отбор почвенных образцов.

Доступные минеральные соединения фосфора в почве определяли путем экстрагирования из почвы 0,2 М раствором уксусной кислоты при отношении почвы к экстрагенту 1:20, времени взаимодействия – 18–20 часов и последующим фотокolorиметрическим определением фосфора [8].

Минеральные соединения фосфора (P_2O_5) в сырой растительной массе также экстрагировали 0,2 М раствором уксусной кислоты при соотношении массы растений и экстрагирующего раствора 1:20 и времени взаимодействия – 18–20 часов, определение фотометрическое [9].

Содержание общего фосфора в растительных образцах определяли фотокolorиметрически после мокрого озоления по методу ЦИНАО ванадомолибдатным методом (ГОСТ 26657-85).

Дисперсионный и корреляционный анализ экспериментальных данных выполнен согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова [10] с использованием соответствующих программ пакета MSExcel.

Метеорологические условия в годы исследований значительно различались (табл. 1). Условия 2018 г. в период от посева и до наступления фазы флаг-листа у яровой пшеницы характеризовались повышенными температурами воздуха (15,8–17,8 °С), сопровождавшимися значительным недостатком влаги. В этот период, продолжавшийся 47 дней, выпало всего 21,1 мм осадков (22 % от нормы), а продуктивные запасы влаги в 50 см слое почвы снизились со 120,5 до 5,8 мм. В дальнейшем температурный режим оставался благоприятным, условия увлаж-

нения улучшились, но дефицит запасов влаги в почве отмечался практически до фазы молочной спелости яровой пшеницы.

Таблица 1

Гидротермические условия по периодам вегетации яровой пшеницы, 2018–2020 гг.

Показатели	Год	Межфазный период				
		посев – 1-й узел	1-й узел – флаг-лист	флаг-лист – колошение	колошение – молочная спелость	молочная спелость – созревание
Средние t за период, °С (среднее мно- голетнее)	2018	15,8 (11,9)	17,8 (15,1)	18,3 (16,3)	17,1 (17,6)	21,2 (18,7)
	2019	11,4 (11,0)	18,8 (15,4)	22,8 (16,2)	19,4 (17,2)	16,4 (18,6)
	2020	8,2 (10,7)	16,4 (15,5)	21,0 (16,8)	20,1 (17,7)	17,1 (18,7)
Сумма осадков, мм (среднее мно- голетнее)	2018	19,1 (47)	2,0 (51)	17,7 (30)	192,1 (64)	11,0 (63)
	2019	51,6 (77)	14,8 (34)	8,1 (21)	36,4 (46)	63,0 (80)
	2020	53,3 (82)	90,7 (57)	19,9 (27)	66,6 (45)	35,4 (71)
Запасы продук- тивной влаги в почве (слой 0–20 см) на начало/конец периода, мм	2018	48,8/20,9	20,9/0	0/6,7	6,7/24,9	24,9/18,3
	2019	11,1/11,9	11,9/9,2	9,2/12,5	12,5/5,4	5,4/21,2
	2020	8,6/15,9	15,9/40,1	40,1/27,3	27,3/33,3	33,3/21,8
Запасы продук- тивной влаги в почве (слой 0–50 см) на начало/конец периода, мм	2018	120,5/63,6	63,6/5,8	5,8/14,9	14,9/53,1	53,1/63,6
	2019	73,3/61,8	61,8/51,9	51,9/91,9	91,9/42,8	42,8/79,0
	2020	75,3/83,0	83,0/123,4	123,4/92,0	92,0/107,1	107,1/62,6
Длительность межфазного периода, дн.	2018	27	20	10	31	18
	2019	46	14	7	17	27
	2020	46	21	9	14	27

2019 г. характеризовался недобором влаги на протяжении всего периода вегетации яровой пшеницы. При этом наиболее засушливые условия отмечались в критический период по отношению к влаге у яровой пшеницы (1-й узел – колошение), когда выпало 22,9 мм осадков (42 % от нормы), при повышенных температурах воздуха (18,8–22,8 °С).

В 2020 г. наиболее неблагоприятные условия складывались от посева до первого узла, когда наблюдался дефицит влаги (осадки составили 65 % от нормы) и тепла (среднесуточные температуры ниже многолетнего показателя на 2,5 °С). В период от флаг-листа до молочной спелости установился повышенный температурный фон (средние температуры выше нормы на 2,4–6,6 °С). Количество осадков значительно превышало норму в периоды 1-й узел – флаг-лист, колошение – молочная спелость.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Главным источником фосфорного питания растений являются минеральные соединения фосфора в почве, а именно доступные его формы [11].

Содержание доступных минеральных фосфатов, определяемых в 0,2 М уксусной кислоте, перед посевом яровой пшеницы в зависимости от года исследования (поля) изменялось в пределах от 67 до 106 мг/кг (рис. 1), что составило 12–15 % от подвижных форм, извлекаемых 0,2 М соляной кислотой.

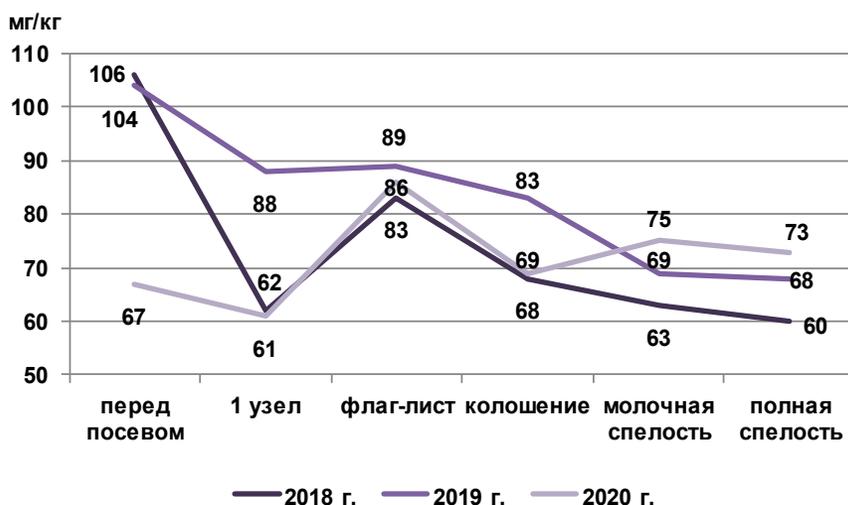


Рис. 1. Динамика содержания доступных фосфатов в почве (мг/кг) в среднем по опыту при возделывании яровой пшеницы по годам исследования

Динамика содержания фосфатов в течении вегетации может быть обусловлена как поглощением элемента растениями, так и гидротермическими условиями. Абсолютное накопление фосфора в растениях возрастает от появления всходов к созреванию, соответствующего плавного снижения содержания доступных фосфатов в почве на протяжении этого периода не прослеживалось. Но в то же время, в 2018 и 2019 гг. установлено достоверно более низкое на 36–46 мг/кг почвы ($\text{HCP}_{05} - 9$) (35–43 %) содержание доступных фосфатов в момент уборки яровой пшеницы по отношению к их количеству перед посевом культуры. В 2020 г. данная закономерность не отмечалась, к уборке показатель повысился даже незначительно – на 5 мг/кг почвы. Этот факт, как и значительные колебания содержания доступных фосфатов в течении вегетационного периода яровой пшеницы в 2018 и 2019 гг. можно объяснить влиянием погодных условий на трансформацию фосфатов в почве.

Общеизвестным является повышение доступности (подвижности) фосфатов при повышении уровня увлажнения почвы. В опыте из гидротермических показателей наиболее тесная криволинейная корреляционная связь ($R^2 0,36$) содержания доступных фосфатов в почве обнаружена с запасами продуктивной влаги в 0–20 см слое почвы.

2018 г. характеризовался наибольшими колебаниями запасов влаги от 48,8 мм перед посевом до 0 мм в фазу флаг-листа (рис. 2). При этом снижение

влагообеспеченности на 57 % (до 20,9 мм) к фазе первого узла сопровождалось снижением количества доступных фосфатов на 42 %, или 44 мг/кг почвы. Дальнейшее иссушение почвы продолжавшееся до фазы флаг-листа, когда запасы продуктивной влаги в 0–20 см слое почвы иссякли (0 мм), отмечалось значительное повышение содержания доступных фосфатов на 21 мг/кг почвы, или 34 % по отношению к предыдущей фазе. На увеличение подвижности фосфатов при высушивании почвы указывал еще А. Н. Лебедев [12]. В целом зависимость содержания доступных фосфатов от запасов влаги в этом году была близка к функциональной криволинейной ($R^2 0,99$).

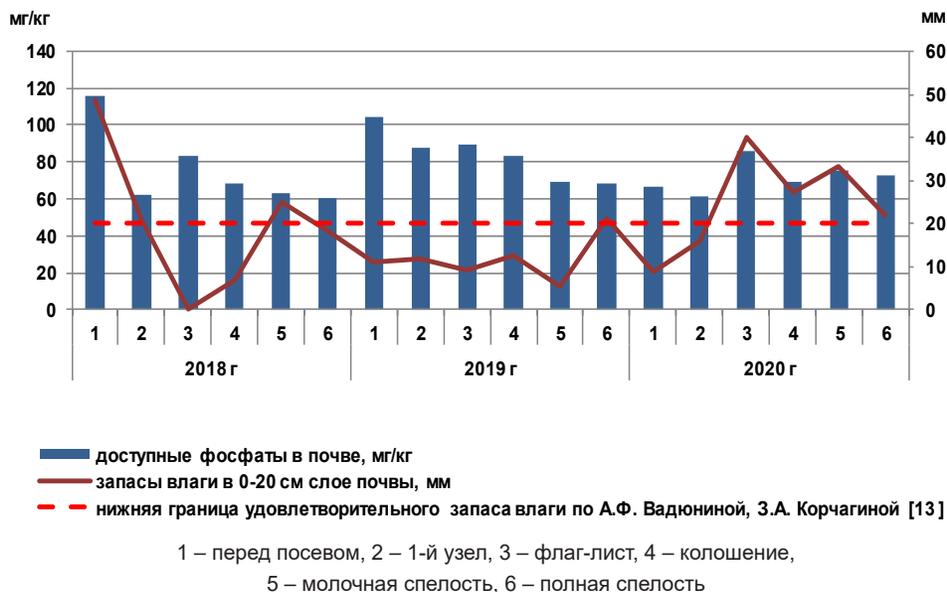


Рис. 2. Динамика содержания доступных фосфатов (в среднем по опыту и запасов влаги в почве по основным фазам развития яровой пшеницы

В 2019 г. при наименьшем варьировании показателя запасов влаги в 20-сантиметровом слое почвы не замечено и таких резких изменений в содержании доступных фосфатов, которые наблюдались в другие годы исследования. Можно предположить, что график динамики доступных форм фосфора в этом году в наибольшей степени отражает изменения, связанные с поглощением элемента растениями яровой пшеницы, косвенным подтверждением чего может быть наименее сильная, среди годов исследования, связь показателя с влагообеспеченностью ($R^2 0,70$).

Перед посевом обеспеченность доступным (67 мг/кг), как и подвижным (573 мг/кг) фосфором поля 3, где в 2020 г. возделывалась пшеница, была значительно ниже, чем двух других полей в данный период. В период от посева до 1-го узла влагозапасы в слое 0–20 см почвы хоть и повысились с 8,6 до 15,9 мм, но были ниже удовлетворительного уровня (менее 20 мм) [13] и вместе с холодными условиями не способствовали повышению содержания доступных фосфатов. В период от флаг-листа и до уборки запасы продуктивной влаги в 20-сантиметровом слое почвы оценивались как удовлетворительные (20–

40 мм). Так, в период 1-й узел – флаг-лист обильные осадки, способствовавшие повышению запасов влаги в почве в 2,5 раза до 40,1 мм, привели к существенному повышению содержания доступных фосфатов на 19 мг/кг почвы. Значительное изменение условий увлажнения к колошению (снижение запасов влаги на 12,8 мм, или 32 %) привело к уменьшению количества доступных фосфатов на 17 мг/кг, или 20 %. Значение коэффициента детерминации для исследуемых величин в 2020 г. составило 0,84.

Важным фактором, влияющим на фосфатное состояние почвы является внесение соответствующих удобрений. Вероятно, в силу того, что фосфорные удобрения в опыте применяли в небольшой дозе (P_{30}) существенных различий в содержании доступных фосфатов по вариантам во все анализируемые фазы роста и развития растений яровой пшеницы не прослеживалось (табл. 2).

Таблица 2

**Динамика содержания доступных соединений фосфора в почве
в зависимости от систем удобрения, среднее за 2018–2020 гг., мг/кг**

Вариант	Перед посевом	1-й узел	Флаг-лист	Колошение	Молочная спелость	Полная спелость
Без удобрений	92	68	88	70	67	67
$P_{30}K_{90}$	88	70	88	73	67	65
$N_{90-120}P_{30}K_{90}$	97	72	83	77	73	70
HCP_{05}	$F_{\phi} < F_{05}$					

Также не было выявлено, часто отмечаемого [4, 11], действия физиологически кислых азотных удобрений на мобилизацию почвенных запасов фосфора.

Наблюдения за минеральным питанием растений свидетельствуют о том, что в условиях когда доставка ионов растению не лимитирована, скорость их поглощения строго регулируется потребностями растения [14]. В представленном опыте, судя по содержанию подвижных фосфатов (573–708 мг/кг), концентрации фосфора в почвенном растворе очень высокая. Отсутствие существенной корреляционной зависимости между содержанием доступных фосфатов в почве и фосфора в растениях также может свидетельствовать о том, что почвенные запасы элемента не лимитируют его поступление в растения. Поэтому, можно предположить, что изменения в содержании фосфора в растениях обусловлены, в первую очередь, метеорологическими условиями, влияющими на способность растений к поглощению.

Фосфор в растениях содержится в минеральных и органических веществах. Поступивший в растения минеральный фосфор очень быстро переходит в состав органических соединений. В целом, 85–95 % фосфора в растениях находится в органической форме. Минеральных фосфатов – фосфатов кальция, калия, магния и аммония – значительно меньше (5–15 %), но они имеют большое значение, являясь запасной и транспортной формами фосфора [15].

В то время как содержание фосфора в зерне (семенах) довольно стабильно и мало зависит от дозы фосфорных удобрений и уровня содержания фосфатов в почве, химический состав растущего, развивающегося растения может значительно изменяться в зависимости от внешних условий [16, 17].

По данным [18] оптимальное содержание общего (валового) фосфора в растениях яровой пшеницы от фазы кущения до цветения находится в пределах 0,34–0,49 %. В представленном опыте концентрация общего фосфора за три года исследований от 1-го узла до молочной спелости составила 0,50–0,99 % (рис. 3), что согласуется с данными [11], свидетельствующими об усилении поступления фосфора в растения при увеличении содержания доступных форм элемента в почве.

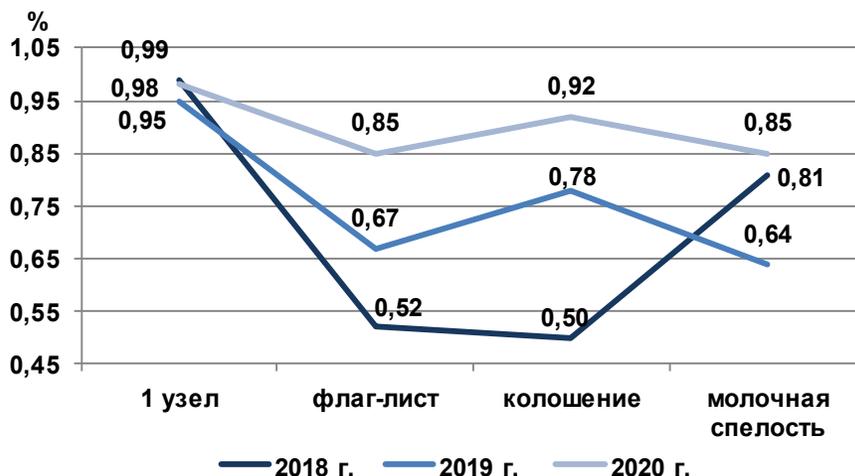


Рис. 3. Динамика содержания общего фосфора в растениях (в среднем по опыту) по основным фазам развития яровой пшеницы, % на сухое вещество

Количество минерального фосфора в растениях яровой пшеницы в годы проведения исследований изменялось в пределах от 0,06 до 0,28 %, и составляло 9–56 % от общего фосфора (рис. 4).

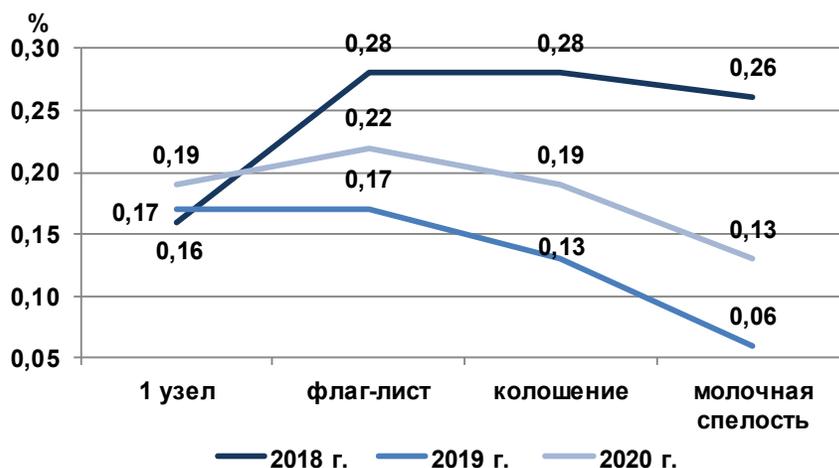


Рис. 4. Динамика содержания минерального фосфора в растениях (в среднем по опыту) по основным фазам развития яровой пшеницы, % на сухое вещество

Критический период по отношению к фосфору у всех культур отмечается в фазу всходов, особенно чувствительны к недостатку фосфора растения в первые 10–15 дней. Недостаток данного элемента в этот период резко снижает урожайность, независимо от дальнейшей обеспеченности растений [15].

Концентрация общего фосфора в растениях в фазе 1-го узла в опыте на уровне 0,95–0,98 % свидетельствует о высокой обеспеченности растений этим элементом. Даже низкие средние температуры воздуха в период от посева до 1-го узла (8,2 °C), наблюдавшиеся в 2020 г., не оказали заметного влияния на данный показатель, хотя, общеизвестно, что поступление фосфора в растения при температуре ниже 10 °C значительно замедляется. Возможно, это можно объяснить тем, что с повышением концентрации раствора поглощение элементов питания растениями в меньшей степени зависит от температуры [11].

Содержание минерального фосфора в начальный период вегетации составляло 0,16–0,19 %.

Общей закономерностью в относительном содержании фосфора в растениях является постепенное его снижение с возрастом, поскольку накопление массы органических веществ идет более быстрыми темпами, чем поглощение фосфора [19].

В проведенном опыте при снижении количества общего фосфора к молочной спелости на 0,14–0,33 % по отношению к содержанию в фазе первого узла, отмечаются значительные колебания по фазам развития.

Содержание минерального фосфора в растениях в 2019 и 2020 гг. также снижалось к молочной спелости, в то время как в 2018 г., характеризовавшемся экстремальными погодными условиями ход изменений был не совсем типичным.

Несомненно то, что значительные колебания содержания фосфора по годам и фенологическим фазам обусловлены условиями произрастания. Если содержание доступных соединений фосфора в почве в большей степени коррелирует с запасами продуктивной влаги в 20-сантиметровом слое почвы, с которого осуществлялся отбор почвенных проб, то содержание фосфора в растениях значительно сильнее коррелирует с содержанием влаги в 50 см слое почвы (рис. 5). Вероятно, в силу того, что растения усваивают элементы питания не только с 20-сантиметровой толщи.

Согласно трехлетним данным содержание общего фосфора в растениях на протяжении вегетации имеет тесную криволинейную связь с запасами влаги в слое 0–50 см почвы – R^2 0,72, содержание минерального фосфора также имело достоверную, но менее сильную связь с этим показателем – R^2 0,37.

Ухудшение условий влагообеспеченности приводило, как правило, к снижению содержания фосфора в растениях. Так в 2018 г. в экстремально засушливых условиях, наблюдавшихся в фазы флаг-листа и колошения, когда запасы влаги не превышали 15 мм, установлено существенное снижение количества фосфора в растениях до 0,50–0,52 %, что в 1,6–1,8 раза ниже, чем в 2020 г., когда условия были наиболее близкими к оптимальным. В 2019 г. снижение запасов влаги не достигало таких критических отметок, как в 2018 г. и соответственно изменения в содержании фосфора в растениях были в менее широком диапазоне, но при этом повторяли график динамики влагообеспеченности почвы.

В 2020 г., когда запасы влаги в 50-сантиметровом слое почвы в анализируемые фенологические фазы не опускались ниже 80 мм, содержание фосфора в растениях пшеницы (0,85–0,99 %) было наиболее высоким по сравнению с други-

ми годами исследования. В то же время обращает на себя внимание снижение содержания общего фосфора в фазу флаг-листа до 0,85 %, или на 0,14 % по сравнению с предыдущей фазой, обусловленное, по-видимому, переувлажнением почвы – запасы влаги составляли в данный период 123,4 мм. В фазе молочной спелости, когда уровень увлажнения вновь повысился (запасы влаги составили 107 мм) также наблюдалось снижение количества фосфора в растениях, но в данном случае это может быть обусловлено как повышенной влажностью, так и естественными процессами, вызванными старением растений.



1 – 1-й узел, 2 – флаг-лист, 3 – колошение, 4 – молочная спелость

Рис. 5. Динамика содержания минерального и общего фосфора в растениях (в среднем по опыту) и запасов влаги в слое 0–50 см почвы по основным фазам развития яровой пшеницы

Динамика содержания минерального фосфора отличалась от характерной для его валовых форм. Можно отметить выраженное повышение содержания минеральных соединений фосфора в растениях в неблагоприятных условиях, когда количество общего фосфора снижалось. Так наибольшее содержание данной формы элемента отмечалось в 2018 г. в фазы флаг-лист – колошение – 0,28 %, что составляло 54–56 % от общего фосфора. В 2019 и 2020 гг. график динамики показателя был более плавным с некоторым повышением величины в фазу флаг-листа, когда условия были наименее благоприятными. Повышение содержания минерального фосфора в аномально засушливых условиях может быть связано с тем, что в растениях приостанавливаются процессы синтеза и усиливается распад сложных органических соединений, нарушаются процессы фосфорилирования [20].

Таким образом, высокое содержание минеральных форм фосфора может говорить о высокой обеспеченности растений данным элементом только при условии, что растения развиваются в благоприятных погодных условиях, в противном случае это может свидетельствовать о торможении ростовых процессов и синтеза органического вещества.

Если применение удобрений не оказало существенного влияния на запасы фосфора в почве, то в отношении содержания в растениях обнаружено существенное влияние азотных удобрений на данный показатель. Согласно данным [21], при достаточной обеспеченности почвы фосфором, повышенные дозы азотных удобрений способствуют лучшему поступлению элемента в растения.

Внесение 90–120 кг/га д. в азота в среднем за три года способствовало увеличению содержания общего фосфора в фазу 1-го узла на 0,08 % по сравнению с вариантом, где вносили только фосфорные и калийные удобрения, также достоверное превышение количества фосфора в данном варианте установлено и в фазе молочной спелости (табл. 3). В фазы флаг-листа и колошения, когда в отдельные годы наблюдались неблагоприятные условия действие азотных удобрений сглаживалось.

Таблица 3

Влияние систем удобрения на содержание фосфора (% на сухое вещество) в растениях яровой пшеницы, среднее за три года

Вариант	Минеральный фосфор				Общий фосфор			
	1-й узел	флаг-лист	колошение	молочная спелость	1-й узел	флаг-лист	колошение	молочная спелость
Без удобрений	0,16	0,20	0,19	0,15	0,92	0,67	0,68	0,72
P ₃₀ K ₉₀	0,17	0,24	0,19	0,15	0,96	0,68	0,73	0,75
N ₉₀₋₁₂₀ P ₃₀ K ₉₀	0,18	0,24	0,21	0,15	1,04	0,69	0,80	0,83
HCP ₀₅	F _ф <F ₀₅	0,02	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	0,07	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	0,05

Для минерального фосфора отмечено существенное влияние удобрений (P₃₀K₉₀ и N₉₀₋₁₂₀P₃₀K₉₀) на эту величину только в фазу флаг-листа, когда условия увлажнения во все годы исследования отклонялись от нормы.

Основным критерием оценки фосфорного питания является конечная продуктивность яровой пшеницы.

Необходимо отметить, что корреляционной связи между диагностированными в опыте запасами доступного фосфора в почве и урожайностью пшеницы не установлено. Так, например, в 2020 г. (поле 3) в начальный период роста, когда растения предъявляют наибольшие требования к фосфорному питанию, содержание доступных фосфатов в среднем по опыту составляло 67 мг/кг почвы, что практически в 2 раза ниже, чем в другие годы исследования, но в итоге в этом году была получена самая высокая урожайность зерна – 55,4–60,5 ц/га (табл. 4).

Таблица 4

Урожайность зерна яровой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой высокообеспеченной фосфатами почве

Вариант	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Среднее
Без удобрений	33,8	43,3	55,4	44,2
P ₃₀ K ₉₀	36,0	43,7	58,1	45,9
N ₉₀₋₁₂₀ P ₃₀ K ₉₀	44,5	58,0	60,5	54,3
HCP ₀₅	5,2	9,3	F _ф <F ₀₅	3,6

Не отмечено также достоверного влияния фосфорных удобрений (при совместном внесении с калийными) на рост продуктивности посевов яровой пшеницы.

Таким образом, урожайность культуры в значительной степени определялась азотными удобрениями и гидротермическими условиями. Коэффициент вариации урожайности по годам составил от 15,8 % в варианте $N_{90-120}P_{30}K_{90}$ до 24,5 % в варианте без удобрений. Изменения данного показателя в зависимости от системы удобрения в 2020 г. составили 4,4 %, в 2019 г. – 17,3 %.

Между содержанием общего фосфора в растениях в фазы флаг-лист, колошение и урожайностью установлена тесная криволинейная связь (R^2 0,70 и 0,87 соответственно). Но необходимо отметить, что как содержание фосфора в растениях, так в конечном итоге и продуктивность обусловлены одним и тем же фактором – уровнем влагообеспеченности.

ВЫВОДЫ

Изучение динамики доступных (определяемых в 0,2 М уксуснокислой вытяжке) фосфатов в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высокими запасами данного элемента показало, что содержание отмеченных соединений фосфора в течение вегетации яровой пшеницы в пределах 60–106 мг/кг почвы не является лимитирующим фактором для формирования урожая культуры на уровне 55–60 ц/га.

Содержание валового фосфора в вегетирующих растениях яровой пшеницы (1-й узел – молочная спелость) 0,50–0,99 % свидетельствует о способности данной почвы удовлетворять растения в элементе на высоком уровне.

Основным фактором, определяющим доступность почвенных фосфатов, накопление фосфора в растениях и продуктивность зерна, являлась влагообеспеченность. Наиболее тесная криволинейная корреляционная связь (R^2 0,36) содержания доступных фосфатов в почве обнаружена с запасами продуктивной влаги в 0–20 см слое почвы, концентрация общего и минерального фосфора в растениях имела достоверную криволинейную зависимость с запасами влаги в слое 0–50 см почвы – R^2 0,72 и 0,37 соответственно.

Внесение минеральных удобрений ($P_{30}K_{90}$ и $N_{90-120}P_{30}K_{90}$) не оказывало влияния на изменение содержания доступных форм фосфора в почве. Концентрация общего фосфора в растениях существенно повышалась при применении 90–120 кг/га д. в. азота в благоприятных условиях произрастания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коледа, К. В.* Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур: рекомендации / К. В. Коледа [и др.]; под общ. ред. К. В. Коледы, А. А. Дудука. – Гродно: ГГАУ, 2010. – 340 с.

2. *Барашенко, В. В.* Параметры фосфорного и калийного режима почв, обеспечивающие высокую продуктивность угодий и экологическую безопасность / В. В. Барашенко, Н. Н. Лутович, Г.И. Каленик // Резервы повышения плодородия почв и эффективности удобрений: материалы Междунар. научно-практ. конф., Горки, 10–11 апреля 1996 г. / БСХА; редкол.: А. Р. Цыганов [и др.]. – Горки, 1996. – С. 24–26.

3. *Лутович, Н. Н.* Влияние обеспеченности почвы подвижным фосфором на урожайность картофеля и эффективность применения фосфорных удобрений /

Н. Н. Лутович // Современные проблемы использования почвенных ресурсов и повышения их производительной способности : Междунар. научно-практ. конф., Горки, 11–15 ноября 1997 г. / БСХА; редкол.: Н. И. Смеян [и др.]. – Горки, 1997. – С. 166–167.

4. *Иванов, И. А.* Применение удобрений на дерново-подзолистых почвах с высокими запасами фосфора и калия / И. А. Иванов, А. И. Иванов, Н. И. Семенова. – Агрохимия. – 1996. – № 4. – С. 9–14.

5. *Сычев, В. Г.* Влияние содержания подвижного фосфора на урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность фосфорных удобрений / В. Г. Сычев, С. А. Шафран // Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений / В. Г. Сычев, С. А. Шафран. – М.: ВНИИА, 2013. – С.76–83.

6. Действие удобрений в зернопропашном севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высокими запасами фосфора и калия при различных погодных условиях / О. Г. Кулеш [и др.] // – Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 109–118.

7. *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.

8. Методы определения содержания доступных растениям соединений азота, фосфора и калия в дерново-подзолистых почвах / Н. Н. Семененко, [и др.] – Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2019. – 16 с.

9. Методы оперативной диагностики минерального питания зерновых культур / Н. Н. Семененко [и др.] – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2019. – 16 с.

10. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд. доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

11. *Панников, В. Д.* Почва, климат, удобрение и урожай / В. Д. Панников, В. Г. Минеев. – М.: Колос, 1977. – 416 с.

12. Высушивание и промораживание почвы как фактор повышения естественного плодородия [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://studref.com/319370/agropromyshlennost/vysushivanie_promorazhivanie_pochvy_faktor_povysheniya_estestvennogo_plodorodiya. – Дата доступа: 01.03.2022.

13. Почвенно-гидрологические константы. Расчет запасов влаги. Оценка запасов влаги. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/6726476/> – Дата доступа: 22.02.2022.

14. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н. Н. Третьяков [и др.]; под ред. Н. Н. Третьякова. – М.: Колос, 1998. – 640 с.

15. Влияние фосфора на жизнь растений [Электронный ресурс] // Агральянс. – Режим доступа: <http://агро-альянс36.рф/stati/item/153-vliyanie-fosfora-na-zhizn-rastenij.html>. – Дата доступа: 15.02.2022.

16. *Болдырев, Н. К.* Использование нормативных показателей в методе листовой диагностики для расчета норм удобрений на запланированный урожай пшеницы / Н. К. Болдырев // Агрохимия. – 1982. – № 2. – С. 105–113.

17. *Сычев, В. Г.* Диагностика минерального питания полевых культур и определение потребности в удобрениях / В. Г. Сычев, С. А. Шафран, Т. М. Духанина. – М.: ВНИИА, 2017. – 220 с.

18. *Церлинг, В. В.* Методические указания по растительной диагностике зерновых культур / В. В. Церлинг, М. А. Горшкова, В. П. Толстоусов. – М.: Колос, 1980. – 30 с.

19. Фосфор в растениях [Электронный ресурс] // Справочник химика 21. – Режим доступа: <https://www.chem21.info/info/711343/> – Дата доступа: 01.03.2022.

20. Влияние на растения недостатка воды [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://studopedia.ru/15_127090_vliyanie-na-rasteniya-nedostatka-vodi.html – Дата доступа: 01.03.2022.

21. *Церлинг, В. В.* Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В. В. Церлинг. – М.: Наука, 1978. – 216 с.

PHOSPHORUS NUTRITION OF SPRING WHEAT ON SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY HIGH PHOSPHATE SOILS

O. G. Kulesh, E. G. Mezentseva, O. V. Simankov

Summary

The results of study of phosphorus nutrition of spring wheat on highly phosphate-supplied soil are presented. The high ability of the soil to satisfy the plants' need for phosphorus has been established. The main factor determining the availability of soil phosphates, phosphorus accumulation in plants and grain productivity was moisture supply. The strongest curvilinear correlation (R^2 0,36) between available phosphate content in soil and water content in soil 0–20 cm layer was observed. Concentration of total and mineral phosphorus in plants had reliable curvilinear relation with water content in soil 0–50 cm layer – R^2 0,72 and 0,37 respectively.

Поступила 23.03.2022

УДК 631.8:633.11:631.445

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-85-94](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-85-94)

АГРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ВЫСОКОКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, Т. М. Кирдун, Т. В. Мачок, О. М. Бирюкова,
Ю. А. Белявская, М. М. Торчило, Н. Ю. Жабровская

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

ВВЕДЕНИЕ

Озимая пшеница занимает в Республике Беларусь ведущее место среди возделываемых зерновых продовольственных культур и по сравнению с яровой пшеницей гарантирует более высокие и стабильные урожаи. Климатические и почвенные ресурсы, а также сорта озимой пшеницы позволяют возделывать ее во всех областях республики. В структуре озимых зерновых культур пшеница занимает 40 % посевных площадей [1]. Одним из путей получения стабильно

высоких урожаев этой культуры является дальнейшее совершенствование технологии возделывания, которая должна быть направлена как на формирование высокопродуктивных посевов, устойчивых к стрессовым погодным явлениям, так и на обеспечение экологической безопасности окружающей среды. Урожайность, как основной результирующий показатель, характеризует эффективность агроприемов возделывания сельскохозяйственных культур. Внесение минеральных удобрений служит одним из важнейших факторов, определяющих уровень продуктивности озимой пшеницы. Среди озимых зерновых колосовых культур пшеница самая требовательная к условиям питания. Недостаток содержания в почве элементов минерального питания можно компенсировать научно обоснованным применением минеральных удобрений, что позволяет обеспечить получение не только запланированного уровня урожайности, но и повышение качества зерна озимой пшеницы [2–5].

Цель исследований – изучение эффективности разных систем удобрения озимой пшеницы на высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Стационарный технологический опыт заложен на опытном поле Института почвоведения и агрохимии, расположенном в ОАО «Гастелловское» Минского района на высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве. Исследования с озимой пшеницей проведены в двух последовательно открывающихся полях, на каждом поле – в двух блоках: в 1-м блоке в качестве основной обработки почвы применяли вспашку на глубину 20 см, во 2-м блоке – дискование в один след на глубину 10–12 см. Первое поле открыто в 2019 г., второе – в 2020 г. Повторность вариантов четырехкратная, общий размер делянки – 31,2 м², учетная площадь – 24,0 м².

Предшественник озимой пшеницы – озимый рапс. Урожайность соломы 4,5 т/га с содержанием (на сухое вещество) N – 0,80 %, P₂O₅ – 0,22 %, K₂O – 1,89 %.

После уборки солому измельчали и равномерно распределяли по делянкам, затем, согласно схеме опыта, вносили удобрение микробиологическое Жыцень или компенсирующую дозу азота в виде КАС и задисковывали. Через две недели в 1-м блоке проводили вспашку, во 2-м – дискование в один след.

Удобрение микробиологическое Жыцень – целлюлозоразлагающее удобрение с содержанием *Pseudomonas* sp. – 11 – не менее $1 \cdot 10^9$ КОЕ/см³; *Bacillus* sp. – 49, не менее $1 \cdot 10^9$ КОЕ/см³.

Применяемый в опыте подстилочный навоз (соломистый) имел следующие показатели (в расчете на естественную влажность): 1-е поле – N – 0,74 %, P₂O₅ – 0,39 %, K₂O – 0,81 %, влажность – 72 %; 2-е поле – N – 0,60 %, P₂O₅ – 0,34 %, K₂O – 0,75 %, влажность – 73 %.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почвы: 1-е поле – рН_{KCl} 6,34, гумус – 2,54 %, содержание подвижных форм фосфора (P₂O₅) – 563 мг/кг, калия (K₂O) – 315 мг/кг, обменных форм кальция (CaO) – 1648 мг/кг, магния (MgO) – 283 мг/кг; 2-е поле – рН_{KCl} 6,83, гумус – 2,24 %, содержание подвижных форм фосфора (P₂O₅) – 444 мг/кг, калия (K₂O) – 282 мг/кг, обменных форм кальция (CaO) – 2433 мг/кг, магния (MgO) – 343 мг/кг.

Химический анализ органических удобрений выполнен в соответствии с Государственными отраслевыми стандартами: органический углерод (ГОСТ 27980-88), общий азот (ГОСТ 26715-85), фосфор (ГОСТ 26717-85), калий (ГОСТ 26718-85), кальций (ГОСТ 26570-95), магний (ГОСТ 30502-97).

В зерне и соломе озимой пшеницы определяли следующие показатели: влага и сухой остаток – ГОСТ 13586.5-93 (зерно), ГОСТ 13496.3-92 (солома); общий азот – ГОСТ 13496.4-93; общий фосфор – ГОСТ 26657-97; общий калий – ГОСТ 230504-97. Белок и клейковину в зерне определяли на спектрофотометре «Инфронео».

Фосфорные и калийные удобрения в виде аммонизированного суперфосфата и хлористого калия внесены под основную обработку почвы, азотные – в три подкормки: 90 кг/га – в начале ранневесенней вегетации в виде КАС, 40 кг/га – в фазу первый узел и 50 кг/га – в фазу флаг лист в виде карбамида; в варианте с внесением 40 т/га подстилочного навоза КРС (ПН КРС) дозы внесения в первую подкормку были на 40 кг/га ниже; при внесении 30 т/га ПН КРС – дозу первой подкормки снижали на 30 кг/га.

Расчет экономической эффективности применения удобрений проведен по методике [6]. Для определения прибыли рассчитывали стоимость урожая с учетом повышения качества зерна, полученного за счет внесения удобрений, и затраты на получение прибавки урожая от удобрений. Используются нормативы затрат на удобрения и их внесение, доработку прибавки урожая, цены на сельскохозяйственную продукцию в Республике Беларусь на 2021 г. [7] в долларовом эквиваленте (USD).

Статистическую обработку результатов осуществляли согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова с использованием MS Excel 2010.

В первом поле озимая пшеница посеяна 23 сентября 2019 г. с нормой высева 225 кг/га (5,7 млн семян). Полевая всхожесть составила 86 % (4,9 млн). Теплая бесснежная зима способствовала практически 100 % перезимовке растений. При этом основной период формирования и налива зерна был в целом благоприятным для озимой пшеницы, что обеспечило высокую урожайность зерна в 2020 г.

Во втором поле озимая пшеница посеяна 16 сентября 2020 г. с нормой высева 229 кг/га (5,0 млн семян), полевая всхожесть составила 96 % (4,8 млн). Выпадение снега на слабозамерзшую почву (среднесуточная температура в декабре – –1,2 °С, обильные осадки в виде снега в январе – 109 мм (в 2,3 раза выше нормы) и длительное сохранение снежного покрова (до середины марта) способствовали сильному развитию снежной плесени на озимой пшенице. В результате после зимы осталось 2,3 млн растений пшеницы, т. е. перезимовка составила 48 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метеорологические условия в годы исследований складывались не одинаково. Это позволило более объективно оценить влияние изучаемых факторов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы. Данные по урожайности зерна за два года исследований приведены в таблице 1. Уровень урожайности зависел от особенностей погодных условий вегетационного периода. Меньшая урожайность зерна как в контроле, так и в удобренных вариантах была в 2021 г.

**Влияние различных систем удобрения и обработки почвы
на урожайность озимой пшеницы**

Вариант	Урожайность зерна, ц/га			Прибавка, ц/га	
	2020 г.	2021 г.	среднее	к кон- тролю	к вспаш- ке
Вспашка					
Без удобрений (контроль 1)	63,8	54,3	59,1	–	–
P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	90,7	59,4	75,1	16,0	–
Адоб Профит 4–12–38, 4 кг/га + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	90,0	62,1	76,1	17,0	–
ПН КРС, 40 т/га + N ₅₀₊₄₀₊₅₀	89,8	61,0	75,4	16,3	–
Солома + ПН КРС, 30 т/га + P ₁₀ + N ₆₀₊₄₀₊₅₀	93,7	63,7	78,7	19,6	–
Солома + P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	93,4	62,2	77,8	18,7	–
Солома + P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀₊₁₀	92,2	64,5	78,4	19,3	–
Солома + Жыцень, 3 л/га + P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	93,1	61,4	77,3	18,2	–
Солома + N _{25(КАС)} + P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	93,2	63,5	78,4	19,3	–
Солома + N _{25(КАС)} + P ₃₀ K ₆₀ + N _{90до opt +40+50}	93,9	60,8	77,4	18,3	–
Солома + N _{25(КАС)} + P ₃₀ K ₆₀ (по вспашке) + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	93,9	64,8	79,4	20,3	–
Солома + N _{25(КАС)} + P ₂₅ K ₁₅ * + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	95,8	63,0	79,4	20,3	–
Дискование					
Без удобрений (контроль 2)	64,0	54,6	59,3	–	0,2
P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	91,0	71,0	81,0	21,7	5,9
ПН КРС, 40 т/га + N ₅₀₊₄₀₊₅₀	91,2	70,9	81,1	21,8	5,7
Солома + P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	93,0	67,5	81,9	22,6	4,1
Солома + ПН КРС, 30 т/га + P ₁₀ + N ₆₀₊₄₀₊₅₀	93,2	70,7	80,4	21,1	1,7
Солома + Жыцень, 3 л/га + P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	95,4	73,7	84,6	25,3	7,3
Солома + N _{25(КАС)} + P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	94,0	68,4	81,2	21,9	2,8
НСР ₀₅ (удобрения)	4,8	5,2	5,0	5,0	
НСР ₀₅ (обработка почвы)	2,6	2,8	2,7	2,7	

* Дозы фосфора и калия скорректированы с учетом поступления данных элементов с соломой предшественника.

За счет эффективного плодородия высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почвы в 2020 г. в блоке вспашки получено 63,8 ц/га зерна, в блоке дискования – 64,0 ц/га, в удобренных вариантах – 89,8–95,8 ц/га и 91,0–95,4 ц/га соответственно. В 2021 г. в варианте без удобрений независимо от способа основной обработки почвы урожайность была ниже на 15 % и составила 54,3 ц/га и 54,6 ц/га; внесение удобрений обеспечило рост урожайности до 59,4–64,8 ц/га по вспашке и до 67,5–73,7 ц/га по дискованию (табл. 1). Что касается качества зерна, то содержание белка и, особенно, клейковины более высоким было в 2021 г. Так в блоке вспашки в 2020 г. содержание белка в зерне озимой пшеницы в контроле составило 9,43 %, в удобренных вариантах – 12,19–12,92 %, клейковины – 17,49 % и 23,04–26,57 % соответственно, в то время как в 2021 г. содержание белка в неудобренном варианте было на уровне 9,59 %, где вносили удобрения – 12,61–13,55 %; клейковины – 17,58 % и 28,68–32,10 % соответственно. В блоке дискования в аналогичных вариантах содержание белка и клейковины существенно не отличалось от данных показателей в блоке вспашки (табл. 2, 3).

В среднем за 2 года в блоке вспашки урожайность зерна озимой пшеницы составила 59,1 ц/га зерна с содержанием сырого белка 9,51 %, клейковины – 17,54 %, однако зерно пшеницы с такими показателями качества пригодно для использования только на фураж (табл. 2, 3). В удобренных вариантах по вспашке урожайность увеличилась в среднем на 30 % при увеличении содержания сырого белка до 12,41–13,09 %, клейковины – до 26,39–28,73 %, т.е. зерно по содержанию клейковины соответствует требованиям, предъявляемым ко 2–3 классу продовольственного зерна. В результате повышения урожайности и качества зерна условный чистый доход за счет применения удобрений в блоке вспашки составил 426–507 USD/га (табл. 4). В среднем за 2 года изучаемые системы удобрения по влиянию на урожайность, содержание белка и клейковины были равноценными, так как разница в данных показателях не превышала НСР₀₅. Установлено, что заделка соломы без компенсирующей дозы азота, как при традиционной, так и при поверхностной обработке почвы не оказала негативного влияния на равномерность всходов и развитие растений озимой пшеницы. Что касается экономической эффективности, то наиболее рентабельным было применение Адоб Профит 4–12–38, 4 кг/га + N₉₀₊₄₀₊₅₀ – 277 %, наибольший чистый доход обеспечило внесение Солома + N_{25(КАС)} + N₉₀₊₄₀₊₅₀ P₂₅*K₁₅* (дозы фосфора и калия скорректированы с учетом поступления данных элементов с соломой предшественника) – 507 USD/га.

Таблица 2

Влияние различных систем удобрения и обработки почвы на содержание сырого белка в зерне озимой пшеницы

Вариант	Содержание сырого белка, %			
	2020 г.	2021 г.	среднее	прибавка
Вспашка				
Без удобрений (контроль 1)	9,43	9,59	9,51	–
P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	12,76	12,61	12,69	3,18
Адоб Профит 4–12–38, 4 кг/га + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	12,20	13,19	12,70	3,19
ПН КРС, 40 т/га + N ₅₀₊₄₀₊₅₀	12,81	13,17	12,99	3,48
Солома + ПН КРС, 30 т/га + P ₁₀ + N ₆₀₊₄₀₊₅₀	12,29	13,41	12,85	3,34
Солома + P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	12,63	12,93	12,78	3,27
Солома + P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀₊₁₀	12,28	13,05	12,67	3,16
Солома + Жыцень, 3 л/га + P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	12,19	13,16	12,68	3,17
Солома + N _{25(КАС)} + P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	12,43	13,55	12,99	3,48
Солома + N _{25(КАС)} + P ₃₀ K ₆₀ + N _{90до опт +40+50}	12,92	13,25	13,09	3,58
Солома + N _{25(КАС)} + P ₃₀ K ₆₀ (по вспашке) + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	12,20	12,62	12,41	2,90
Солома + N _{25(КАС)} + P ₂₅ *K ₁₅ * + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	12,21	13,13	12,67	3,16
Дискование				
Без удобрений (контроль 2)	9,42	9,38	9,40	–
P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	12,72	12,93	12,83	3,43
ПН КРС, 40 т/га + N ₅₀₊₄₀₊₅₀	12,80	13,14	12,97	3,57
Солома + P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	12,59	12,86	12,73	3,33
Солома + ПН КРС, 30 т/га + P ₁₀ + N ₆₀₊₄₀₊₅₀	12,62	12,73	12,68	3,28
Солома + Жыцень, 3 л/га + P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	12,39	12,91	12,65	3,25
Солома + N _{25(КАС)} + P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	12,49	12,94	12,72	3,32
НСР ₀₅ (удобрения)	0,63	0,75	0,69	–
НСР ₀₅ (обработка почвы)	0,38	0,40	0,39	–

**Влияние различных систем удобрения и обработки почвы на содержание
клейковины в зерне озимой пшеницы**

Вариант	Содержание клейковины, %			
	2020 г.	2021 г.	среднее	прибавка
Вспашка				
Без удобрений (контроль 1)	17,49	17,58	17,54	–
$P_{30}K_{60} + N_{90+40+50}$	26,57	28,68	27,63	10,09
Адоб Профит 4–12–38, 4 кг/га + $N_{90+40+50}$	24,16	30,66	27,41	9,87
ПН КРС, 40 т/га + $N_{50+40+50}$	26,31	30,82	28,57	11,03
Солома + ПН КРС, 30 т/га + $P_{10} + N_{60+40+50}$	24,28	32,10	28,19	10,65
Солома + $P_{30}K_{60} + N_{90+40+50}$	25,30	30,39	27,85	10,31
Солома + $P_{30}K_{60} + N_{90+40+50+10}$	24,88	30,68	27,78	10,24
Солома + Жыцень, 3 л/га + $P_{30}K_{60} + N_{90+40+50}$	24,07	29,78	26,93	9,39
Солома + $N_{25(КАС)} + P_{30}K_{60} + N_{90+40+50}$	24,35	30,59	27,47	9,93
Солома + $N_{25(КАС)} + P_{30}K_{60} + N_{90до\ opt\ +40+50}$	25,45	32,00	28,73	11,19
Солома + $N_{25(КАС)} + P_{30}K_{60}$ (по вспашке) + $N_{90+40+50}$	23,48	29,29	26,39	8,85
Солома + $N_{25(КАС)} + P_{25}^*K_{15}^* + N_{90+40+50}$	23,04	31,34	27,19	9,65
Дискование				
Без удобрений (контроль 2)	17,54	17,62	17,58	–
$P_{30}K_{60} + N_{90+40+50}$	26,62	31,28	28,95	11,37
ПН КРС, 40 т/га + $N_{50+40+50}$	26,39	32,14	29,27	11,69
Солома + $P_{30}K_{60} + N_{90+40+50}$	25,48	31,37	28,43	10,85
Солома + ПН КРС, 30 т/га + $P_{10} + N_{60+40+50}$	25,62	30,56	28,09	10,51
Солома + Жыцень, 3 л/га + $P_{30}K_{60} + N_{90+40+50}$	24,49	31,15	27,82	10,24
Солома + $N_{25(КАС)} + P_{30}K_{60} + N_{90+40+50}$	25,02	31,01	28,02	10,44
НСР ₀₅ (удобрения)	2,21	2,51	2,36	
НСР ₀₅ (обработка почвы)	1,22	1,45	1,34	

В блоке дискования в среднем за 2 года за счет эффективного плодородия высококультурной дерново-подзолистой суглинистой почвы получено 59,3 ц/га зерна озимой пшеницы с содержанием белка 9,40 %, клейковины – 17,58 %, что существенно не отличалось от аналогичных показателей при вспашке. В удобренных вариантах в блоке дискования урожайность была выше по сравнению с аналогичными вариантами при вспашке на 1,7–7,3 ц/га. Максимальная урожайность 84,6 ц/га получена в блоке дискования в варианте с внесением по соломе микробиологического удобрения Жыцень в дозе 3 л/га и минеральных удобрений $P_{30}K_{60} + N_{90+40+50}$, что на 7,3 ц/га выше, чем при вспашке; данная система удобрения обеспечила наиболее экономически эффективной: условный чистый доход составил 589 USD/га, рентабельность – 266 % (табл. 4).

Для оценки систем применения удобрений на высококультурной дерново-подзолистой почве выполнен химический анализ образцов зерна и соломы озимой пшеницы, рассчитаны хозяйственный и удельный выносы элементов питания с урожаем и коэффициенты их возмещения по вариантам опыта. Хозяйственный вынос в удобренных вариантах изменялся в пределах: азота – 153–187 кг/га, фосфора – 65–83 кг/га, калия – 89–126 кг/га (табл. 5). В зависимости от системы удобрения удельный вынос азота изменялся от 19,9 до 24,1 кг/т, фосфора – от 8,6 до 10,2 кг/т, калия – от 11,7 до 16,3 кг/т.

Таблица 4

Влияние разных систем удобрения на показатели экономической эффективности при возделывании озимой пшеницы на высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве

Вариант	Стоимость урожая за счет применения удобрений, USD/га	Затраты на удобрения и доработку урожая, USD/га	Усл. чистый доход, USD/га	Рентабельность, %
Вспашка				
$N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$	633	186	447	241
Адоб Профит 4–12–38, 4 кг/га + $N_{90+40+50}$	653	173	480	277
ПН КРС, 40 т/га + $N_{50+40+50}$	641	215	426	199
Солома + ПН КРС, 30 т/га + $P_{10} + N_{60+40+50}$	700	216	484	224
Солома + $N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$	683	193	490	254
Солома + $P_{30}K_{60} + N_{90+40+50+10}$	695	197	498	253
Солома + Жыцень, 3 л/га + $N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$	672	203	469	231
Солома + $N_{25(КАС)} + N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$	694	210	484	230
Солома + $N_{25(КАС)} + N_{90до\text{opt}+40+50}P_{30}K_{60}$	673	208	466	224
Солома + $N_{25(КАС)} + N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$ (по вспашке)	713	213	500	235
Солома + $N_{25(КАС)} + N_{90+40+50}P_{25}K_{15}^*$	711	203	507	250
Дискование				
$P_{30}K_{60} + N_{90+40+50}$	746	200	546	273
ПН КРС, 40 т/га + $N_{50+40+50}$	747	228	519	227
Солома + ПН КРС, 30 т/га + $P_{10} + N_{60+40+50}$	762	224	538	240
Солома + $P_{30}K_{60} + N_{90+40+50}$	729	198	530	268
Солома + Жыцень, 3 л/га + $P_{30}K_{60} + N_{90+40+50}$	810	221	589	266
Солома + $N_{25(КАС)} + P_{30}K_{60} + N_{90+40+50}$	746	211	535	254

Установлено, что при возделывании озимой пшеницы на высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве при урожайности зерна 59,3–84,6 ц/га в зависимости от системы применения удобрений коэффициенты возмещения удобрениями выноса азота составили 1,0–2,3, фосфора – 0,4–2,0, калия – 0,6–3,0. По мнению Н. Н. Семененко с соавторами [8] для высокоплодородных дерново-подзолистых почв с очень высоким содержанием фосфора и калия оптимальными коэффициентами возмещения выноса являются: N – 1,1, P_2O_5 – 0,3 и K_2O – 0,4. В опыте органоминеральная система удобрения с внесением в качестве органических удобрений соломы обеспечила поддержание содержания подвижных форм калия на исходном уровне при снижении фосфора; в вариантах с подстилочным навозом КРС отмечены максимальные коэффициенты возврата элементов питания (табл. 5).

Влияние систем удобрения и обработки почвы на вынос и коэффициент возмещения элементов питания озимой пшеницей на высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве

Вариант	Вынос с урожаем, кг/га			Коэффициент возмещения		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вспашка						
Без удобрений (контроль 1)	108	55	62	–	–	–
N ₉₀₊₄₀₊₅₀ P ₃₀ K ₆₀	153	65	92	1,2	0,5	0,6
Адоб Профит 4–12–38, 4 кг/га + N ₉₀₊₄₀₊₅₀	161	68	89	1,1	–	–
ПН КРС, 40 т/га + N ₅₀₊₄₀₊₅₀	175	72	105	2,3	2,0	3,0
Солома + ПН КРС, 30 т/га + P ₁₀ + N ₆₀₊₄₀₊₅₀	177	72	106	2,1	1,8	2,9
Солома + N ₉₀₊₄₀₊₅₀ P ₃₀ K ₆₀	172	74	107	1,2	0,5	1,2
Солома + P ₃₀ K ₆₀ + N ₉₀₊₄₀₊₅₀₊₁₀	175	78	116	1,3	0,5	1,1
Солома + Жыцень, 3 л/га + N ₉₀₊₄₀₊₅₀ P ₃₀ K ₆₀	167	70	119	1,3	0,5	1,1
Солома + N _{25(КАС)} + N ₉₀₊₄₀₊₅₀ P ₃₀ K ₆₀	169	75	113	1,4	0,5	1,2
Солома + N _{25(КАС)} + N _{90до опт +40+50} P ₃₀ K ₆₀	187	76	126	1,3	0,5	1,0
Солома + N _{25(КАС)} + N ₉₀₊₄₀₊₅₀ P ₃₀ K ₆₀ (по вспашке)	181	75	106	1,3	0,5	1,2
Солома + N _{25(КАС)} + N ₉₀₊₄₀₊₅₀ P ₂₅ *K ₁₅ *	180	75	109	1,3	0,4	0,6
Дискование						
Без удобрений (контроль 2)	115	54	66	–	–	–
N ₉₀₊₄₀₊₅₀ P ₃₀ K ₆₀	179	73	95	1,0	0,4	0,6
ПН КРС, 40 т/га + N ₅₀₊₄₀₊₅₀	177	73	110	2,3	2,0	2,8
Солома + N ₉₀₊₄₀₊₅₀ P ₃₀ K ₆₀	159	75	97	1,3	0,5	1,4
Солома + ПН КРС, 30 т/га + N ₆₀₊₄₀₊₅₀ P ₁₀	173	83	113	2,1	1,5	2,7
Солома + Жыцень, 3 л/га + N ₉₀₊₄₀₊₅₀ P ₃₀ K ₆₀	176	80	104	1,2	0,5	1,3
Солома + N _{25(КАС)} + N ₉₀₊₄₀₊₅₀ P ₃₀ K ₆₀	173	73	100	1,4	0,5	1,3

ВЫВОДЫ

Уровень урожайности зерна озимой пшеницы на высококультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве зависел от применяемых систем удобрения и погодных условий вегетации. За счет эффективного плодородия почвы в среднем за 2 года по вспашке получено зерна 59,1 ц/га, по дискованию – 59,3 ц/га. Из-за плохой перезимовки в период вегетации озимой пшеницы 2020–2021 гг. урожайность зерна в удобренных вариантах в блоке вспашки была на 49 % ниже, в блоке дискования – на 32 % ниже, чем в 2019–2020 гг. В неудобренных вариантах разница в урожае по годам была значительно ниже и составила 15 %. Содержание сырого белка и клейковины в зерне более высоким было в 2021 г.

За счет применения удобрений в блоке с традиционной обработкой почвы урожайность зерна озимой пшеницы в среднем выросла на 31 % и существенно увеличилось содержание белка и клейковины, т. е. удобрения обеспечили наряду с ростом урожайности получение продовольственного зерна (на контроле – фуражное). В блоке с поверхностной обработкой почвы урожайность в среднем была на 4,6 ц/га выше по сравнению с аналогичными вариантами в блоке с традиционной обработкой почвы.

Наиболее оптимальной на высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве в блоке со вспашкой в качестве основной обработки почвы была система удобрения, включающая внесение $N_{90+40+50}P_{25}K_{15}$ на фоне соломы с компенсирующей дозой азота в виде КАС и дозами фосфора и калия рассчитанными с учетом данных элементов, поступивших в почву с соломой (Солома + $N_{25(КАС)} + N_{90+40+50}P_{25}K_{15}$), что в среднем за 2 года обеспечило формирование урожайности зерна озимой пшеницы 79,4 ц/га с содержанием сырого протеина 12,67 %, клейковины – 27,19 %, коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем: N – 1,3, P_2O_5 – 0,4, K_2O – 0,6, условный чистый доход – 507 USD/га, рентабельность – 250 %;

В блоке с дискованием в один след в качестве основной обработки почвы наиболее агроэкономически эффективной была система удобрения, включающая внесение $N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$ на фоне соломы, обработанной микробным препаратом Жыцень в дозе 3 л/га (Солома + Жыцень, 3 л/га + $N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$), которая в среднем за 2 года обеспечила формирование урожайности зерна озимой пшеницы 84,6 ц/га с содержанием сырого протеина 12,65 %, клейковины – 27,82 %, коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем: N – 1,2, P_2O_5 – 0,5, K_2O – 1,3, условный чистый доход при условии реализации зерна на продовольствие – 589 USD/га, рентабельность применения удобрений – 266 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистический ежегодник, 2020 / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. Медведева [и др.]. – Минск, 2020. – С. 222–228.
2. Агафонов, Е. В. Применение комплексных удобрений и азотной подкормки под озимую пшеницу / Е. В. Агафонов, А. А. Громаков, М. В. Максименко // Земледелие. – 2012. – № 7. – С. 16.
3. Ненайденко, Г. Н. Удобрение и повышение качества зерна пшеницы в Верхневолжье / Г. Н. Ненайденко // Земледелие, агрохимия и почвоведение. – 2018. – № 2 (84). – С. 20–27.
4. Матыс, И. В. Влияние доз и сроков внесения азотных удобрений на показатели качества зерна озимой пшеницы / И. В. Матыс, В. И. Кочурко // Известия ТСХА. – 2005. – Вып. 1. – С. 30–33.
5. Торигов, В. Е. Урожайность, качество зерна озимой пшеницы в зависимости от условий выращивания и норм внесения минеральных удобрений / В. Е. Торигов, И. И. Фокин // Проблемы агрохимии и экологии. – 2011. – № 2. – С. 50–54.
6. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений; под ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.
7. Об установлении фиксированных цен на сельскохозяйственную продукцию (растениеводства) урожая 2021 года,купаемую для государственных нужд [Электронный ресурс]. – 2021. – URL <https://mshp.gov.by/prices/postanovlenie17.pdf> (дата обращения 01.10.2021).
8. Семененко, Н. Н. Урожайность, вынос и коэффициенты возмещения выноса элементов питания в зависимости от погодных условий и применяемой системы удобрения под яровой ячмень / Н. Н. Семененко, О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 120–132.

AGROECONOMICAL EFFICIENCY OF WINTER WHEAT FERTILIZATION SYSTEMS ON HIGHLY CULTIVATED SOD-PODZOLIC LOAMY

T. M. Seraya, E. N. Bahatyrova, T. M. Kirdun, T. V. Machok, O. M. Biryukova, Y. A. Belyavskaya, M. M. Torchilo, N. Yu. Zhabrovskaya

Summary

In the field technological experience on highly cultivated sod-podzolic loamy soil, the agroecological efficiency of different fertilization systems of winter wheat, depending on the method of basic tillage, was studied. It was found that the sealing of straw without a compensating dose of nitrogen, both with traditional and surface tillage, did not have a negative effect on the uniformity of seedlings and the development of winter wheat plants. Due to the use of fertilizers in a block with traditional tillage, the yield of winter wheat grain increased by 31 % on average and the protein and gluten content significantly increased, i. e. fertilizers provided food grain along with an increase in yield. In the block with surface tillage, the yield was on average 4,6 c/ha higher compared to similar options in the block with traditional tillage.

Поступила 11.05.2022

УДК 633.11:631.89

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-94-103](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-94-103)

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (В УСЛОВИЯХ КАШКАДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН)

М. Б. Вафоева¹, А. М. Абдуазимов²

¹Научно-исследовательский институт земледелия в южных районах

*²Каршинский институт ирригации и агротехнологий,
Кашкадарьинская обл., г. Карши, Узбекистан*

ВВЕДЕНИЕ

Минеральное питание растений включает поступление, передвижение и усвоение элементов. Но бывают ситуации, когда элементы минерального питания почвы становятся труднодоступными для растений (низкая температура, недостаток или избыток влаги, недостаточное развитие корневой системы и др.). Из-за дефицита какого-либо фактора, даже при достаточном наличии элемента в почве корни плохо его поглощают. Для этого более целесообразно применение внекорневых подкормок удобрениями по надземной части растений [1].

При возделывании зерновых культур 30 % от общих затрат приходится на минеральные удобрения. Оптимизация минерального питания и обеспечение

благоприятного фитосанитарного состояния посевов по этапам органогенеза растений позволяет в наибольшей степени реализовать генетический потенциал продуктивности зерновых культур в сложившихся погодных условиях и снизить удельные затраты элементов питания на формирование урожая [2].

По закону минимума урожайность растений определяется веществом, содержащимся в минимальном количестве. Кроме того, для полноценного питания и развития растений важны микроэлементы – бор, марганец, сера, железо, медь, цинк, молибден и др. Внесение микроудобрений в малых дозах в виде внекорневой подкормки восполняет их недостаток в растении.

Использование микроудобрений под озимую пшеницу позволяет повысить агротехническую и экономическую эффективность возделывания зерна. Обработка зерна микроудобрениями перед посевом увеличила урожайность на 6,1 %, содержание клейковины – на 24,9–28,4 % [3].

В почвенно-климатических условиях Курганской области России внекорневая подкормка яровой пшеницы микроудобрениями в форме хелата обеспечила повышение урожайности озимой пшеницы на 6,9–13,9 % в среднем за три года, клейковины зерна – на 1,03–2,17 % [4]. В опытах К. Е. Денисова [5] установлено, что во всех изучаемых вариантах наблюдалось положительное изменение высоты растений, массы 1000 зерен.

В исследованиях, проведенных Мухомедьяровой А. С. в условиях дефицита продуктивной влажности засушливой степной зоны Западного Казахстана, в системе севооборота с применением минеральных удобрений в дозе N_{30} определена целесообразность использования таких агротехнических мероприятий, как внекорневая подкормка, которая обеспечила получение зерна озимой мягкой пшеницы высокого качества и стабильную прибавку урожайности на уровне 1,8 т/га [6].

А. Г. Субботин и А. А. Кобылинский установили, что в 2017–2018 гг. в почвенно-климатических условиях левобережья Саратовской области Российской Федерации внекорневая подкормка сортов озимой пшеницы повысила урожайность зерна и повлияла на улучшение технологического качества зерна [7].

Применение внекорневой подкормки в фазы кущение, трубкование и колошения пшеницы оказало положительное влияние на следующие элементы структуры урожая: густоты стояния – на 191–297 ед./м², количество зёрен в колосе – на 180–230 ед., масса 1000 зёрен – на 20,8–26,8 г.

Полученные результаты свидетельствуют, что при возделывании пшеницы в условиях снижения дозы азотных и фосфорных удобрений на 50 % по сравнению с традиционными нормами, выполнение 3-х внекорневых подкормок в течение вегетационного периода обеспечило повышение урожайности культуры на [8].

Внекорневое питание озимой пшеницы удобрением Nano Chelated Super Fertilizer в норме 1 кг/га положительно влияет на высоту растений, длину колоса, содержание хлорофилла, содержание в зерне азота, фосфора, калия, железа, меди, цинка и марганца [9].

Выявлено положительное влияние различных норм и способов внесения азота на высоту растения, период до колошения, период до созревания, количество колосьев, продуктивных стеблей, длину колоса, массу 1000 зёрен, зерновые и биологические показатели урожайности [10]. *Определено положительное влияние азотных удобрений внекорневым методом внесения на рост и динамику развития растений по сравнению с основным внесением [11].*

Макро- и микроэлементы, такие как цинк (Zn), медь (Cu), железо (Fe), марганец (Mn), (бор) (B), применяемые в различных сочетаниях, оказывают значительное влияние на содержание сухого вещества пшеницы, увеличивая урожайность зерна и соломы [12]. Установлено, что оптимальными сроками для подкормки внекорневыми микроэлементами является сначала фаза трубкования, а затем фаза кущения [13].

Внекорневая подкормка бором и цинком – доступный способ повышения урожайности и питательной ценности сельскохозяйственных культур, а также элементов структуры урожайности [14, 15].

Бор – один из важнейших микроэлементов в природе, а дефицит этого элемента в сельскохозяйственных культурах является одним из лимитирующих факторов продуктивности. С учетом этого в практику возделывания сельскохозяйственных культур целесообразно включать бор в программу питания растений [16].

Рост цен на минеральные удобрения в сельском хозяйстве, в том числе на пшеницу, является одной из важнейших проблем повышения урожайности, и одной из основных задач сегодня является снижение количества применяемых минеральных удобрений за счет внекорневого питания. Установлено, что урожайность пшеницы была на 2,14 т/га выше контрольного варианта при внекорневой подкормке в фазы кущения, трубкования и колошения пшеницы. Отмечено, что внекорневые подкормки целесообразно проводить два раза в фазу кущения и выхода в трубку в течение вегетационного периода пшеницы [17]. В исследовании, проведенном учеными из Бангладешского сельскохозяйственного университета, был определен положительный эффект внекорневого питания на индекс площадь листьев пшеницы, накопления сухого вещества и содержание хлорофилла (18,0–18,4), количество продуктивных стеблей на 1 м² (243–250), количество колосков (17–18), количество зерен в колосе (47–48 т), масса 1000 зерен (3,2–4,6 г) и урожайность (3,01–3,03 т/га) увеличились по сравнению с контрольным вариантом [18].

Цель исследований – изучение и определение сроков и норм внекорневой подкормки для получения высокого и качественного урожая озимой пшеницы в условиях орошаемых светло-сероземных почв Кашкадарьинской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в течение 3-х вегетационных периодов (2019–2021 гг.) на центральном опытном участке НИИ Земледелия в южных районах, расположенном в Каршинском районе Кашкадарьинской области.

Объектом исследования являются орошаемые светлые серозёмные почвы Кашкадарьинской области и озимая пшеница сорта Гозгон.

Почва опытного участка светло-сероземная, малозасоленная. Уровень грунтовых вод – 2,0–2,5 м. Минерализация грунтовых вод слабая – 2,5–3,0 г/л. Перед закладкой опыта в 2019 г. в пахотный горизонт (0–28 см) имел следующие агрохимические показатели: содержание гумуса – низкое (меньше 0,81 %) по (И. В.Тюрину (ГОСТ-26213), содержание общего азота – 0,078 %, содержание фосфора – 0,180 % (30,0 мг/кг), калия – 2,51 % (380,0 мг/кг) (по И. М. Мальцевой, Л. П. Гриценко). Плотность твердой фазы почвы зависела от ее минерального и химического состава и составляла 2,71 г/см³ в слое 0–28 см.

Характеристика стимуляторов роста и комплексных удобрений:

IfoSeed – стимулятор роста, состав: гумино-фульвовая кислота – 35 %, органическое вещество – 25 %, цинк (Zn) – 8 %, медь (Cu) – 2 %, pH 8,5–10,5; норма – 2,0 кг на 1 т семян;

Вл-77 – стимулятор роста, состав: полиэтиленоксиды – 77,0 %, гуминовая кислота – 3 %, норма – 0,5 л/га;

IfoPZN – комплексное удобрение, состав: общий азот (N) – 3 %, общий фосфор (P) – 25 %, цинк (Zn) – 5 %, pH 1–3; норма – 2,0 л/га;

Ankasuper – микроудобрение, состав: органическое вещество – 20 %, общий азот (N) – 1,0 %, органический азот – 1,0 %, общие аминокислоты – 9 %, pH 4–7; норма – 100–125 мл/га на 100 л воды;

IfoHumate Plus – комплексное удобрение, состав: органическое вещество – 35 %, гумино-фульвовая кислота – 65 %, общий калий K_2O – 8 %, pH 9–11; норма – 0,5 л/га;

Potex – комплексное удобрение, состав: органическое вещество – 30 %, органический карбон – 16 %, общий азот – 1,5 %, общий органический азот – 1,5 %, растворимый калий K_2O – 4 %, pH 4–6; норма – 450–500 мл/га на 100 л воды;

IfoCombi-Fe – комплексное удобрение, общий азот (N) – 10 %: нитратный азот – 1,6 %, аммонийный азот – 8,4 %, состав: общий калий K_2O – 20 %, общий магний – 2 %, общий растворимый бор (B) – 0,02 %, общее растворимое железо (Fe) – 1 %, общий растворимый цинк (Zn) – 0,005 %, общий растворимый марганец (Mn) – 0,001 %, общий растворимый молибден (Mo) – 0,001 %, общая растворимая медь (Cu) – 0,05 %; норма – 3–4 л/га;

IfoUan-32 – комплексное удобрение, состав: общий азот – 32 %: карбамидный азот – 16 %, аммонийный азот – 8 %, нитратный азот – 8 %, pH 5–7; норма: 4–5 л/га;

IfoKalifos – комплексное удобрение, состав: общий азот (N) – 1 %, нитратный азот – 1 %, общий растворимый фосфор (P_2O_5) – 10, 2 %, общий растворимый калий (K_2O) – 25 %, растворимый бор (B) – 0,6 %, растворимый цинк (Zn) – 0,1 %, pH 6–8; норма – 1,5–2,0 л/га.

В настоящее время в связи с увеличением уровня химической нагрузки вследствие применения интенсивных технологий при возделывании сельскохозяйственных культур большое значение и актуальность приобретает разработка технологий выращивания, основанная на рациональном использовании природных и минеральных ресурсов с акцентом на обеспечение получения высоких урожаев качественно экологически безопасного зерна и сохранения плодородия почв. С целью получения более точных результатов внекорневая подкормка проводилась в условиях разных уровней минерального питания:

I) Контроль (нулевой уровень применения удобрений);

II) $N_{90}P_{45}K_{30}$ – ресурсосберегающий уровень минерального питания, предусматривающий снижение уровня химической нагрузки и сохранения плодородия почв;

III) $N_{180}P_{90}K_{60}$ – ресурсосберегающий уровень минерального питания, предусматривающий сохранение плодородия почв.

Изучаемым фактором для повышения урожайности и качества зерна озимой пшеницы являлись некорневые подкормки стимуляторами роста и комплексными удобрениями. Каждой делянке соответствовал определённый вариант обработки посевов в различные фазы вегетации.

В соответствии с опытной схемой семена озимой пшеницы перед посевом обрабатывались удобрениями IfoSeed + Вл-77 (1 вариант). В период вегетации растений проводилась листовая подкормка удобрениями IFO PZN + Ankasuper (15.10–15.11), IFO PZN + IfoHumate Plus (25.02–10.03), IFO UAN + POTEX (15.03–30.03), IFO-COMBI FE + IFO UAN 32 (05.04–15.04), IFO CALIFOS + Ankasuper (01.05–10.05).

Схема опыта осуществлялась блочно-рандомизированным методом в 3-кратной повторности. Общее количество вариантов – 24, общее количество делянок – 72. Общая площадь делянки – 25 м². Норма высева – 4,5 млн/га всхожих семян.

Агротехника возделывания – общепринятая для Узбекистана (Кашкадарьинская область).

Содержание белка в зерне, клейковины, натурный вес, масса 1000 зёрен определялись по методике изучения технологических свойств зерна (1976 г.) по ГОСТ-9353-84 и ГОСТ 13586-1-68.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведённых исследований было установлено, что в вариантах с применением внекорневой подкормки комплексными удобрениями основные технологические показатели качества зерна (содержание белка и сырой клейковины, масса 1000 зерен, натурный вес зерна) превышали контроль.

Анализируя данные исследований о влиянии внекорневых подкормок на показатели натурального веса зерна озимой пшеницы, необходимо отметить, что применение макро- и микроудобрений способствовало улучшению качества зерна. В частности, в контрольном варианте фона I натурный вес зерна был наименьшим и составил 738,2 г/л, а в варианте применения всех 6 комплексных удобрений в условиях минерального питания N₁₈₀P₉₀K₆₀ обеспечило более высокие результаты – 821,8 г/л (табл.).

На фоне I натурный вес (объём) зерна озимой пшеницы на контроле составил 738,2 г/л, а в вариантах с применением внекорневой подкормки – 748,7–771,3 г/л, что на 10,5–33,1 г/л больше по сравнению с контролем.

При внесении N₉₀P₄₅K₃₀ (фон II) натурный вес зерна озимой пшеницы в среднем за 3 года на контроле составила 761,9 г/л. Применение изучаемых удобрений увеличило натурный вес зерна на 9,1–18,0 г/л относительно контроля до 771,0–779,9 г/л.

Те же закономерности отмечены при внесении минеральных удобрений в дозе N₁₈₀P₉₀K₆₀. В вариантах с использованием микроудобрений натурный вес был выше контроля на 12,7–53,6 г/л и составил 780,9–821,8 г/л.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что наиболее высокие результаты по натурному весу зерна могут быть достигнуты в условиях применения высокого уровня минерального питания и внекорневых подкормок в каждую фазу развития пшеницы. Так в контрольных вариантах натурный вес зерна озимой пшеницы составил 738,2 г/л, 761,9 г/л, 768,2 г/л соответственно уровням внесения минеральных удобрений. В вариантах с внекорневым питанием всеми 6 комплексными удобрениями на фоне I он увеличился до 771,3 г/л, фоне II (N₉₀P₄₅K₃₀) – до 799,9 г/л, фоне III (N₁₈₀P₉₀K₆₀) – до 821,8 г/л.

Таблица

Влияние внекорневого питания на качество зерна озимой пшеницы

Фон	Вариант	Натурный вес, г/л	Вес 1000 зёрен, г	Содержание белка, %	Содержание клейковины, %
I. Без удобрений	Контроль	738,2	32,5	12,4	22,6
	IfoSeed + Вл-77	749,0	34,0	12,8	25,2
	IFO PZN + Ankasuper	757,8	35,5	13,5	26,7
	IFO PZN + IfoHumate Plus	748,7	33,5	13,0	25,4
	IFO UAN + POTEX	748,9	33,9	12,7	25,0
	IFO-COMBI FE + EntoGumin + IFO UAN 32	769,6	35,5	13,5	26,3
	IFO CALIFOS + Ankasuper	760,0	34,7	13,3	26,4
	IfoSeed + Вл-77; IFO PZN + Ankasuper; IFO PZN + IfoHumate Plus; IFO UAN + POTEX; IFO-COMBI FE + EntoGumin + IFO UAN 32; IFO CALIFOS + Ankasuper	771,3	36,7	13,7	27,2
II. N ₉₀ P ₄₅ K ₃₀	Контроль	761,9	41,1	13,9	27,1
	IfoSeed + Вл-77	771,0	42,1	14,4	28,2
	IFO PZN + Ankasuper	787,9	44,6	15,1	28,9
	IFO PZN + IfoHumate Plus	776,7	42,9	14,2	28,2
	IFO UAN + POTEX	774,7	42,4	14,3	28,4
	IFO-COMBI FE + EntoGumin + IFO UAN 32	791,7	45,4	15,1	29,2
	IFO CALIFOS + Ankasuper	787,7	44,7	15,0	28,8
	IfoSeed + Вл-77; IFO PZN + Ankasuper; IFO PZN + IfoHumate Plus; IFO UAN + POTEX; IFO-COMBI FE + EntoGumin + IFO UAN 32; IFO CALIFOS + Ankasuper	799,9	45,8	15,8	29,4
III. N ₁₈₀ P ₉₀ K ₆₀	Контроль	768,2	42,3	14,5	28,3
	IfoSeed + Вл-77	792,4	43,5	15,1	29,1
	IFO PZN + Ankasuper	811,1	45,2	15,9	29,4
	IFO PZN + IfoHumate Plus	787,9	43,3	15,1	29,1
	IFO UAN + POTEX	780,9	43,2	14,9	28,8
	IFO-COMBI FE + EntoGumin + IFO UAN 32	811,9	45,9	16,3	29,8
	IFO CALIFOS + Ankasuper	805,0	45,3	15,7	29,6
	IfoSeed + Вл-77; IFO PZN + Ankasuper; IFO PZN + IfoHumate Plus; IFO UAN + POTEX; IFO-COMBI FE + EntoGumin + IFO UAN 32; IFO CALIFOS + Ankasuper	821,8	46,2	16,8	30,2

Размер (крупность) зерна оказывает существенное влияние на урожайность. Вес 1000 зёрен также меняется в зависимости от условий внешней среды, применяемых агроприёмов. Оптимальный температурный режим, режим питания позволяют формировать крупные зерна, при этом жаркая и сухая погода, недостаток влаги, сорная растительность, вредители и болезни снижают данный показатель.

По результатам анализа значения массы 1000 зёрен в вариантах с внесением суспензий отличались в сравнении с контрольным вариантом независимо от уровня НРК. Самый низкий показатель массы 1000 зёрен был отмечен в контрольном варианте фона I – 32,5 г, а наибольший (46,2 г) – в варианте с применением 6 комплексных удобрений в условиях фона III ($N_{180}P_{90}K_{60}$). Масса 1000 зёрен на фоне I изменялась от 32,3 до 36,7 г в зависимости от применяемых комплексных удобрений. В условиях фона II ($N_{90}P_{45}K_{30}$) ее диапазон составил 42,1–45,8 г, фона III ($N_{180}P_{90}K_{60}$) – 43,2–46,2 г. В зависимости от условий минерального питания в варианте с применением IFO UAN + POTEX данный показатель составил 35,5, 45,4 и 45,9 г соответственно фонам.

Количество белка в зерне и его качество зависят от трех факторов: почвенно-климатических условий, биологии сорта и применяемых агротехнических мероприятий. Содержание общего белка в вариантах с применением внекорневого питания отличалось от контрольного варианта, т. е. внекорневая подкормка обеспечивала увеличение содержания белка в зерне озимой пшеницы. Из полученных результатов следует, что наименьшее содержание белка составило 12,4 % в контрольном варианте фона I, а наибольшее значение (16,8 %) – в варианте внесения всех 6 комплексных удобрений на фоне III ($N_{180}P_{90}K_{60}$).

При этом установлено, что содержание общего белка в зерне озимой пшеницы на вариантах с применением внекорневой подкормки фона I колебалось от 12,7 до 13,7 %, т. е. было на 0,3–1,1 % больше контроля. В условиях фона II ($N_{90}P_{45}K_{30}$) в вариантах с внекорневой подкормкой содержалось 14,2–15,8 % общего белка, фона III ($N_{180}P_{90}K_{60}$) – 14,9–16,8 %, т. е. на 0,4–2,3 % больше, чем на контроле этих фонов. Таким образом, внекорневая подкормка в условиях фонов $N_{90}P_{45}K_{30}$ и $N_{180}P_{90}K_{60}$ кг/га положительно повлияла на содержание общего белка в зерна озимой пшеницы. Наиболее эффективным с экономической точки зрения оказалось внесение IfoSeed + Вл-77, IFO UAN + POTEX и IFO-COMBI FE + Ento-Gumin + IFO UAN 32.

Количество клейковины в зерне изменяется в зависимости от биологических особенностей сорта, экологических условий, в которых растет пшеница, экологических факторов, технологических приемов. Результаты проведенных исследований показали, что в зерне озимой пшеницы содержалось 22,6–30,2 % сырой клейковины в зависимости от системы удобрения. Наименьшее количество клейковины отмечено на контроль фона I – 22,6 %, наибольшее (30,2 %) – в варианте с 6 комплексными удобрениями фона III ($N_{180}P_{90}K_{60}$).

ВЫВОДЫ

В наших экспериментах было определено, что подкормка комплексными удобрениями положительно повлияла на массу 1000 зерен, содержание общего белка и сырой клейковины озимой пшеницы. Несмотря на то, что наибольшие

показатели наблюдались при внесении $N_{180}P_{90}K_{60}$ и подкормки в каждой фазе развития растений, оптимального уровня по всем вышеперечисленным показателям можно достичь и при однократной подкормке до появления флагового листа (IFO-COMBI FE + EntoGumin + IFO UAN 32) при снижении дозы минеральных удобрений в 2 раза до $N_{90}P_{45}K_{30}$.

По результатам 3-летних исследований было установлено, что применение внекорневой подкормки комплексными удобрениями при возделывании озимой пшеницы в условиях контрольного фона I без NPK положительно повлияло на изучаемые показатели качества зерна по сравнению с абсолютным контролем. Установлено, что применение внекорневой подкормки до формирования флагового листа комплексными удобрениями IFO-COMBI FE + ЭнтоГумин + IFO UAN 32 в условиях фона II ($N_{90}P_{45}K_{30}$) – это оптимальный вариант, обеспечивающий получение качественного зерна.

В условиях светлых серозёмных почв Кашкадарьинской области Узбекистана при внесении удобрений под озимую пшеницу в количестве 50 % от традиционных норм ($N_{90}P_{45}K_{30}$), а так же при использовании жидких комплексных удобрений был определен эффект улучшения качества зерна.

Подкормка озимой пшеницы суспензиями различных компонентов в фазу осеннего кущения, в период образования флагового листа и после колошения увеличило натуральный вес зерна на 42,9; 43,7; 36,8 г/л и количество белка в зерне – на 1,1–1,2 % в сравнении с контролем в зависимости от уровня минерального питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семененко Н. Н. Инновационные технологии применения азотных удобрений: теория, методология, практика / Н. Н. Семененко. – Минск: Альфа-книга, 2020. – 320 с.
2. Семененко Н. Н. Система применения удобрений под зерновые культуры на дерново-подзолистых почвах в современных условиях / Н. Н. Семененко, Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш // Земледелие и защита растений. – 2018. – № 2. – С.33–39.
3. Гуреев И. И. Совершенствование агротехнологии выращивания озимой пшеницы с использованием удобрений, содержащих микроэлементы / И. И. Гуреев, М. Н. Жердев, А. Л. Брежнев // Земледелие. – 2016. – № 8. – С. 25–28.
4. Созинов А. В. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы сорта терция при листовой подкормке хелатными микроудобрениями / А. В. Созинов // Инженерное обеспечение в реализации социально-экономических и экологических программ АПК, Курган, 26 марта 2020 г. – С. 316–319.
5. Денисов К. Е. Влияние различных микроудобрений на качество зерна озимой пшеницы в засушливом Поволжье / К. Е. Денисов, А. А Гераскина // Основы и перспективы органических биотехнологий. – 2019. – № 3. – С. 13–15.
6. Мухомедьярова А. С. Совершенствование технологии возделывания озимой пшеницы в сухостепной зоне Западного Казахстана / А. С. Мухомедьярова // Современные проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса: сб. статей по итогам Междунар. науч.-практ. конф., Саратов, 16–22 июля 2019 г. – Саратов, 2019. – С. 670–674.
7. Субботин А. Г. Особенности формирования урожая озимой пшеницы в за-

висимости от применения подкормок в условиях Саратовского Правобережья / А. Г. Субботин, А. А. Кобылинский // Аграрные конференции Саратов. – 2019. – Т. 29. – № 140. – С. 24–27.

8. Response of wheat to foliar application of nutrients / Muhammad Arif [et al.] // Journal of Agricultural and Biological Science. – 2006. – Vol. 1, №. 4. – P. 30–34.

9. Effect of foliar application of different sources of nano-fertilizers on growth and yield of wheat / Hayyawi WAAI-Juthery [et al.] // Bioscience Research. – 2018. – Vol. 15, № 4. – P. 3988–3997.

10. SohailSabir, JehanBakht, Muhammad Shafi and Wajid Ali shah, 2002. Effect of Foliar vs. Broadcast Application of Different Doses of Nitrogen on Wheat. *Asian Journal of Plant Sciences*, 1: 300-303.

11. Effect of foliar and soil application of nitrogen on the growth and yield of wheat / Islam MS [et al.] // Progressive Agriculture. – 2017. – Vol. 28, № 4. – P. 287–294.

12. Asad A. Effect of zinc, copper, manganese and boron on the yield and yield components of wheat crop in Tehsil Peshawar / A. Asad, R. Rafique // Pakistan J Biol Sci. – 2000 – Vol. 3, № 10. – P. 1615–1620.

13. Nazim Hussain Labar. Effect of foliar applications of plant micronutrients mixture on growth and yield of wheat / Nazim Hussain Labar, Muhammad Aslam Khan, Muhammad Amjad Javed // Pakistan J BiolSci. – 2002. – Vol. 8, № 8. – P. 1096–1099.

14. Enhancement of wheat grain yield and yield components through foliar application of Zinc and Boron / S. Ali [et al.] // Sarhad J. Agric. – 2009. – Vol. 25, № 1. – P. 15–19.

15. Вафоева М. Б. Влияние листовой подкормки на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в различных условиях минерального питания / М. Б. Вафоева, А. М. Абдуазимов // Инновацион. технология. – 2021. – № 2.

16. Effects of Boron Fertilization on the Yield and Some Yield Components of Bread and Durum Wheat / Aydin GÜNES [et al.] // Turk J Agric For. – 2003. – № 27. – P. 329–335.

17. Coşkun Gülser. The effect of NPK foliar fertilization on yield and macronutrient content of grain in wheat under Kostanai-Kazakhstan conditions / Coşkun Gülser [et al.] // Eurasian J Soil Sci. – 2019. – Vol.8, № 3. – P. 275–281.

18. Response of wheat to foliar application of urea fertilizer / M. Z. Rahman [et al.] // J. Sylhet Agril. Univ. – 2014. – Vol. 1, № 1. – P. 39–43.

THE INFLUENCE OF VARIOUS FERTILIZER SYSTEMS ON THE QUALITY OF WINTER WHEAT GRAIN (IN THE CONDITIONS OF KASHKADARYA REGION THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN)

M. B. Vafoeva, A. M. Abduazimov

Summary

In recent years, wheat has been grown on 221 million hectares of land around the world, and the total yield is 769 million tons as a result of modern intensive technologies. Foliar feeding of wheat with various components of macro- and microelements, along with the saving of basic mineral fertilizers applied to the soil, increases the efficiency of their assimilation by the plant, increases yield and improves grain quality. In our experiment, we studied the effect of the timing and rates of foliar application of winter soft wheat on the technological quality of the plant. Although the highest indicator was

observed when there was a high agrophone and top dressing in each phase of the growing season, it was found that the optimal level can be achieved for all of the above indicators with a single top dressing of leaves before the appearance of flag leaves, with a 2-fold decrease in mineral fertilizers. The practical results of the work are that in conditions of light gray soils when fertilizing for winter wheat in the amount of 50 % (NPK 90:45:30 kg/ha) of the amount of traditional norms (NPK 180:90:60 kg/ha), as well as when using liquid suspension preparations enriched with macro- and microelements of various components, the effect of saving mineral fertilizers, increasing the yield and quality of grain was determined. Feeding winter wheat with suspensions of various components during the autumn tillering phase, during the formation of the flag leaf and after heading had a positive effect on the natural grain weight (42,9; 43,7; 36,8 g/l) and the amount of protein in the grain (1,2; 1,2; 1,1 %) in comparison with the control.

Поступила 26.04.2022

УДК 631.82:633.112.9:631.445.2

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-103-114](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-103-114)

ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ОЗИМОЙ ТРИТИКАЛЕ СЕРОЙ И МАГНИЕМ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

**И. С. Станилевич, И. М. Богдевич, Ю. В. Путятин,
В. А. Довнар, Е. С. Третьяков**

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

ВВЕДЕНИЕ

Сера – важный элемент питания сельскохозяйственных культур, она входит в состав белков и ряда незаменимых аминокислот: цистеина, цистина и метионина. Участие серы в процессах жизнедеятельности растений, фотосинтезе, синтезе белков и масел, первичной ассимиляции азота, определяет ее ведущую роль в формировании качественного растительного белка. Недостаток серы в питательной среде вызывает снижение урожайности и качества продукции многих культур. При дефиците поступления серы в растения, менее 1:16 по отношению к азоту, тормозится синтез белка, и азот накапливается в форме нитратов [1–4].

Актуальность применения серосодержащих удобрений усиливается в связи с уменьшением поступления серы в почву с осадками, органическими удобрениями и новыми формами минеральных удобрений. В результате многолетних исследований Г. В. Пироговской на лизиметрической станции Института почвоведения и агрохимии (г. Минск), установлено, что поступление серы с осадками за последние 40 лет снизилось вдвое с 24,4 до 11,0 кг S/га [5]. В целом по Беларуси, по данным крупномасштабного агрохимического

обследования почв, средневзвешенное содержание диоксида серы в гумусовом горизонте пахотных почв за последние 30 лет также уменьшилось наполовину до 5,4 мг S на кг почвы. Содержание подвижной серы в дерново-подзолистых почвах колеблется в значительных пределах и обусловлено преимущественно содержанием органических веществ, на долю которых приходится 70–90 % валового запаса серы. Наблюдается заметная пестрота в обеспеченности почв серой. Однако повсеместно преобладают пахотные почвы с очень низким (менее 6 мг/кг) содержанием подвижной серы: от 56,3 % площади пашни в Гомельской до 84,0 % в Могилевской области [6]. Похожую тенденцию снижения средневзвешенного содержания сульфатной серы в пахотных горизонтах почв за последние 20 лет (с 8,4 до 6,3 мг/кг почвы) отмечает В. И. Панасин в Калининградской области [7].

Питание растений серой в определенной мере может зависеть от концентрации магния в почвенном растворе. Повышение содержания в почве обменных форм магния может снижать доступность серы корням растений. Магний входит в состав хлорофилла, непосредственно участвует в фотосинтезе и занимает важное место в минеральном питании растений. Магний выполняет структурообразующую роль, входя в состав органелл, клеток, мембран, клеточных стенок, а также функциональную роль в составе около 300 ферментов. Недостаток или избыток магния в питательной среде приводит к нарушению биохимических процессов в растениях, что в конечном итоге ограничивает урожайность возделываемых культур и снижает качество их продукции [1,8–10]. Многолетнее известкование кислых почв доломитовой мукой привело к повышению до трех раз содержания обменных форм магния, которое достигло к 2012 г. уровня 259 мг MgO на кг почвы пахотных земель, в целом по Беларуси. В настоящее время средневзвешенное содержание магния в почвах пахотных земель несколько снизилось, 242 мг MgO на кг почвы. Острый дефицит магния для формирования высокой урожайности сельскохозяйственные культуры могут испытывать только на 5,3 % площади пашни и небольшой дефицит – на 14,3 % площади. Оптимальная и высокая обеспеченность почв магнием наблюдается на 80,4 % площади пахотных земель, а на 33,2 % площади концентрация обменных форм магния очень высокая, местами избыточная. Содержание обменного магния сильно различается по отдельным полям и участкам, на значительной части площади пахотных земель нарушено соотношение катионов $Ca^{2+} : Mg^{2+} + K^{+} : Mg^{2+}$, и возделываемые культуры испытывают недостаток или избыток магния для формирования высокой урожайности. Поэтому возникла необходимость в разработке диагностики магниевых питания наиболее ценных сельскохозяйственных культур [11].

Тритикале представляет собой ботанический род, полученный путем объединения хромосомных комплексов двух разных ботанических видов – пшеницы и ржи. Это позволило использовать преимущества обоих видов. Тритикале является универсальной зерновой культурой, используемой как на продовольственные, так и кормовые цели. Зерно тритикале применяется в хлебопекарной, кондитерской, пивоваренной, спиртоводочной и комбикормовой промышленности. Тритикале отличается большими потенциальными возможностями увеличения урожайности, повышенным содержанием белка и незаменимых аминокислот. В тритикале удачно сочетаются высокая экологическая пластичность ржи с урожайностью и качеством пшеницы [12]. Озимая форма тритикале возделывается в Беларуси на площади около 400 тыс. га с валовым сбором 1,3–1,5 млн т зерна [13].

Цель исследований – разработать параметры диагностики минерального питания озимой тритикале серой и магнием на дерново-подзолистой суглинистой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2020–2021 гг. в стационарном полевом опыте в ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощном лессовидном суглинке.

Почва пахотного горизонта характеризовалась следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,8–2,1 %, pH_{KCl} – 6,0–6,2, P_2O_5 (0,2 М HCl) – 530–570 мг/кг почвы, K_2O (0,2 М HCl) – 310–345 мг/кг, Ca (1 М KCl) – 840–1230, Mg (1М KCl) – 45–240 мг/кг почвы, подвижных форм серы – 3–6 мг S на кг почвы.

Опыт заложен в двух полях, на каждом из них создано четыре уровня обеспеченности почвы обменным Mg, которые отражают диапазон различий по содержанию магния в дерново-подзолистых суглинистых почвах Беларуси (табл. 1). Содержание катионов (Ca, Mg, K) и их соотношения типичны для средне окультуренных дерново-подзолистых пахотных почв.

Высокие уровни содержания обменного магния на делянке создавались путем внесения в 2018 г. быстродействующего удобрения – сульфата магния ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$). Значения 4-х уровней содержания обменного магния определены после агрохимического анализа почвы со всех делянок. Показатели обменной кислотности (pH_{KCl}) выравнены по деляночно внесением мела.

Таблица 1

Содержание и соотношение катионов (Ca, Mg, K) в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на опытных полях в ОАО «Гастелловское» (2020–2021 гг.)

Уровень	Содержание в почве катионов, мг·кг ⁻¹			Эквивалентное соотношение катионов	
	Mg	K	Ca	Ca ²⁺ : Mg ²⁺	K ⁺ : Mg ²⁺
2020 г. (Поле № 1)					
I	45	310	1150	15,3	2,1
II	115	315	1057	5,5	0,8
III	160	345	955	3,6	0,6
IV	230	325	840	2,2	0,4
2021 г. (Поле № 2)					
I	53	315	1160	13,2	1,8
II	120	310	1032	5,2	0,8
III	165	335	935	3,6	0,6
IV	240	320	860	2,2	0,4

Схема опыта предусматривала 9 вариантов удобрений на каждом из четырех уровней содержания обменного магния в почве и представлена при обсуждении результатов в таблице 2. На каждом уровне содержания обменного магния в почве

исследовалось действие полной дозы удобрений, варианта с повышенной дозой калия, серы в дозе S_{60} и некорневых подкормок сульфатом магния. Минеральные удобрения под тритикале вносились при проведении предпосевной обработки почвы в виде карбамида, калия хлористого, аммонизированного суперфосфата и сульфата аммония согласно схеме опыта. Сульфат аммония является самым технологичным и дешёвым источником серы для сельскохозяйственных культур. Аналогичные выводы сделаны в процессе исследования эффективности серосодержащих удобрений под гречиху, картофель, озимый и яровой рапс Г. В. Пироговской [14].

Подкормка тритикале азотными удобрениями проведена с началом активной вегетации. Некорневые подкормки раствором сульфата магния в дозах Mg 1 и 1,5 кг/га проведены на растениях тритикале в фазе кущения, до отбора образцов растений для анализа. Агротехника возделывания культур – общепринятая для республики [15]. Уход за посевами включает мероприятия, направленные на защиту растений от вредителей, болезней и сорняков, создание оптимальных условий для роста и развития растений.

Опыт разбит согласно схеме вариантов удобрений в 4-кратной повторности. В 2020–2021 гг. возделывалась озимая тритикале сорт Динаро. Размещение делянок вариантов удобрений внутри блоков разного содержания обменного магния в почве – рандомизированное. Общая площадь делянки – 15 м², учетная – 10 м². Определение агрохимических показателей в почвенных образцах проводили по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (0,4 н $K_2Cr_2O_7$ ГОСТ 26213-91); pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85); обменные кальций и магний (1 М KCl) – методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ГОСТ 26487-85); подвижные фосфор и калий (0,2 М HCl) – по Кирсанову с последующим определением фосфора на фотоэлектроколориметре, калия – на пламенном фотометре (ГОСТ 26207-91), подвижную серу (ГОСТ 26951-86).

В образцах растений определяли следующие показатели: общий азот, фосфор, калий, кальций, магний – из одной навески после мокрого озоления серной кислотой; азот – методом Кьельдаля (ГОСТ 13496.4-93), фосфор – на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 26657-97), калий – на пламенном фотометре, кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрометре, сера – спектрометрическим методом. Содержание сырого белка рассчитывали умножением концентрации общего азота на коэффициент пересчета азота на белок – 6,25. Статистическая обработка результатов исследований выполнена по Б. А. Доспехову (1985 г.) с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В проведенных в 2020–2021 гг. опытах, на контрольных вариантах высоко плодородной почвы получена урожайность зерна 51,7–58,6 ц/га в зависимости от содержания обменного магния в почве. Анализируя полученные данные, была выявлена зависимость урожайности зерна озимой тритикале от обеспеченности почвы обменным магнием. Повышение концентрации обменного магния в почве с I уровня до III уровня способствовало повышению урожайности зерна тритикале в варианте без удобрений на 6,7 ц/га (13 %), в варианте фонового удобрения

$N_{60+30}P_{60}K_{120}$ – на 6,6 ц/га (11 %). Дальнейшее повышение содержания обменного магния в почве до IV уровня приводило к снижению урожайности зерна тритикале в варианте без удобрений на –6,9 ц/га (–12 %), в варианте с фоновой дозой удобрений – на –5,7 ц/га (–8 %) (табл. 2).

Таблица 2

Урожайность зерна озимой тритикале в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве и удобрений (в среднем за 2020–2021 гг.)

Вариант	Урожайность зерна, ц/га				Прибавка зерна, ц/га, за счет повышения содержания Mg в почве		
	уровни содержания Mg, мг/кг почвы				уровни содержания Mg, мг/кг почвы		
	45–53	115–120	160–165	230–240	115–120	160–165	230–240
Контроль	51,9	54,3	58,6	51,7	2,4	6,7	–0,2
$N_{60+30}P_{60}$	60,0	63,7	64,7	59,9	3,7	4,7	–0,1
$N_{60+30}P_{60}K_{120}$ – фон	61,7	66,4	68,3	62,6	4,7	6,6	0,9
$N_{60+30}P_{60}K_{180}$	63,4	67,3	68,5	63,5	3,9	5,1	0,1
Фон + Mg_1	67,8	70,4	70,5	63,5	2,6	2,7	–4,3
Фон + $Mg_{1,5}$	67,9	71,1	70,7	63,2	3,2	2,8	–4,7
Фон + S_{60}	67,2	70,9	70,6	63,2	3,7	3,4	–4,0
Фон + S_{60} + Mg_1	68,6	71,4	70,5	62,9	3,1	1,9	–5,7
Фон + S_{60} + $Mg_{1,5}$	68,8	71,6	71,0	62,9	2,8	2,2	–5,9
НСР ₀₅ варианты уровни	2,30 1,67						

Наибольшая урожайность зерна в вариантах с применением некорневых подкормок сульфатом магния непосредственно и на фоне внесения серы в почву, получена на 2 и 3 уровнях содержания обменного магния в почве, она составила 70,4–71,6 ц/га. Дальнейшее повышение концентрации магния в почве до IV уровня приводило к снижению урожайности тритикале до 62,9–63,5 ц/га. По мнению W. Bergmann, аналогичного типа снижение урожайности при избытке доступного растениям магния в почве может быть связано с нарушением баланса катионов в почвенном растворе, относительным недостатком кальция и угнетением корневой системы растений [16].

Для определения диапазона оптимального содержания обменного магния в почве, при котором урожайность зерна озимой тритикале достигает максимального значения, были построены полиномиальная кривая и рассчитано уравнение регрессии (рис. 1). Наибольшая расчётная урожайность зерна получена при содержании обменного магния в почве Mg 147 мг/кг (или MgO 245 мг/кг). Отсюда может быть определён ориентировочный диапазон оптимального содержания обменного магния в почве для получения высокой урожайности зерна озимой тритикале – Mg 140–155 мг/кг (или MgO 230–260). Примерно такой же расчётный диапазон оптимального содержания обменного магния в почве установлен нами

в опытах для получения высокой урожайности зерна яровой тритикале, 130–150 мг Mg на кг почвы (или MgO 220–250) [17]. Этот диапазон оптимума соответствует IV группе действующей в Беларуси градации обеспеченности почв магнием. При этом эквивалентное соотношение в почве катионов $Ca^{2+} : Mg^{2+}$ должно быть в пределах 4–5, а соотношение $K^+ : Mg^{2+}$ – около 0,6–0,7.

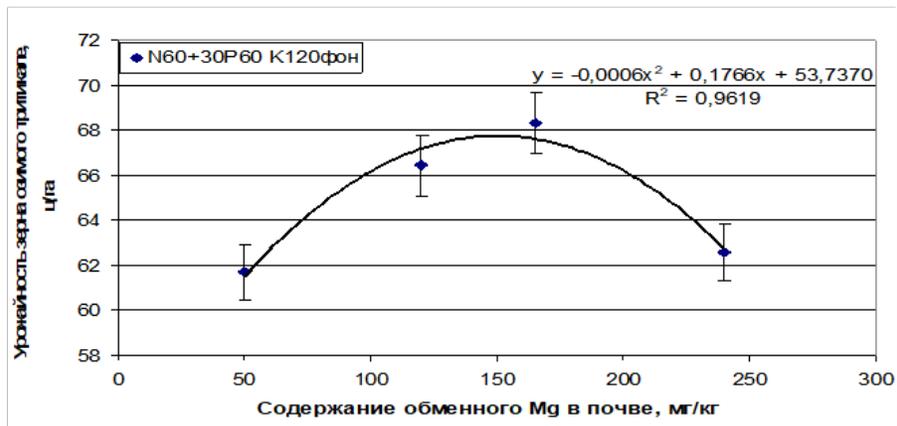


Рис. 1. Урожайность зерна тритикале в зависимости от обеспеченности почвы обменным магнием в среднем за 2020–2021 гг.

На формирование урожайности зерна озимой тритикале значительное влияние оказывали удобрения, содержащие серу и магний. В варианте с внесением серы в почву в дозе 60 кг/га прибавка урожайности зерна тритикале на 1 и 2 уровнях обеспеченности почвы обменным магнием, составила 5,5 и 4,5 ц/га соответственно. На 3 уровне прибавка урожайности снизилась до 2,3 ц/га, на 4 уровне была недостоверной – 0,6 ц/га (рис. 2).

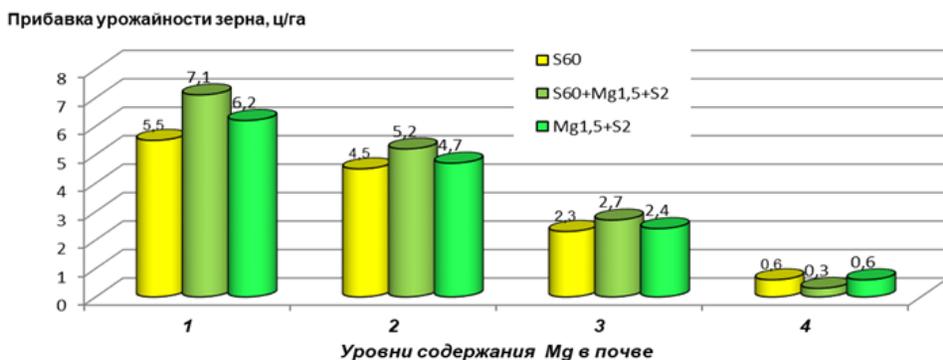


Рис. 2. Прибавки урожайности зерна озимой тритикале от внесения серы и некорневых подкормок сульфатом магния на разных уровнях содержания в почве обменного магния (1 – Mg в почве 45–53 мг/кг, 2 – 115–120 мг/кг, 3 – 160–165 мг/кг, 4 – 230–240 мг/кг)

Некорневые подкормки раствором сульфата магния подтвердили недостаток магния для растений и были высокими на низком и среднем уровнях содержания обменного магния (45–120 мг Mg на кг почвы). На повышенном (оптимальном)

уровне, при содержании Mg 160–165 мг/кг почвы прибавки урожайности зерна были невысокими, но ещё достоверными. Некорневые подкормки сульфатом магния на высоком уровне обеспеченности почвы обменным магнием >165 мг Mg на кг почвы, равно как и внесение серы в виде сульфата аммония в почву, были неэффективны.

Применение некорневой подкормки сульфатом магния в дозе Mg 1,5 кг/га одновременно обеспечивает растения тритикале серой в дозе 2,0 кг S на га и прибавку урожайности зерна, соизмеримую с действием дозы 60 кг S на га, при внесении в почву сульфата аммония. Сочетание некорневой подкормки сульфатом магния с внесением 60 кг S на га в почву не имело статистически значимого преимущества перед одной, непосредственной некорневой подкормкой раствором сульфата магния в дозе Mg_{1,5}S_{2,0}. По мере повышения обеспеченности почвы обменным магнием эффективность внесения серо- и магниесодержащих удобрений снижалась. Очевидно, что потребление серы и магния растениями может быть ограничена не только недостаточным содержанием этих элементов в почве. Очень высокое (избыточное) содержание обменных форм магния в почве также может оказывать негативное влияние на общий режим питания растений в связи с конкуренцией ионов за поглощение растениями.

Особенности питания растений магнием и серой оказывали определенное влияние и на качество зерна озимой тритикале. Важным показателем качества зерна является содержание сырого белка, которое на всех вариантах удобрений в опыте имело тенденцию к повышению (на 0,4–1,2 %) по мере увеличения содержания обменного магния в почве от низкого до оптимального уровня (табл. 3).

Таблица 3

Содержание и сбор сырого белка в зерне озимой тритикале в зависимости от удобрений и содержания обменного магния в дерново-подзолистой суглинистой почве

Варианты	Сырой белок, %				Сбор белка, кг/га			
	уровни содержания Mg, мг/кг почвы				уровни содержания Mg, мг/кг почвы			
	45–50	115–120	160–165	230–240	45–50	115–120	160–165	230–240
Контроль (б/у)	9,8	10,8	11,0	10,6	439	503	553	471
N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ (фон)	11,4	11,6	11,8	11,4	606	665	691	611
Фон + S ₆₀	11,7	11,9	12,2	11,4	673	727	744	619
Фон + S ₆₀ + Mg _{1,5} S ₂	12,0	12,1	12,4	11,5	706	740	750	624
НСП ₀₅ варианты уровни	1,15 0,97							

При избыточном содержании обменного магния (230–240 мг Mg на кг почвы) содержание сырого белка в зерне тритикале снижалось на 0,4–0,9 %. Внесение серы в почву и некорневая подкормка растений тритикале раствором сульфата магния сопровождалась небольшим, статистически недостоверным повышением содержания сырого белка на 0,3–0,6 % на первых трех уровнях содержания обменного магния в почве. Если принять во внимание повышение урожайности зерна, то оптимизация питания озимой тритикале серой и магнием позволяет заметно

повысить сбор белка с гектара посева даже на фоне полной дозы NPK удобрений с 606 до 750 кг на гектар посева при сборе белка 439 кг/га на контрольном варианте без удобрений.

Содержание серы в зерне озимой тритикале повышалось при увеличении обеспеченности почвы обменным магнием до III уровня. При дальнейшем повышении в почве магния, содержание серы в зерне не изменялось. Так, при внесении $N_{60+30}P_{60}K_{120} + S_{60} + Mg_{1,5} S_2$ концентрация серы в зерне на I уровне обеспеченности почвы обменным магнием составила 0,111 %, на II уровне – 0,117 %, на III уровне – 0,136 %, на IV уровне – 0,123 %. Соотношение N : S в зерне озимой тритикале на варианте фоновой дозы удобрений снижалось при повышении обеспеченности почвы обменным магнием с I до III уровня с 18,7 до 16,1, увеличение концентрации магния в почве до IV уровня не приводило к дальнейшему снижению соотношения N : S в зерне тритикале.

Почвенную диагностику питания озимой тритикале серой и магнием желательно дополнить растительной (листовой) диагностикой по содержанию этих элементов в растениях на ранней стадии развития, в нашем случае в фазу второго междоузлия (код 32 по шкале ВВСН). Результаты химического анализа показывают то количество серы и магния, которое усвоили растения тритикале на основных вариантах опыта (рис. 3).

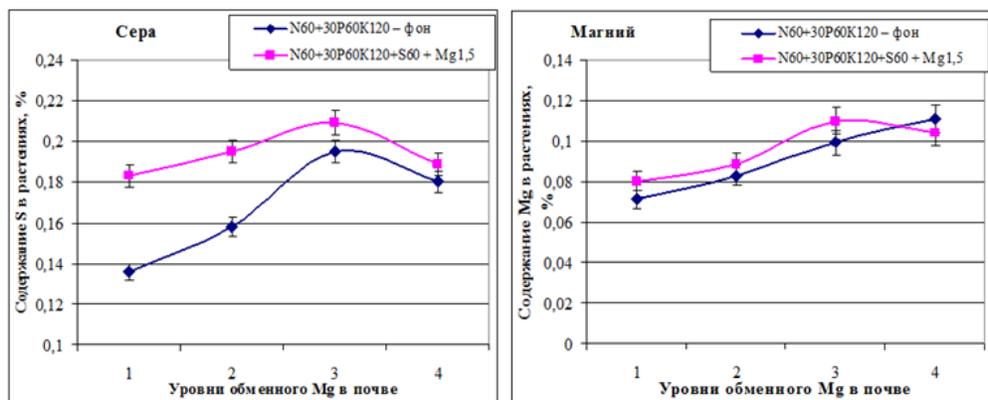


Рис. 3. Содержание серы и магния в сухой массе растений озимой тритикале (код 32 ВВСН) на разных уровнях содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (1 – Mg 45–53 мг/кг, 2 – 115–120 мг/кг, 3 – 160–165 мг/кг, 4 – 230–240 мг/кг почвы)

Проведение некорневой подкормки озимой тритикале сульфатом магния на фоне внесения серы 60 кг/га в почву способствовало более эффективному использованию элементов питания из удобрений растениями. Концентрация серы в растениях повышалась на всех уровнях обеспеченности почвы обменным магнием. На варианте внесения фоновой дозы удобрений $N_{60+30}P_{60}K_{120}$ повышение обеспеченности почвы обменным магнием с I до III уровня сопровождалось увеличением концентрации серы в растениях тритикале в 1,4 раза, на варианте внесения серы и проведении некорневой подкормки сульфатом магния – в 1,2 раза. На IV уровне содержания обменного магния в почве (230–240 мг Mg на кг) отмечалось снижение содержания серы в растениях тритикале. Вероятно,

избыточное содержание обменного магния в почве ограничивает поступление серы из почвы в растения.

Концентрация магния в растениях тритикале повышалась с 0,07 % до 0,11 %, или в 1,6 раза при увеличении обеспеченности почвы обменным магнием с I до IV уровня на варианте фоновой дозы удобрений $N_{60+30}P_{60}K_{120}$. Проведение некорневой подкормки сульфатом магния способствовало дальнейшему небольшому повышению содержания магния в растениях тритикале на трех уровнях содержания магния в почве. На IV уровне наблюдалось незначительное снижение содержания магния в растениях. Одновременно происходило снижение содержания кальция в 1,4 раза с 0,17 % до 0,12 % и калия – в 1,3 раза с 3,13 % до 2,37 % по мере повышения концентрации содержания обменного магния в почве (рис. 4).

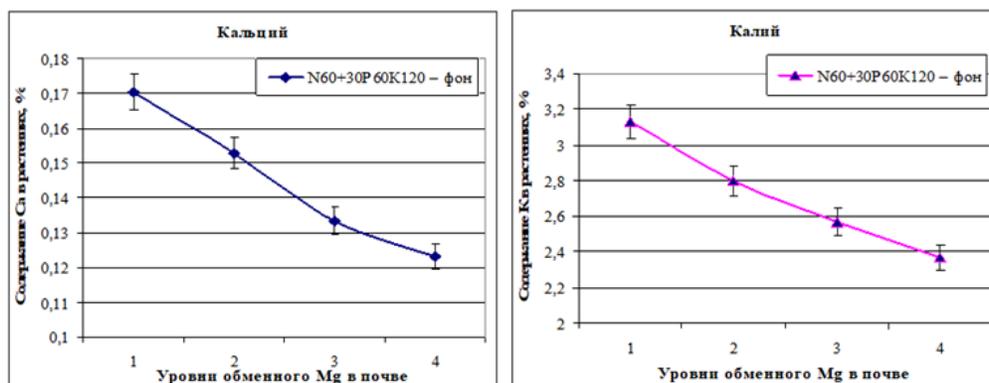


Рис. 4. Содержание Са и К в растениях озимой тритикале (код 32 ВВСН) на разных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы магнием (1 – 45–53 мг/кг, 2 – 115–120 мг/кг, 3 – 160–165 мг/кг, 4 – 230–240 мг/кг почвы)

Итак, содержание обменных форм магния в почве является информативным критерием как для определения диапазона оптимальной обеспеченности тритикале магнием, так и для прогноза эффективности некорневых подкормок растений сульфатом магния. Данные по содержанию серы и магния в растениях в фазу выхода в трубку (второе междоузлие, код 32 по шкале ВВСН), когда еще можно исправить питание растений внесением подкормки, могут быть использованы в качестве параметров растительной диагностики (табл. 4). За оптимальный уровень принято содержание серы и магния в растениях тритикале на вариантах III уровня содержания обменного магния в почве, где получена наибольшая урожайность зерна.

Оптимальным диапазоном содержания серы в растениях озимой тритикале (характерных для сорта Динаро), для урожайности зерна 70 ц/га и более является 0,19–0,20 % серы. Содержание серы в растениях тритикале 0,15–0,16 % – низкое, менее 0,14 % – очень низкое. Соответствующие параметры содержания магния в растениях, примерно, вдвое ниже. Разумеется, что параметры растительной диагностики могут несколько отличаться в зависимости от погодных условий и особенностей возделываемых сортов или гибридов тритикале.

Диагностические параметры питания озимой тритикале, разработанные на основе полевых опытов, дают полную информацию об обеспеченности растений

серой и магнием, позволяют определить поля и участки для дифференцированного размещения культуры, и проведения некорневой подкормки сульфатом магния на ранней стадии развития растений (табл. 5).

Таблица 4

Параметры диагностики питания серой и магнием по содержанию S и Mg в растениях озимой тритикале в фазу выхода в трубку (код 32 ВВСН) и потребность в подкормке раствором сульфатом магния

Уровень обеспеченности	Содержание S	Содержание Mg ²⁺	Некорневая подкормка, Mg-SO ₄ ·7H ₂ O, кг Mg/га, кг S/га
	в % на сухое вещество		
Очень низкий	<0,14	<0,07	Mg1,5 S 2,0
Низкий	0,15–0,16	0,08–0,09	Mg1,5 S 2,0
Оптимальный	0,19–0,20	0,10–0,11	–
Высокий	>0,20	>0,11	–

Таблица 5

Параметры дерново-подзолистой суглинистой почвы для формирования урожайности 70 ц/га и более зерна озимой тритикале

Показатели	Параметры
Содержание обменного магния Mg, (MgO) мг/кг почвы	140–155 (или 230–260)
Содержание обменного кальция Ca, мг/кг почвы	950–1100
Содержание подвижных форм калия K ₂ O, мг/кг почвы	300–350
Эквивалентное соотношение катионов Ca ²⁺ : Mg ²⁺	4,0–5,0
Эквивалентное соотношение катионов K ⁺ : Mg ²⁺	0,6–0,7
Содержание S в растениях (код 32 ВВСН), % на сухую массу	0,19–0,20
Содержание Mg в растениях (код 32 ВВСН), % на сухую массу	0,10–0,11
Потребность в некорневой подкормке сульфатом магния, при содержании обменного магния Mg, (MgO) мг/кг почвы	<140 (или <230)

ВЫВОДЫ

Урожайность зерна озимой тритикале повышалась на 11 % при увеличении содержания обменного магния в дерново-подзолистой суглинистой почве в диапазоне 45–155 мг Mg на кг почвы. Установлен ориентировочный расчетный диапазон содержания обменного магния для формирования урожайности зерна озимой тритикале 70 ц/га на суглинистых почвах: Mg 140–155 мг/кг, при эквивалентном соотношении в почве Ca²⁺ : Mg²⁺ в пределах 4–5 и соотношении K⁺ : Mg²⁺ = 0,6–0,7. Дальнейшее повышение содержания Mg до 240 мг/кг почвы, а также сужение соотношения Ca²⁺ : Mg²⁺ до ≤3, является избыточным и приводит к снижению урожайности зерна на 9 %.

Получены существенные прибавки урожайности зерна озимой тритикале 4,5–5,5 ц/га от внесения серы S₆₀ в почву, в виде сульфата аммония, а также прибавки зерна 5,2–7,1 ц/га от некорневой подкормки растений 7 % раствором сульфата магния (Mg_{1,5}S₂) в сочетании с внесением S₆₀ при низком и среднем содержании обменного магния Mg <140 мг/кг почвы.

Оптимизация питания растений тритикале серой и магнием сопровождается небольшим повышением содержания белка в зерне и позволяет повысить сбор сырого белка на фоне полной дозы $N_{60+30}P_{60}K_{120}$ с 606 до 750 кг/га.

Определены ориентировочные параметры растительной диагностики питания озимой тритикале серой и магнием по содержанию этих элементов в молодых растениях в фазу второго междоузлия (код 32 по шкале ВВСН), которые могут быть использованы для подтверждения необходимости некорневой подкормки растений раствором сульфата магния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кулаковская, Т. Н.* Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т. Н. Кулаковская. – Минск, 1978. – С. 227–232.
2. *Аристархов, А. Н.* Агрохимия серы / А. Н. Аристархов. – М.: ВНИИА, 2007. – 272 с.
3. *Нортон, Р.* Значение серы в питании растений / Р. Нортон, Р. Миккелсен, Т. Дженсен; перевод с англ. В. В. Носов // Питание растений. – № 3. – 2004. – С. 2–5.
4. *Stewart, M.* Pay attention to sulfur / M. Stewart // Plant Nutrition Today. – 2017. – Issue 2 – № 2.
5. *Пироговская, Г. В.* Поступление, потери элементов питания в системе «атмосферные осадки–почва–удобрение–растение» / Г. В. Пироговская. – Минск: Беларуская навука, 2018. – 227 с.
6. *Богдевич, И. М.* Динамика обеспеченности магнием и серой пахотных почв Беларуси и отзывчивость гороха на магниевые и серосодержащие удобрения / И. М. Богдевич, Ю. В. Путятин, И. С. Станилевич; Плодородие почв и эффективное применение удобрений: материалы Междунар. науч.-практич. конференции. Ч. 2; редкол.: В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2021. С. 18–22.
7. *Панасин, В. И.* Сера в земледелии Калининградской области / В. И. Панасин, С. И. Новикова // Плодородие. – № 3. – 2016. – С. 2–4.
8. *Прокошев, В. В.* Магниевые удобрения в интенсивном земледелии. Обзорная информация / В. В. Прокошев [и др.] // ВНИИТЭИагропром, 1987. – 51 с.
9. *Sakmak, I.* Magnesium: a forgotten element in crop production / I. Sakmak, A. M. Yazici // Better Crops. – 2010. – Vol. 94, № 2. – P. 23–25.
10. *Клебанович, Н. В.* Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Василюк. – Минск: БГУ, 2003. – 322 с.
11. Диагностика магниевого питания сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых суглинистых почвах / И. М. Богдевич [и др.] // Вес. нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2016. – № 2. – С. 34–42.
12. *Гриб, С. И.* Генофонд, методы и результаты селекции тритикале в Беларуси / С. И. Гриб // Известия Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграрных наук. – Минск: Беларуская навука. – 2014. – № 3. – С. 40–45.
13. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сборник / Нац. стат. ком. РБ. – 2020. – 178 с.
14. Рекомендации по применению серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры / Г. В. Пироговская [и др.]. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 64 с.

15. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сборник отраслевых регламентов / НАН Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]. – Минск: Беларус. Навука, 2012. – 288 с.

16. Nutritional disorders of plants – development, visual and analytical diagnosis / W. Bergmann [et al.] // Stuttgart, New York. – 1992. – 234 p.

17. Влияние обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием на урожайность яровой тритикале / И. М. Богдевич [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С.130–137.

DIAGNOSTIC OF THE WINTER TRITICALE FOR SULFUR AND MAGNESIUM NUTRITION ON PODZOLUVISOL LOAMY SOIL

I. S. Stanilevich, I. M. Bogdevitch, Yu. V. Putyatin, V. A. Dovnar, Ye. S. Tretiakov

Summary

The results of field experiments on specially prepared 4 levels of exchangeable magnesium content in the podzoluvisol loamy soil in a wide range of (Mg 45–240 mg/kg) are presented. The parameters of soil and plant diagnostic for sulfur and magnesium supply of winter triticale had been developed. The range of the optimal exchangeable magnesium content Mg 140–155 mg/kg of soil and the equivalent ratio of cations ($Ca^{2+} : Mg^{2+} = 4-5$ and $K^+ : Mg^{2+} = 0,6-0,7$) had been found. The obtained results could be used for the choice of the appropriate fields for triticale grain yield of 70 t/ha and more, as well as to identify the need for foliar spray of plants with solution of $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ according to the analysis of soils and plants in the early stages of their development.

Поступила 05.04.2022

УДК 633.15:631.874:631.445.2

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-114-129](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-114-129)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АГРОБИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЁМОВ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КУКУРУЗЫ НА ЗЕЛЁНУЮ МАССУ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш, А. А. Грачёва, О. В. Симанков, С. М. Зенькова

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

ВВЕДЕНИЕ

В Беларуси кукуруза является важной кормовой культурой, которая используется для производства зелёной массы, силоса и зернофуража. Среди кормовых культур по продуктивности ей нет равных: по выходу кормовых единиц с 1 га она превосходит зерновые в среднем в 1,9 и многолетние травы – в 1,7 раза.

По статистическим данным за 2020 год в республике общая уборочная площадь кукурузы достигла 1,2 млн га, из них на силос – более 1 млн га. В последние годы благодаря подбору новых гибридов и усовершенствованным технологиям в Беларуси расширились посевные площади и повысилась урожайность кукурузы, возделываемой на зелёную массу. В системе сортоиспытания, передовых сельхозпредприятиях и экспериментальных опытах продуктивность кукурузы достигает 13 т к. ед./га и более. Однако в целом по стране потенциал культуры реализуется менее чем наполовину – за период 2016–2020 гг. средняя урожайность зелёной массы кукурузы составила 247 ц/га, или 5 т к. ед./га [1]. Недобор урожая происходит в основном из-за нарушений технологии выращивания культуры: неправильного подбора систем удобрения, почв, гибридов, средств защиты растений, сроков сева и уборки.

Особое место в резервах повышения продуктивности кукурузы занимает совершенствование технологий возделывания её на дерново-подзолистых супесчаных почвах, площадь которых в Республике Беларусь составляет 45,2 % пахотных земель, из них почвы с содержанием подвижных фосфатов 151–250 и калия 201–300 мг/кг почвы занимают 31,3 и 28,1 % соответственно [2].

При возделывании кукурузы рекомендуется вносить органические удобрения, что указывает на целесообразность размещения севооборотов с насыщением пропашными культурами вблизи животноводческих комплексов и ферм, обусловленную высокой стоимостью транспортировки органических удобрений на дальние расстояния [2]. Однако на практике, в силу объективных причин, кукуруза часто возделывается на полях, удаленных от животноводческих комплексов, а транспортировка туда органических удобрений экономически нецелесообразна. Альтернативой органическим удобрениям в данном случае может явиться сидерация (применение сидератных культур). Наиболее перспективными для этой цели считаются культуры из семейства капустных, как в наибольшей мере отвечающих основным требованиям, предъявляемым к промежуточным культурам. При заделке подвяленной зелёной массы сидерата с корневыми остатками отношение углерода к азоту составляет 1: 20–30, что близко к показателю в подстилочном навозе [3]. Кроме того, сидерация улучшает агрохимические, физико-химические и физические свойства почвы, повышает её биологическую активность, способствует экологическому оздоровлению почвы и повышению урожайности сельскохозяйственных культур [4, 5]. Сравнительная оценка экономической эффективности использования органических удобрений и сидерата, проведенная российскими исследователями, показала предпочтительность использования последнего в пределах расстояния поля более 8 км [6].

Цель исследований заключается в установлении наиболее эффективных агротехнологических приёмов возделывания кукурузы на зелёную массу на дерново-подзолистой супесчаной почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2020–2021 гг. в стационарном технологическом опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы на начало проведения исследований: рН – 5,69,

содержание гумуса – 2,5 %, подвижные формы фосфатов – 184 мг/кг и калия – 221 мг/кг почвы. Почва характеризуется оптимальным для сельскохозяйственных культур уровнем кислотности, средним – гумуса, повышенным – фосфора и калия.

Кукурузу Шавокс F1 (среднеранний гибрид) возделывали в двух последовательно открываемых полях по 3-м технологиям на 2-х фонах использования предшественника и 2-х способах основной осенней обработки почвы.

Применяли следующие технологии возделывания кукурузы:

– **минеральная**: предшественник – озимая пшеница; обработка почвы – вспашка, предпосевная культивация на глубину 10–12 см;

– **органоминеральная**: предшественник – озимая пшеница, внесение 60 т/га солоमистого навоза КРС; обработка почвы – вспашка, предпосевная культивация на глубину 10–12 см;

– **биологизированная**: предшественник – пелюшко-овсяная смесь на зелёную массу + поукосно редька масличная на зелёное удобрение с осенней заделкой всей массы в почву дисковыми боронами на глубину 10–12 см, предпосевная культивация на глубину 10–12 см (рис. 1–4).



Рис. 1. Биомасса пелюшко-овсяной смеси



Рис. 2. Посевы редьки масличной после укоса пелюшко-овсяной смеси



Рис. 3. Биомасса редьки масличной в фазе цветения-начала образования стручков перед измельчением



Рис. 4. Подвяливание измельчённой биомассы редьки масличной перед заделкой в почву

Минеральные удобрения в виде карбамида, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия применяли в основное внесение, кроме того, карбамид – в подкормки в фазу 5–6 листьев культуры согласно схеме опыта. Микроэлементы бор (0,10 кг д. в./га) и цинк (0,15 кг д. в./га) вносили в виде микроудобрения Микро-

Стим-Цинк, Бор (2,0 л/га) в некорневую подкормку в фазу 5–6 листьев культуры. В ту же стадию проведены подкормки стимуляторами (регуляторами) роста Экогум АФ в дозе 1 л/га и Экосил в дозе 0,10 л/га. Кроме того, в фазу 8–10 листьев культуры согласно схеме опыта проведена подкормка стимулятором роста Экосил Плюс в дозе 0,1 л/га.

Агротехника возделывания – общепринятая для Центральной зоны Беларуси для дерново-подзолистых супесчаных почв.

Агрохимический анализ почвенных образцов включал определение: pH_{KCl} – потенциометрическим методом в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26483-85); содержания гумуса по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213 – 84); подвижных форм P_2O_5 и K_2O в 0,2 М вытяжке HCl по методу А. Г. Кирсанова с последующим определением фосфора фотоколориметрическим методом, калия – методом пламенной фотометрии (ГОСТ 26207 – 91).

С 60 т/га солоमистого навоза влажностью 76 % на 1 га пашни внесено: 336 кг азота, 234 кг фосфора и 372 кг калия. Из подстилочного навоза первой культурой используется 20–25 % азота, 25–30 % фосфора и 50–60 % калия [4].

С 5,6 т/га сухой биомассы редьки масличной в почву на 1 га поступило: 100 кг азота, 47 кг фосфора и 151 кг калия. Из научной литературы известно, что степень минерализации питательных веществ из сидерата в первый год использования в 2 раза выше, чем из подстилочного навоза [7]. В наших расчётах степень использования основных элементов питания из редьки масличной взята в размере 70 %.

Расчёт экономической эффективности внесения удобрений [8] выполнен на прибавку урожая от применяемых агротехнологических приёмов в ценах на 2021 г. в долларовом эквиваленте: транспортировка до 5 км и внесение подстилочного навоза КРС – 3,5 USD/т, стоимость кормовой единицы взята в размере 80 USD/т, затраты на уборку и доработку прибавки урожая – 25 USD/т. При возделывании кукурузы на сидератном фоне учитывали дополнительные затраты: на закупку семян редьки масличной – 50 USD/га и посев – 9,4 USD/га. Кроме того, от общей суммы затрат на этом фоне была вычтена разница между затратами на вспашку и культивацию – 20,6 USD/га. Затраты на органические удобрения под кукурузу, как первую культуру севооборота, взяты в размере 70 %, сидерата – 80 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Важное значение для развития растений кукурузы имеет количество и распределение осадков, а также температурный режим. За весенне-летний период ГТК по месяцам изменялся от 0,6 до > 1,6, а в целом вегетационные периоды 2020–2021 гг. характеризуются как избыточно увлажнённые.

Считается, что для выращивания кукурузы на зелёную массу сумма активных температур должна составлять 1800–2400 °С, а оптимальная температура, при которой растения интенсивно накапливают сухое вещество, +18 – +20 °С [9, 10].

Погодные условия вегетационного периода 2020 г. с несколько пониженной тепло- и хорошей влагообеспеченностью были достаточно благоприятны для формирования высокой продуктивности зелёной массы кукурузы (до 810 ц/га). Обильные осадки в июле, превышающие норму в 2 раза, на фоне благоприятного температурного режима обусловили интенсивное нарастание биомассы (табл. 1). Сумма активных температур выше 10 °С за вегетацию составила 1941 °С.

Влияние комплексного использования агроботехнологических приемов на урожайность и качество зелёной массы кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве

Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка к фону, ц/га	Оплата 1 кг НРК зелёной массой, ц	Выход сырого белка, ц/га	Выход кормовых единиц, т/га
	2020 г.	2021 г.	Ø				
Без удобрений – Фон 1	580	414	497	–	–	22,9	9,9
$N_{90}P_{90}K_{150} + (N_{60}B_{0,10}Zn_{0,15})'$ – базовый вариант	646	543	595	98	25	31,8	11,9
$N_{90}P_{90}K_{150} + (N_{60}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})'$	659	540	600	103	26	30,7	12,0
$N_{90}P_{90}K_{150} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})' + (N_{30} + PP^{***})''$	694	594	644	147	38	32,7	12,9
$N_{60}P_{90}K_{150} + (N_{60}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})' + (N_{30} + PP^{***})''$	707	590	649	152	39	30,0	13,0
Соломистый навоз (СН) – Фон 2	675	526	601	–	–	27,6	12,0
$СН + N_{60}P_{60}K_{120} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15})'$	722	666	694	93	35	33,8	13,9
$СН + N_{60}P_{60}K_{120} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})'$	731	665	698	97	36	36,5	14,0
$СН + N_{60}P_{60}K_{120} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})' + (N_{30} + PP^{***})''$	793	675	734	133	45	36,3	14,7
$СН + N_{60}P_{90}K_{150} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})' + (N_{30} + PP^{***})''$	810	682	746	145	41	39,9	14,9
Сидерат редьки масличной (С) – Фон 3	632	470	551	–	–	26,9	11,0
$С + N_{90}P_{90}K_{150} + (N_{60}B_{0,10}Zn_{0,15})'$	691	572	632	81	21	34,7	12,6
$С + N_{90}P_{90}K_{150} + (N_{60}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})'$	705	561	633	82	21	30,5	12,7
$С + N_{90}P_{90}K_{150} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})' + (N_{30} + PP^{***})''$	748	602	675	124	32	35,3	13,5
$С + N_{60}P_{60}K_{120} + (N_{60}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})' + (N_{30} + PP^{***})''$	739	563	651	100	31	34,0	13,0
НСР _{0,5} (удобрения)	56	43	76	–	–	–	–
НСР _{0,5} (фон)	42	–	52	–	–	–	–

' подкормка посевов кукурузы в фазу 5–6 листьев; '' подкормка посевов кукурузы в фазу 8–10 листьев; PP – регуляторы роста растений: * Экосил; ** Экогум АФ; ***Экосил Плюс.

Напротив, гидротермические условия 2021 г. значительно отклонялись от нормы практически на протяжении всего вегетационного периода. Выпадение обильных осадков в мае (136 мм/месяц) на фоне несколько пониженных температур в начале роста растений угнетали развитие растений кукурузы, поскольку требо-

вательность кукурузы к влаге в начале вегетации невысокая (около 30 мм осадков/месяц). Во второй период вегетации (июль, август) количество осадков было практически на уровне среднемноголетнего показателя, кукуруза не испытывала дефицита во влаге. Однако сумма активных температур за вегетацию составила всего 1508 °С, что обусловило снижение темпов формирования биомассы на 18 % по сравнению с предшествующим годом (табл. 1).

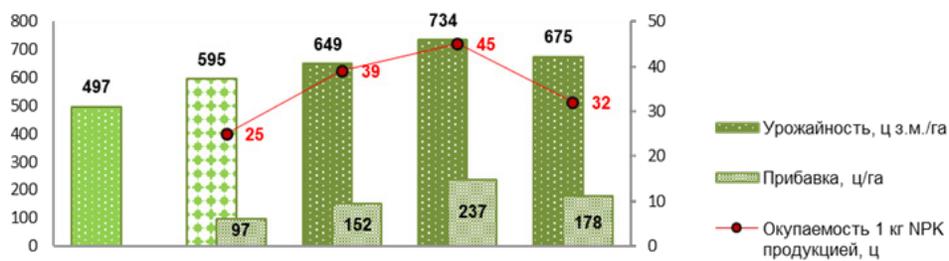
Одним из основных факторов интенсификации сельскохозяйственного сектора экономики является применение в практике растениеводства различных удобрений, за счёт которых формируется до 56 % урожая.

Установлено, что за счёт почвенного плодородия урожайность зелёной массы кукурузы в среднем за 2 года исследований составила 497 ц/га (табл. 1).

Внесение соломистого навоза обеспечило получение дополнительного урожая 104 ц/га (21 %). За счёт запашки сидерата урожайность возросла на 54 ц/га, или на 11 % по отношению к варианту без удобрений.

При комплексном применении полного минерального удобрения и однократной азотной подкормки в сочетании с микроудобрением в фазу 5–6 листьев кукурузы прибавки урожая в зависимости от фона составили 81–98 ц/га, при окупаемости 1 кг NPK 21–35 ц зелёной массы. Дополнительное введение в подкормку в эту фазу регуляторов роста Экосил и Экогум АФ обусловило несущественный рост урожайности зелёной массы по опыту (1–5 ц/га) (табл. 1).

Наибольшее влияние на повышение урожайности зелёной массы кукурузы отмечено от двукратных комплексных подкормок посевов в фазы 5–6 и 8–10 листьев культуры (рис. 5). **На минеральном фоне** комплексное применение полной минеральной системы ($N_{60-90}P_{90}K_{150}$) в сочетании с двукратными азотными подкормками ($N_{30/60+30}$), микроудобрением и стимуляторами роста обусловило формирование продуктивности зелёной массы кукурузы на уровне 644–649 ц/га. При этом каждый килограмм минеральных удобрений окупался 38–39 ц/га урожая (табл. 1, рис. 5). Перераспределение доз азотных удобрений с $N_{90+30+30}$ на $N_{60+60+30}$ не оказало существенного влияния на изменение уровня урожайности культуры.



Вариант системы удобрения:

1 – контроль (без NPK);

2 – $N_{90}P_{90}K_{150} + (N_{60}B_{0,10}Zn_{0,15})'$ – базовый;

3 – $N_{60}P_{90}K_{150} + (N_{60}B_{0,10}Zn_{0,15} + \text{Экогум АФ} + \text{Экосил})' + (N_{30} + \text{Экосил Плюс})''$;

4 – Солоmistый навоз + $N_{60}P_{60}K_{120} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + \text{Экогум АФ} + \text{Экосил})' + (N_{30} + \text{Экосил Плюс})''$;

5 – Сидерат + $N_{90}P_{90}K_{150} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + \text{Экогум АФ} + \text{Экосил})' + (N_{30} + \text{Экосил Плюс})''$

Рис. 5. Агрономическая эффективность систем удобрения кукурузы на зелёную массу

Использование **редьки масличной в качестве зелёного удобрения** способствовало достоверному повышению урожайности зелёной массы в среднем на 17 % по отношению к неудобренному варианту. Комплексное применение на этом фоне полной минеральной системы удобрения ($N_{60-90}P_{60-90}K_{120-150}$) в сочетании с двукратными азотными подкормками ($N_{30/60+30}$), микроудобрением и стимуляторами роста обеспечило формирование продуктивности зелёной массы кукурузы на уровне 651–675 ц/га (табл. 1, рис. 5). При перераспределении доз азотных удобрений с $N_{90+30+30}$ (вариант 14) на $N_{60+60+30}$ (вариант 15) и уменьшении доз минеральных удобрений на $P_{30}K_{30}$ отмечено снижение урожайности зелёной массы кукурузы на 24 ц/га, однако различия недостоверны. При этом каждый килограмм минеральных удобрений при таких системах удобрения окупался 31–32 ц/га урожая.

Результаты проведенных исследований показали, что эффективность различных агробиологических приёмов в большей мере проявилась **на фоне внесения 60 т/га солоमистого навоза**. Отмечено, что уменьшение суммарной дозы фосфорных и калийных удобрений на органическом фоне с 240 ($P_{90}K_{150}$) до 180 кг д. в./га ($P_{60}K_{120}$) (по сравнению с минеральной системой удобрения) не повлияло на снижение урожайности культуры. Наоборот, разница в минеральном питании компенсировалась питательными элементами, вносимыми с навозом, и выражалась в повышении урожайности зелёной массы в среднем по фону на 16 %. Там же, где дозы минеральных удобрений не корректировались ($P_{90}K_{150}$), наблюдалась лишь тенденция роста урожайности культуры на 13 ц/га.

При возделывании кукурузы на фоне соломистого навоза наиболее эффективным агроприёмом оказалось комплексное применение минеральных удобрений ($N_{60+30+30}P_{60-90}K_{120-150}$) в сочетании с микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор, стимуляторами роста Экогум АФ и Экосил – в первую подкормку в фазу 5–6 листьев и Экосил Плюс – во вторую подкормку в фазу 8–10 листьев кукурузы, за счёт чего получено 734–746 ц/га зелёной массы, при окупаемости 1 кг минеральных удобрений 41–45 ц/га зелёной массы кукурузы (табл. 1, рис. 5).

Содержание белка в зелёной массе кукурузы зависело от содержания азота в растительной массе и уровня урожайности сухого вещества. В среднем за 2 года исследований содержание сырого белка по опыту варьировало в пределах 11,5–13,8 %. На минеральном фоне данный показатель изменялся в пределах 11,5–13,4 % с максимальным значением в базовом варианте. В лучших по продуктивности вариантах с применением $N_{60/90}P_{90}K_{150} + (N_{60/30} + м/у + РР^* + РР^{**})' + (N_{30} + РР^{***})''$ при урожайности зелёной массы 644–649 ц/га выход белка и кормовых единиц составил 30,0–32,7 ц/га и 12,9–13,0 т к. ед./га соответственно (табл. 1).

При использовании одного лишь навоза отмечено минимальное содержание белка в зелёной массе – 11,5 %. Применяемые системы удобрения достоверно ($НСР_{05} 0,7$) повышали данный показатель до 12,2–13,4 %. При комплексном применении макро- и микроудобрений в сочетании с двукратными азотными подкормками и стимуляторами роста на фоне внесении соломистого навоза и урожайности зелёной массы кукурузы на уровне 734–746 ц/га выход белка и кормовых единиц составили 36,3–39,9 ц/га и 14,7–14,9 т к. ед./га соответственно.

В варианте с запашкой редьки масличной содержание сырого белка составило 12,2 %. Применяемые на этом фоне системы удобрения способствовали достоверному увеличению данного показателя до 13,1–13,8 %, за исключением варианта с применением комплексной однократной подкормки (12,1 %).

При применении на сидератном фоне полной минеральной системы в сочетании с двукратными азотными подкормками, микроудобрениями и стимуляторами роста при уровне продуктивности зелёной массы кукурузы 651–675 ц/га выход белка и кормовых единиц составили 34,0–35,3 ц/га и 13,0–13,5 т к. ед./га соответственно.

При разработке агротехники возделывания кукурузы на зелёную массу важное значение имеет оценка экономической целесообразности проведения тех или иных мероприятий. Расчёты показали, что показатели экономической эффективности возделывания кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве зависели от уровня интенсификации её возделывания. За счёт применения полной системы удобрения в комплексе с азотной подкормкой (N_{60}) и микроудобрением дополнительный выход кормовых единиц составил 2,0 т/га, что обусловило убыточность данного агроприёма. При такой системе удобрения себестоимость прибавки 1 т к. ед. продукции составила 101 USD (табл. 2).

Дополнительное совместное применение однократных некорневых подкормок стимуляторами роста в сочетании с корневой подкормкой азотом (N_{60}) несущественно повышало продуктивность зелёной массы кукурузы, в связи с чем такая система удобрения также убыточна при высокой себестоимости прибавки 1 т к. ед. продукции (100 USD).

Отмечено, что введение в систему удобрения второй некорневой подкормки посевов регулятором роста Экосил Плюс в комплексе с корневой азотной подкормкой (N_{30}) обеспечило получение дополнительных 3,0 т к. ед., условной прибыли и рентабельности соответственно 3,8 USD/га и 2 % при снижении себестоимости на 21 USD за 1 т дополнительно полученной продукции.

Перераспределение доз азотных удобрений (с $N_{90-30-30}$ на $N_{60-60-30}$) способствовало улучшению питательного режима кукурузы в течение вегетации, что обусловило повышение продуктивности зелёной массы кукурузы до 13,0 т к. ед./га, рост условной прибыли (9,3 USD/га) и рентабельности (4 %) при себестоимости прибавки 1 т к. ед. продукции на уровне 77 USD.

Учитывая высокий уровень затрат фосфорных и калийных удобрений на формирование продуктивности кукурузы на зелёную массу, возделываемую на дерново-подзолистой супесчаной почве без применения органических удобрений, рекомендуется при расчёте доз фосфорных и калийных удобрений использовать коэффициент возмещения выноса 100 % до очередного тура крупномасштабного агрохимического обследования почв.

При возделывании кукурузы на фоне солоमистого навоза, полученных прибавок продуктивности (4,0–4,1 т к. ед./га), а также снижение доз минеральных удобрений на $N_{60}P_{30}K_{30}$ оказались недостаточным для покрытия затрат на закупку, доставку и внесение минеральных и органических удобрений – данные агроприёмы убыточны.

Применение $N_{60+30+30}P_{60}K_{120}$ и некорневых подкормок микроудобрением и регуляторами роста обеспечило получение: 4,8 т к. ед./га прибавки, 14,6 USD/га чистого дохода, 1 % рентабельности и 77 USD себестоимости прибавки 1 к. ед. урожая.

Повышение доз фосфорных и калийных удобрений на $P_{30}K_{30}$ не оказало существенного влияния на повышение прибавки (+0,2 т к. ед./га), обусловив получение с гектара посевной площади 3,2 USD условного чистого дохода, 1 % рентабельности и себестоимости прибавки 1 т к. ед. на уровне 79 USD.

Исследования российских учёных показали, что применение органических удобрений экономически менее целесообразно по сравнению с использованием сидерата в качестве зелёного удобрения. Однако, это утверждение справедливо, когда под возделываемую культуру на фоне задискованной зелёной массы сидерата не вносят минеральные удобрения [6].

Наши расчёты согласуются с данным утверждением: при наименьших по опыту прибавках продуктивности (1,1 т/га) и затратах (54,4 USD/га) показатели условной прибыли и рентабельности самые высокие – 33,6 USD/га и 62 % соответственно. При дополнительном внесении минеральных удобрений по сидератному фону в дозах $N_{150}P_{60/90}K_{120/150}B_{0,10}Zn_{0,15}$ отдельно и в комплексе с регуляторами роста, затраты возросли в 4,4–5,0 раз. Расчёты показали, что полученных прибавок продуктивности кукурузы (2,7–2,8 т к. ед./га) оказалось недостаточным для покрытия затрат на возделывание редьки масличной. Себестоимость 1 т к. ед. прибавки продукции составила при этом 91 USD.

Эффективной системой удобрения на сидератном фоне оказалось применение комплекса двукратных азотных подкормок (N_{30+30}) и некорневых подкормок микроудобрением и стимуляторами роста, что обеспечило получение 3,6 т к. ед./га прибавки урожая, 9,9 USD/га условной прибыли, 4 % рентабельности и снижение себестоимости прибавки 1 т к. ед. на 14 USD. Уменьшение доз фосфорных и калийных удобрений на $P_{30}K_{30}$ обусловило снижение полученной дополнительной продукции (–0,5 т к. ед./га), получение 5,2 USD/га условного чистого дохода, 2 % рентабельности и себестоимости прибавки 1 т к. ед. на уровне 78 USD.

Для выявления наиболее эффективных систем удобрения кукурузы выполнен химический анализ растительных образцов, рассчитаны хозяйственный и удельный вынос элементов питания с урожаем и коэффициенты их возмещения (табл. 3).

Установлено, что различные системы удобрения оказывают значительное влияние на потребление элементов минерального питания растениями кукурузы и их вынос с урожаем зелёной массы. В зависимости от уровня урожайности хозяйственный вынос элементов питания колебался в пределах: азота – от 228 до 399 кг/га, фосфора – 80–129 кг/га, калия – 226–388 кг/га. В настоящее время для расчёта доз удобрений производству рекомендуются следующие усреднённые нормативы удельного выноса элементов питания зелёной массой кукурузы: азота – 3,3 кг/т, фосфора – 1,2 кг/т, калия – 4,2 кг/т [11]. В наших исследованиях удельный вынос элементов питания изменялся в пределах: азота – 4,6–5,6, фосфора – 1,6–1,8, калия – 3,8–5,2 кг/т (табл. 3).

При формировании наиболее высокой по опыту урожайности зелёной массы кукурузы (734–746 ц/га) в вариантах с применением $N_{60}P_{60}K_{120/150} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**}) + (N_{30} + PP^{***})$ на фоне солоमистого навоза хозяйственный вынос азота, фосфора и калия составил в среднем 381 кг/га, 128 и 367 кг/га, а удельный вынос – 5,1 кг/т, 1,7 и 5,0 кг/т соответственно.

Для расчёта доз внесения удобрений на планируемую урожайность применяют метод коэффициентов возмещения выноса. Величина коэффициентов возмещения зависит от типа и гранулометрического состава почв, запасов в них элементов минерального питания, доз применяемых удобрений, биологических особенностей культур и сложившихся погодных условий. На почвах с оптимальным содержанием фосфора и калия (200–300 мг/кг почвы) при расчёте доз минеральных удобрений предусмотрена 100 % (коэффициент 1,0) компенсация выноса этих элементов с планируемой урожайностью сельскохозяйственных культур

[10]. При возделывании кукурузы по минеральной технологии при экономически обоснованной продуктивности 13 т к. ед./га коэффициенты возмещения выноса фосфора и калия составили 0,8 и 0,6 соответственно, что свидетельствует о неблагоприятно складывающемся балансе элементов питания и может в дальнейшем привести к снижению почвенного плодородия.

Таблица 2

Экономическая эффективность применения технологий возделывания кукурузы на зелёную массу на дерново-подзолистой супесчаной почве (среднее за 2020–2021 гг.)

Вариант	Прибавка к контролю, т к. ед./га	Стоимость доп. продукции, USD/т	Затраты на удобрения и доработку урожая, USD/га	Условная прибыль / убыток, USD/га	Рентабельность, %	Себестоимость, USD/т
Вспашка (20–22 см)						
Без удобрений (контроль) – Фон 1			–			
$N_{90}P_{90}K_{150} + (N_{60}B_{0,10}Zn_{0,15})'$	2,0	160,0	201,9	–41,9	–	101
$N_{90}P_{90}K_{150} + (N_{60}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})'$	2,1	168,0	210,7	–42,7	–	100
$N_{90}P_{90}K_{150} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})' + (N_{30} + PP^{***})''$	3,0	240,0	236,2	3,8	2	79
$N_{60}P_{90}K_{150} + (N_{60}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})' + (N_{30} + PP^{***})''$	3,1	248,0	238,7	9,3	4	77
Вспашка (20–22 см)						
Соломистый навоз (СН) – Фон 2	2,1	168,0	178,5	–10,5	–	85
$СН + N_{60}P_{60}K_{120} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15})'$	4,0	320,0	324,7	–4,7	–	81
$СН + N_{60}P_{60}K_{120} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})'$	4,1	328,0	349,0	–21,0	–	85
$СН + N_{60}P_{60}K_{120} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})' + (N_{30} + PP^{***})''$	4,8	384,0	369,4	14,6	4	77
$СН + N_{60}P_{90}K_{150} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})' + (N_{30} + PP^{***})''$	5,0	400,0	396,8	3,2	1	79
Дискование (10–12 см)						
Сидерат (С) – Фон 3	1,1	88,0	54,4	33,6	62	50
$С + N_{90}P_{90}K_{150} + (N_{60}B_{0,10}Zn_{0,15})'$	2,7	216,0	246,3	–30,3	–	91
$С + N_{90}P_{90}K_{150} + (N_{60}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})'$	2,8	224,0	255,1	–31,1	–	91
$С + N_{90}P_{90}K_{150} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})' + (N_{30} + PP^{***})''$	3,6	288,0	278,1	9,9	4	77
$С + N_{60}P_{60}K_{120} + (N_{60}B_{0,10}Zn_{0,15} + PP^* + PP^{**})' + (N_{30} + PP^{***})''$	3,1	248,0	242,8	5,2	2	78

' подкормка посевов кукурузы в фазу 5–6 листьев; '' подкормка посевов кукурузы в фазу 8–10 листьев; регуляторы роста растений – PP: * Экосил; ** Экогум АФ; *** Экосил Плюс.

Таблица 3
Влияние комплексного использования агротехнологических приемов на вынос и коэффициент возмещения основных элементов питания зелёной массой кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве, среднее за 2 года

Вариант	Урожай- ность, ц/га	Вынос с урожаем, кг/га			Удельный вынос, кг/т			Коэффициент возмещения		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без удобрений – Фон 1	497	228	80	226	4,6	1,6	4,5	–	–	–
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₅₀ + (N ₆₀ B _{0,10} Zn _{0,15})'	595	318	102	280	5,3	1,7	4,7	0,5	0,9	0,5
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₅₀ + (N ₆₀ B _{0,10} Zn _{0,15} + PP* + БАВ**)	600	308	104	272	5,1	1,7	4,5	0,5	0,9	0,6
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₅₀ + (N ₃₀ B _{0,10} Zn _{0,15} + PP* + PP**)' + (N ₃₀ +PP***)"	644	326	104	305	5,1	1,6	4,7	0,5	0,9	0,5
N ₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ + (N ₆₀ B _{0,10} Zn _{0,15} + PP* + PP**)' + (N ₃₀ +PP***)"	649	299	107	275	4,6	1,7	4,2	0,5	0,8	0,6
Соломистый навоз (СН) – Фон 2	601	276	95	301	4,6	1,6	5,0	0,3	0,9	0,6
СН + N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + (N ₃₀ B _{0,10} Zn _{0,15})'	694	337	116	317	4,9	1,7	4,6	0,5	0,9	1,0
СН + N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + (N ₃₀ B _{0,10} Zn _{0,15} + PP* + PP**)'	698	365	117	304	5,2	1,7	4,3	0,5	0,9	1,1
СН + N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + (N ₃₀ B _{0,10} Zn _{0,15} + PP* + PP**)' + (N ₃₀ +PP***)"	734	362	126	346	4,9	1,7	4,7	0,5	0,9	0,9
СН + N ₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ + (N ₃₀ B _{0,10} Zn _{0,15} + PP* + PP**)' + (N ₃₀ +PP***)"	746	399	129	388	5,3	1,7	5,2	0,5	1,3	0,9
Сидерат (С) – Фон 3	551	268	98	211	4,9	1,8	3,8	0,3	0,3	0,5
С + N ₉₀ P ₉₀ K ₁₅₀ + (N ₆₀ B _{0,10} Zn _{0,15})'	632	346	108	320	5,5	1,7	5,1	0,6	1,1	0,8
С + N ₉₀ P ₉₀ K ₁₅₀ + (N ₆₀ B _{0,10} Zn _{0,15} + PP* + PP**)'	633	305	103	271	4,8	1,6	4,3	0,7	1,2	1,1
С + N ₉₀ P ₉₀ K ₁₅₀ + (N ₃₀ B _{0,10} Zn _{0,15} + PP* + PP**)' + (N ₃₀ +PP***)"	675	381	121	327	5,6	1,8	4,8	0,6	1,0	0,8
С + N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + (N ₆₀ B _{0,10} Zn _{0,15} + PP* + PP**)' + (N ₃₀ +PP***)"	651	339	110	276	5,2	1,7	4,2	0,7	0,8	1,2

' подкормка посевов кукурузы в фазу 5–6 листьев;

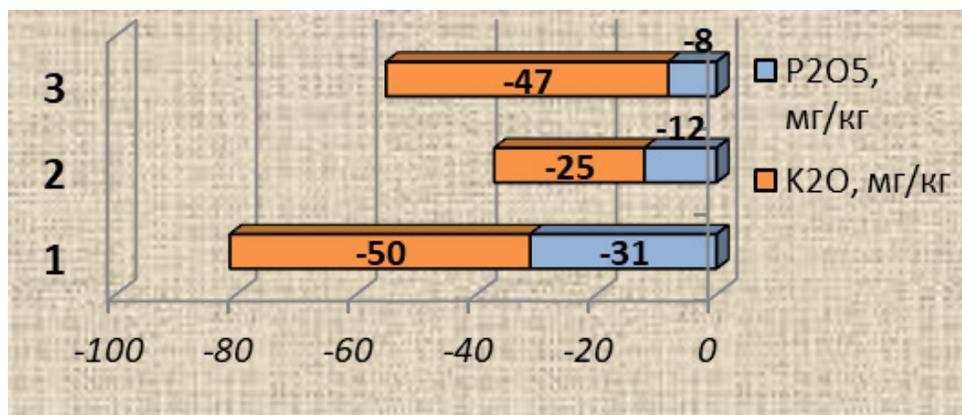
" подкормка посевов кукурузы в фазу 8–10 листьев;

регуляторы роста растений – PP: * Экосил; ** Экосил АФ; ***Экосил Плюс.

При органоминеральной системе удобрения при максимальной по опыту продуктивности кукурузы 14,7 т к. ед./га коэффициенты возмещения выноса элементов питания наиболее приближены к рекомендуемым и составили 0,9 по фосфору и калию.

Высокая доступность элементов питания из быстроминерализующейся биомассы сидерата и минеральных удобрений при продуктивности культуры 13,5 т к. ед./га обусловила высокие коэффициенты возмещения выноса фосфора (1,0) и калия (0,8). Для оценки эффективности агробиотехнологических приемов при возделывании кукурузы важное значение имеет влияние различных систем удобрения на изменение агрохимических свойств почвы, в частности динамики содержания подвижных соединений фосфора и калия.

Перед закладкой опыта содержание подвижного фосфора в соответствии с градацией, характеризовалось как повышенное (184 мг/кг почвы). В результате агрохимического анализа почвенных образцов, отобранных поделяночно осенью, перед закладкой опыта и после уборки культуры, установлено, что к уборке урожая на минеральном фоне в варианте без внесения минеральных удобрений потери содержания подвижных фосфатов составили 31 мг/кг почвы (рис. 6).



Вариант системы удобрения:

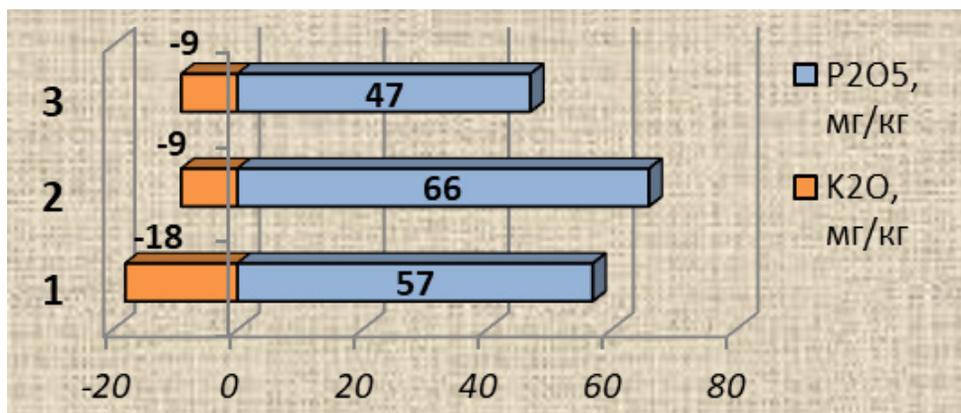
1 – контроль (без NPK)

2 – N₉₀P₉₀K₁₅₀ + (N₃₀B_{0,10}Zn_{0,15} + Экогум АФ + Экосил)' + (N₃₀+ Экосил Плюс)''

3 – N₆₀P₉₀K₁₅₀ + (N₆₀B_{0,10}Zn_{0,15} + Экогум АФ + Экосил)' + (N₃₀+ Экосил Плюс)''

Рис. 6. Динамика содержания подвижных фосфатов и калия в дерново-подзолистой супесчаной почве при минеральной системе удобрения кукурузы на зеленую массу

Применение минеральных систем удобрения способствовало сдерживанию темпов потерь фосфатов до 8–12 мг/кг/ почвы в год. При этом фоновое внесение навоза и применение сидерата способствовало повышению количества подвижных фосфатов на 57 и 21 мг/кг почвы соответственно. Содержание в почве подвижных форм фосфора в вариантах с органоминеральной и биологизированной системами удобрения (при внесении минеральных удобрений) увеличилось на 47–66 и 48–58 мг/кг почвы соответственно (рис. 7, 8).



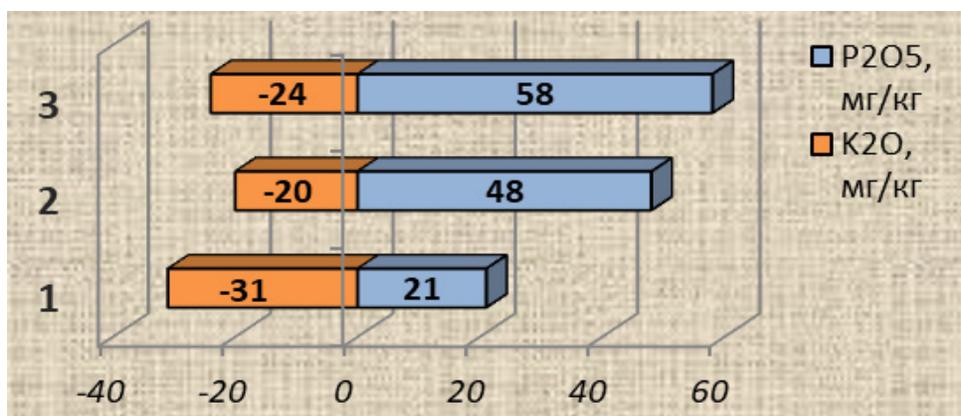
Вариант системы удобрения:

1 – Соломистый навоз (СН)

2 – СН + N₆₀P₆₀K₁₂₀ + (N₃₀B_{0,10}Zn_{0,15} + Экогум АФ + Экосил)' + (N₃₀+ Экосил Плюс)"

3 – СН + N₆₀P₉₀K₁₅₀ + (N₃₀B_{0,10}Zn_{0,15} + Экогум АФ + Экосил)' + (N₃₀+ Экосил Плюс)"

Рис. 7. Динамика содержания подвижных фосфатов и калия в дерново-подзолистой супесчаной почве при органоминеральной системе удобрения кукурузы на зелёную массу



Вариант системы удобрения:

1 – Сидерат (С)

2 – С + N₉₀P₉₀K₁₅₀ + (N₃₀B_{0,10}Zn_{0,15} + Экогум АФ + Экосил)' + (N₃₀+ Экосил Плюс)"

3 – С + N₆₀P₆₀K₁₂₀ + (N₆₀B_{0,10}Zn_{0,15} + Экогум АФ + Экосил)' + (N₃₀+ Экосил Плюс)"

Рис. 8. Динамика содержания подвижных фосфатов и калия в дерново-подзолистой супесчаной почве при биологизированной системе удобрения кукурузы на зелёную массу

Результаты исследований показали, что перед закладкой опыта содержание подвижных соединений калия было повышенное и составляло в среднем 221 мг/кг почвы. За время вегетации кукурузы на всех исследуемых фонах произошло снижение содержания подвижного калия с максимальными значениями потерь на минеральном фоне – 25–50 мг/кг почвы (рис. 6). На органическом и сидератном фонах потери элемента менее значительные – 9–18 и 20–31 мг/кг почвы (рис. 7, 8). Следует отметить, что на всех изучаемых фонах применение минеральных удобрений несколько сдерживало наблюдаемые тенденции.

Анализ данных динамики содержания подвижного фосфора при возделывании кукурузы показал определённое противоречие – при повышении доз фосфорных удобрений на P_{30} в органоминеральной и биологизированной системах удобрения динамика содержания подвижных фосфатов изменялась в сторону их снижения на 10–19 мг/кг почвы (рис. 7, 8). Данное наблюдение требует дальнейшего изучения применяемых систем удобрения в звене севооборота.

ВЫВОДЫ

При возделывании кукурузы на зелёную массу на дерново-подзолистой супесчаной почве без использования органических удобрений наиболее эффективной системой удобрения является применение $N_{60+60+30}P_{90}K_{150}$ в комплексе с некорневой обработкой посевов микроудобрением $B_{0,10}Zn_{0,15}$ и стимуляторами роста Экогум АФ и Экосил (в фазу 5–6 листьев кукурузы) и Экосил Плюс (в фазу 8–10 листьев). Применение данного агроприёма обусловило получение 649 ц/га зелёной массы (13,0 т/га к. ед.), выход белка 30,0 ц/га, 9,3 USD/га условной прибыли, 4 % рентабельность при себестоимости 1 т к. ед. прибавки 77 USD и окупаемости 1 кг минеральных удобрений 39 ц зелёной массы. Коэффициенты возмещения выноса фосфора составили 0,8 и калия – 0,6.

Для более рационального использования достигнутого плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы рекомендуется комплексное применение минеральных и органических удобрений. Наиболее эффективной системой применения минеральных удобрений на фоне заправки навоза КРС под кукурузу на зелёную массу явилось внесение $N_{60+30+30}P_{60}K_{120}$ в комплексе с некорневой обработкой посевов микроудобрением $B_{0,10}Zn_{0,15}$ и стимуляторами роста Экогум АФ, Экосил (в фазу 5–6 листьев кукурузы) и Экосил Плюс (в фазу 8–10 листьев). При применении данного агроприёма урожайность зелёной массы кукурузы достигла 734 ц/га (14,7 т к. ед./га) при себестоимости 1 т к. ед. прибавки 77 USD, 36,3 ц/га выхода белка, условной прибыли 14,6 USD/га, рентабельности 4 % и окупаемости 1 кг NPK 45 ц зелёной массы. Коэффициенты возмещения выноса фосфора и калия приближены к рекомендуемым на таких почвах и составляют 0,9.

На полях, отдалённых от ферм, куда транспортировка органических удобрений затруднена, альтернативой заправке солоमистого навоза может явиться минеральная биологизированная система удобрения, где в качестве сидерата используется измельчённая биомасса редьки масличной, заделанная осенью в почву дисками на глубину 10–12 см. Для получения урожая зелёной массы кукурузы до 675 ц/га (13,5 т к. ед./га) с выходом белка на уровне 35,3 ц/га рекомендуется по фону заправки сидерата внесение $N_{90+30+30}P_{90}K_{150}$ в комплексе с некорневой обработкой посевов микроудобрением $B_{0,10}Zn_{0,15}$ и стимуляторами роста Экосил, Экогум АФ (в фазу 5–6 листьев кукурузы) и Экосил Плюс (в фазу 8–10 листьев).

При применении данного агроприёма условная прибыль составила 9,9 USD/га, рентабельность – 4 % при себестоимости 1 т к. ед. прибавки 77 USD, окупаемости 1 кг NPK 32 ц зелёной массы и коэффициентах возмещения выноса фосфора 1,0 и калия 0,8.

Применение органоминеральной и минеральной биологизированной систем удобрения обеспечивает поддержание достигнутого уровня содержания подвижных фосфатов и сдерживание темпов потерь подвижных соединений калия почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сельское, лесное и рыбное хозяйство Беларуси. Статистический сборник [Электронный ресурс] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika>. – Дата доступа: 03.01.2022.

2. Комплекс мероприятий по повышению плодородия и защите от деградации почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь на 2021–2025 годы / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа, Н. Н. Цыбулько; Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 148 с.

3. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов / Ин-т аграрной экономики НАН Беларуси; рук. разработ. В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Бел. наука, 2005. – 460 с.

4. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.

5. Агрохимия: учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; В. В. Лапа [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 704 с.

6. Коновалова Л. К. Сравнительная оценка экономической эффективности использования органических удобрений и сидератов / Л. К. Коновалова, В. В. Окорков, И. Ю. Винокуров // Владимирский Земледелец. – 2019. – № 3(89). – С. 43–47.

7. Ненайденко Г. Н. Органические удобрения в современном земледелии: учебное пособие / Г. Н. Ненайденко, Л. И. Ильин. – Иваново: ПресСто, 2015. – 118 с.

8. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И. М. Богдевич [и др.] / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 24с.

9. Влияние погоды при выращивании кукурузы [Электронный ресурс] // Агроном с Полтавы. – Режим доступа: <https://www.agronom.co.ua/vliyanie-pogody-pri-vyrashhivanii-kukuruzy/>. – Дата доступа: 14.10.2020.

10. Надточаев, Н. Ф. Кукуруза на полях Беларуси / Н. Ф. Надточаев. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 412 с.

11. Лапа, В. В. Плодородие почв – основа устойчивого развития аграрной отрасли Республики Беларусь / В. В. Лапа. – Земледелие и защита растений. – Приложение к журналу № 2(117). – 2018. – С. 3–9.

EFFICIENCY OF AGROBIOTECHNOLOGICAL PRACTICES OF CULTIVATION OF CUP FOR GREEN GROWTH ON SODDY-PODZOLIC LOAMY-SANDY SOILS

E. G. Mezentseva, O. G. Kulesh, A. A. Gracheva, O. V. Simankov, S. M. Zenkova

Summary

The most agronomic and economic effective use of $N_{60+30+30}P_{60}K_{120}B_{0,10}Zn_{0,15}$ in combination with foliar dressing of plants growth stimulators twice on the background of 60 tons/ha of cattle manure was for maize growing for green material it was found in a field technological experiment on sod-podzolic loamy sand soil. Such a system of fertilization with savings of 90 kg/ha of mineral fertilizers, provides 14,7 t e., collecting protein 36,3 kg/ha, the conditional profit – 14,6 USD/ha and 4 % of profitability. Each kilogram of mineral fertilizers provides compensation of 45 centners of green mass of maize, the cost of the increase of 1 ton of nutritional unit amounts to 77 USD/ha. This fertilization system maintains the achieved level of mobile phosphate content and restrains the rate of loss of mobile potassium compounds of the soil.

Поступила 10.03.2022

УДК 631.821:631.445.2:633.15

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-129-138](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-129-138)

ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ НА ВЫНОС И БАЛАНС ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КУКУРУЗЫ

Л. Н. Иовик

*Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси,
г. Брест, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Дерново-подзолистые почвы в структуре сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь составляют 34,2 % [1]. Ввиду особенностей генезиса естественное плодородие их невысоко. Такие почвы имеют кислую реакцию среды, низкую емкость поглощения (5–15 мг-экв/100 г почвы) и степень насыщенности основаниями, бедны органическим веществом и подвижными соединениями питательных веществ. Сельскохозяйственное использование с целью получения высоких устойчивых урожаев предполагает систематическое планомерное окультуривание земель, включающее известкование, внесение органических и минеральных удобрений, правильные севообороты и др.

Длительная эксплуатация почв недопустима без достаточного возврата элементов питания и устранения подкисления в результате выноса кальция и других основных веществ, и их миграции с инфильтрационными водами [2]. Для предот-

вращения необратимых процессов деградации почв необходимо поддержание содержания обменного кальция в почвенно-поглощающем комплексе на уровне 55–60 % от суммы поглощенных оснований [3].

Наиболее эффективным средством сокращения потерь оснований из корнеобитаемого слоя и создания положительного баланса кальция является известкование. Данный прием способствует устранению избыточной кислотности и токсичности ионов алюминия и марганца, улучшению обеспеченности азотом, фосфором, калием, созданию благоприятных условий для гумусообразования и деятельности микроорганизмов, формированию оптимальной структуры и физико-механических свойств почвы, снижению поступления радионуклидов и тяжелых металлов в растения, повышению качества урожая [4]. При условии ежегодного внесения 2,5 т CaCO_3 возможно полностью обеспечить положительный баланс кальция [5].

Традиционным известковым материалом является доломитовая мука. Наряду с кальцием, она содержит магний. Регулярное применение доломитовой муки повысило средневзвешенное содержание магния в почвах пахотных земель до 251 мг/кг, что позволило практически решить проблему обеспечения растений элементом [6]. Благодаря этому, около 80 % площадей почв пахотных земель республики характеризуются близкой к оптимальной обеспеченности почв магнием. В то же время на 35,7 % площади пашни отмечается высокое, местами избыточное содержание элемента (более 301 мг/кг). На таких почвах существует необходимость использования известковых материалов без магния.

Высокие энергозатраты на известкование, связанные с производством и применением (в основном на перевозку) доломитовой муки, требуют расширения ассортимента известковых мелиорантов. Наиболее дешевыми быстродействующими формами являются кальцийсодержащие отходы производства (свеклосахарного, ацетиленового, энергетического и др.). Оптимальные дозы мелиорантов должны определяться экспериментальным путем с учетом их химического состава и нейтрализующей способности.

Цель исследований – изучение влияния различных видов и доз известковых мелиорантов на вынос и баланс основных элементов питания при возделывании кукурузы на зеленую массу.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на среднекислой дерново-подзолистой временно избыточно увлажненной супесчаной почве, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,53 м рыхлым песком (СПК «Чернавчицы», Брестский р-н). Кукурузу Mateus FAO 190 возделывали в звене севооборота: кукуруза – яровой ячмень с подсевом клевера – клевер 1 г. п. – клевер 2 г. п.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы до закладки опыта имела следующие показатели: pH – 4,5–4,9, гумус – 2,0–2,4 %, подвижные формы P_2O_5 – 254–411 мг/кг и K_2O – 300–399 мг/кг, обменные CaO – 605–699 мг/кг и MgO – 307–360 мг/кг. Согласно агрохимическим грациям [4], почва опытного участка по степени кислотности относится ко II группе и является среднекислой, а также имеет низкое содержание кальция и высокое – фосфора, калия и магния.

Схема опыта предусматривала контроль (без применения удобрений имелиорантов) и внесение органических удобрений (ила очистных сооружений

Брестского филиала ГП «Белаэронавигация») в качестве фона. Известковые мелиоранты (доломитовая мука, дефекат и мелиорант на основе карбидной извести) вносили под кукурузу на фоне 50 т/га ила очистных сооружений в дозах 0,5, 1,0, 1,5 и 2,0, рассчитанных по гидролитической кислотности почвы.

Дефекат представляет собой фильтрационный осадок Жабинковского сахарного завода. Мелиорант на основе карбидной извести получают путем обезвоживания и подсушивания до состояния муки отхода производства ацетилена ИООО «Линде Газ Бел» (Брестский р-н) [7].

Исследуемые в опыте известковые материалы и удобрения имели следующие показатели (табл. 1):

Таблица 1

Химический состав известковых мелиорантов, % (на естественную влажность)

Показатель	Доломитовая мука	Дефекат	Мелиорант на основе карбидной извести	Ил очистных сооружений
Влажность	1,0	14,0	8,0	38,3
N	следы	0,52	следы	1,60
P ₂ O ₅	0,03	0,68	следы	0,59
K ₂ O	0,13	0,77	0,40	0,03
CaO	35,00	39,20	60,98	1,24
MgO	21,00	следы	0,13	0,21

Опыт включал 14 вариантов в 4-кратной повторности. Общая площадь делянки – 30 м² и учетная – 20 м². Предшественником кукурузы являлась вико-овсяная смесь. Учет урожайности и отбор образцов зеленой массы производился в фазу молочно-восковой спелости зерна.

Содержания основных питательных элементов в растениеводческой продукции определяли согласно общепринятым ГОСТ и соответствующим методам анализа: массовая доля азота – титриметрическим методом по Кьельдалю (ГОСТ 13496.4-93), массовая доля фосфора – фотометрическим методом (ГОСТ 26657-97 п.4), массовая доля калия – пламенно-фотометрическим методом (ГОСТ 30504-97), массовая доля кальция – комплексонометрическим методом (ГОСТ 26570-95 п.2.1), массовая доля магния – атомно-абсорбционным методом (ГОСТ 30502-97).

Статистическую обработку результатов исследований выполняли методами дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [8]. Баланс элементов питания рассчитывали согласно методике [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно полученным результатам исследований, урожайность зеленой массы кукурузы за счет эффективного плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы составила 317 ц/га [10]. Внесение 50 т/га органических удобрений способствовало дополнительному росту данного показателя на 154 ц/га. Применение известковых мелиорантов позволило существенно увеличить урожай: до 498–537 ц/га – при использовании доломитовой муки, 502–568 ц/га – дефеката и 510–569 ц/га – мелиоранта на основе карбидной извести.

Урожайность зеленой массы определялась количеством доступных питательных веществ и активностью их поступления в растения. Как показали опытные данные, содержание элементов также зависело от дозы вносимых мелиорантов. В контрольном варианте зеленая масса накапливала в сухом веществе 0,94 % азота, 0,17 % фосфора, 1,74 % калия, 0,16 % кальция и 0,17 % магния (табл. 2). Применение ила очистных сооружений в дозе 50 т/га увеличивало содержание калия на 0,40 % и снижало содержание азота и кальция на 0,12 % и 0,02 % соответственно.

При проведении известкования наиболее значимыми были условия азотного и калийного питания. Внесение минимальных доз известковых мелиорантов (0,5 Нг) оказывало незначительное влияние на накопление азота в зеленой массе, тогда как полная, полуполная и двойная дозы обеспечивали достоверное увеличение показателя по сравнению с контролем в среднем на 0,26 % при применении доломитовой муки, на 0,09 % – дефеката и на 0,21 % – мелиоранта на основе карбидной извести.

Известковые мелиоранты способствовали росту содержания калия в зеленой массе. Различные их дозы вызывали значительное увеличение данного показателя по сравнению с контрольным вариантом (в среднем на 0,46 %), в то время как по отношению к фону накопление элемента мало зависело от вида и дозы мелиоранта и по значениям не превышало ошибки опыта.

В меньшей степени по вариантам опыта варьировало содержание фосфора и магния. Значения показателей данных элементов практически не зависели от вносимых видов и доз известковых мелиорантов и не выходили за пределы 0,15–0,19 % и 0,18–0,22 % соответственно.

Четких различий в накоплении кальция между исследуемыми видами и дозами мелиорантов выявлено не было. При применении доломитовой муки содержание элемента в зеленой массе кукурузы составило 0,16–0,23 %, дефеката – 0,19–0,23 %, мелиоранта на основе карбидной извести – 0,20–0,24 %.

Потребность кукурузы в элементах минерального питания для создания урожая зеленой массы описывалась величиной хозяйственного (общего) выноса. Как пропашная культура, она усваивала из почвы значительные количества питательных элементов, особенно калия (138 кг/га) и азота (75 кг/га) (табл. 3). Внесение органических удобрений в дозе 50 т/га способствовало увеличению продуктивности растений и выноса всех элементов в 1,3–1,8 раза. Использование в опыте известковых мелиорантов дополнительно наращивало величину выноса в 1,2–1,7 раза.

Минимальные дозы мелиорантов обеспечивали самые низкие значения хозяйственного выноса среди произвесткованных вариантов. Вынос калия и азота не только был самым высоким в опыте, но и значительно зависел от дозы мелиорантов, тогда как фосфора, кальция и магния – в меньшей степени варьировал по произвесткованным вариантам. При этом величина отчуждения элементов питания зеленой массой составила, кг/га: 101–180 азота, 20–26 фосфора, 243–332 калия, 20–33 кальция, 23–30 магния.

Ввиду того, что общий вынос элементов питания довольно сильно зависит от ряда факторов (погодные условия в период вегетации, дозы применяемых удобрений и др.), был рассчитан показатель удельного (нормативного) выноса с 1 т растительной продукции. Его величина определялась урожайностью зеленой массы и общим выносом питательных веществ. Соответственно, наиболее

существенным и вариабельным в опыте был удельный вынос калия и азота, и наименее – фосфора, кальция и магния. Самые низкие значения выноса азота (2,0–2,4 кг) и калия (4,9–5,8 кг) при увеличении доз доломитовой муки, дефеката и мелиоранта на основе карбидной извести приходились на стартовые дозы (0,5 Нг). В произвесткованных вариантах опыта нормативный вынос с 1 т зеленой массы кукурузы составил: 2,0–3,3 кг азота, 0,4–0,5 кг фосфора, 4,9–5,8 кг калия, 0,4–0,6 кг кальция и 0,5 кг магния.

Для оценки эффективности проведенного известкования дерново-подзолистой супесчаной почвы рассчитывали хозяйственный баланс основных макроэлементов на основе приходных и расходных статей с учетом непроеданных потерь (табл. 4). Отношение поступления элементов питания к их выносу с урожаем характеризовалось показателем интенсивности баланса и указывало на наличие/отсутствие дефицита того или иного элемента.

Расчеты показали, что отсутствие компенсации затрат на создание урожая кукурузы приводило к использованию почвенных ресурсов. При этом баланс элементов находился на уровне, кг/га: – 68 азота, –12 фосфора, –152 калия, –57 кальция и –24 магния. Внесение 50 т/га ила очистных сооружений в качестве органического удобрения и известкование на его фоне обеспечивали положительный баланс азота и фосфора с интенсивностью 207–261 % и 1150–1579 % соответственно. Наиболее заметным среди изучаемых мелиорантов было влияние различных доз дефеката, которое достигало максимальных величин в варианте с применением двойной его дозы (11,4 т/га). В данном случае положительный баланс азота составлял 511 кг/га и фосфора – 370 кг/га.

Ни в одном опытном варианте не удалось компенсировать вынос калия урожаем зеленой массы, что говорит о необходимости дополнительного внесения калийных удобрений при проведении известкования дерново-подзолистой супесчаной почвы во избежание ухудшения ее плодородия. Дефицит элемента при этом находился на уровне 226–291 кг/га. Наибольшую интенсивность отрицательного баланса калия имели изучаемые дозы дефеката (16–34 %).

Несмотря на сильное выщелачивание и низкие запасы в почве, во всех вариантах (за исключением контрольного) был получен положительный баланс кальция. При фоновом внесении органических удобрений (50 т/га) уровень данного показателя составлял 559 кг/га при интенсивности баланса 750 %. Известковые мелиоранты дополнительно увеличивали компенсацию выноса элемента с урожаем в среднем в 5,7 раза. При этом ее значения росли при повышении доз мелиорантов. Наиболее значимый положительный баланс кальция отмечен при использовании дефеката (1687–5014 кг/га) и мелиоранта на основе карбидной извести (1770–5482 кг/га).

Баланс магния в опыте также был положительным. Решающую роль в данном случае сыграло высокое содержание элемента в почве и его приход с мелиорантами. Так, следовые концентрации магния в дефекате и мелиоранте на основе карбидной извести имели балансовые значения на уровне фона – 65–77 кг/га. Интенсивность баланса для них составила 244–274 %. Разительные отличия в величинах получены при известковании доломитовой мукой. Расчеты показали, что компенсация выноса калия росла при увеличении доз мелиоранта и превысила значения, установленные для дефеката и мелиоранта на основе карбидной извести, в 18 раз. Интенсивность баланса также возрастала и находилась в среднем на уровне 3141 %.

Таблица 2

**Влияние известкования на содержание основных элементов питания
в зеленой массе кукурузы, % в сухом веществе**

Варианты опыта	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Контроль	0,94	0,17	1,74	0,16	0,17
Ил очистных сооружений, 50,0 т/га – фон	0,82	0,17	2,14	0,14	0,18
Фон + доломитовая мука 2,3 т/га (0,5 Нг)	0,92	0,18	1,95	0,16	0,19
Фон + доломитовая мука 4,6 т/га (1,0 Нг)	1,29	0,19	2,16	0,20	0,19
Фон + доломитовая мука 6,9 т/га (1,5 Нг)	1,14	0,19	2,24	0,22	0,20
Фон + доломитовая мука 9,2 т/га (2,0 Нг)	1,16	0,17	2,27	0,23	0,22
Фон + дефекаат 2,9 т/га (0,5 Нг)	0,95	0,17	2,31	0,21	0,20
Фон + дефекаат 5,7 т/га (1,0 Нг)	1,07	0,17	2,03	0,19	0,22
Фон + дефекаат 8,6 т/га (1,5 Нг)	0,99	0,16	2,18	0,21	0,21
Фон + дефекаат 11,4 т/га (2,0 Нг)	1,03	0,18	2,31	0,23	0,21
Фон + мелиорант на основе карбидной извести 2,0 т/га (0,5 Нг)	0,79	0,16	2,09	0,20	0,18
Фон + мелиорант на основе карбидной извести 4,0 т/га (1,0 Нг)	1,07	0,17	2,21	0,21	0,19
Фон + мелиорант на основе карбидной извести 6,1 т/га (1,5 Нг)	1,05	0,16	2,33	0,21	0,19
Фон + мелиорант на основе карбидной извести 8,1 т/га (2,0 Нг)	1,32	0,15	2,34	0,24	0,21
НСР ₀₅	0,04	0,03	0,20	0,01	0,02

Таблица 3

Влияние известкования на общий и удельный вынос основных элементов питания зеленой массой кукурузы

Варианты опыта	Общий вынос, кг/га					Удельный вынос, кг/т				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Контроль	75	14	138	13	14	2,4	0,4	4,4	0,4	0,4
ИОС*, 50,0 т/га – фон	97	20	252	17	21	2,1	0,4	5,4	0,4	0,5
Фон + ДМ** 2,3 т/га (0,5 Нг)	115	22	243	20	24	2,3	0,4	4,9	0,4	0,5
Фон + ДМ 4,6 т/га (1,0 Нг)	167	25	280	26	25	3,2	0,5	5,4	0,5	0,5
Фон + ДМ 6,9 т/га (1,5 Нг)	153	26	301	30	27	2,9	0,5	5,6	0,5	0,5
Фон + ДМ 9,2 т/га (2,0 Нг)	153	22	299	30	29	2,9	0,4	5,7	0,6	0,5
Фон + дефекал 2,9 т/га (0,5 Нг)	119	21	290	26	25	2,4	0,4	5,8	0,5	0,5
Фон + дефекал 5,7 т/га (1,0 Нг)	143	23	271	25	29	2,7	0,4	5,1	0,5	0,5
Фон + дефекал 8,6 т/га (1,5 Нг)	141	23	310	30	30	2,5	0,4	5,5	0,5	0,5
Фон + дефекал 11,4 т/га (2,0 Нг)	141	25	315	31	29	2,6	0,5	5,8	0,6	0,5
Фон + МКИ*** 2,0 т/га (0,5 Нг)	101	20	267	26	23	2,0	0,4	5,2	0,5	0,5
Фон + МКИ 4,0 т/га (1,0 Нг)	145	23	300	29	26	2,7	0,4	5,5	0,5	0,5
Фон + МКИ 6,1 т/га (1,5 Нг)	149	23	332	30	27	2,6	0,4	5,8	0,5	0,5
Фон + МКИ 8,1 т/га (2,0 Нг)	180	21	319	33	29	3,3	0,4	5,8	0,6	0,5
Среднее по произвесткованным вариантам	142	23	294	28	27	2,7	0,4	5,5	0,5	0,5

* ИОС – ил очистных сооружений; ** ДМ – доломитовая мука; *** МКИ – мелиорант на основе карбидной извести.

Таблица 4

**Баланс основных элементов питания при известковании
дерново-подзолисто супесчаной почвы**

Варианты опыта	N		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO		MgO	
	Б*, ± кг/га	ИБ**, %	Б, ± кг/га	ИБ, %	Б, ± кг/га	ИБ, %	Б, ± кг/га	ИБ, %	Б, ± кг/га	ИБ, %
Контроль	-68	29	-12	13	-152	7	-57	31	-24	17
ИОС, 50,0 т/га – фон	510	261	277	1484	-251	10	559	750	74	306
Фон + ДМ 2,3 т/га (0,5 Нг)	492	247	275	1352	-239	11	1361	1630	554	1521
Фон + ДМ 4,6 т/га (1,0 Нг)	440	214	273	1193	-273	11	2160	2374	1036	2690
Фон + ДМ 6,9 т/га (1,5 Нг)	454	222	273	1150	-291	11	2961	3091	1517	3712
Фон + ДМ 9,2 т/га (2,0 Нг)	454	222	278	1362	-286	12	3766	3904	1998	4641
Фон + дефекат 2,9 т/га (0,5 Нг)	500	246	296	1507	-267	16	1687	1876	70	275
Фон + дефекат 5,7 т/га (1,0 Нг)	487	231	313	1459	-226	24	2785	3063	66	250
Фон + дефекат 8,6 т/га (1,5 Нг)	500	234	332	1545	-243	28	3917	4057	65	244
Фон + дефекат 11,4 т/га (2,0 Нг)	511	236	370	1579	-226	34	5014	5114	66	250
Фон + МКИ 2,0 т/га 0,5 Нг)	506	258	277	1484	-258	12	1770	1963	75	296
Фон + МКИ 4,0 т/га (1,0 Нг)	462	227	274	1290	-283	13	2986	3147	74	281
Фон + МКИ 6,1 т/га (1,5 Нг)	458	224	274	1290	-322	10	4266	4409	76	281
Фон + МКИ 8,1 т/га (2,0 Нг)	427	207	276	1413	-286	17	5482	5475	77	274

* Б – баланс; ** ИБ – интенсивность баланса.

ВЫВОДЫ

Известкование дерново-подзолистой супесчаной почвы оказывало положительное влияние на создание урожая зеленой массы кукурузы, увеличивало обеспечение растений элементами питания, создавало условия для формирования положительного баланса элементов в системе почва-растение-удобрение.

Применение доломитовой муки, дефеката и мелиоранта на основе карбидной извести способствовало росту накопления основных макроэлементов в зеленой массе и величины их хозяйственного выноса (в среднем в 1,5 раза). Максимальные значения общего выноса элементов получены в вариантах с внесением двойных доз мелиорантов (158 кг/га азота, 23 кг/га фосфора, 311 кг/га калия, 31 кг/га кальция, 29 кг/га магния). Нормативный вынос в произвесткованных вариантах в среднем составил, кг/т: 2,7 азота, 0,4 фосфора, 5,5 калия, 0,5 кальция и 0,5 магния.

Доломитовая мука, дефекат и мелиорант на основе карбидной извести, вносимые в 0,5, 1,0, 1,5 и 2,0 дозах по гидролитической кислотности почвы, компенсировали вынос питательных элементов растениями кукурузы (за исключением калия) и оказывали положительное влияние на их баланс. Положительный баланс и интенсивность баланса при известковании находились на уровне: 476 кг/га (231 %) азота, 293 кг/га (1385 %) фосфора, 3180 кг/га (3342 %) кальция, 71 кг/га (269 %) магния (для дефеката и мелиоранта на основе карбидной извести) и 1276 кг/га (3141 %) магния (для доломитовой муки). Применение известковых мелиорантов в дозах 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 Нг приводило к формированию отрицательного баланса калия. Дефицит элемента в среднем составил 267 кг/га при интенсивности баланса 17 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапа, А. Ф. Черныш. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 170 с.
2. Шильников, И. А. Перспективы химической мелиорации кислых почв / И. А. Шильников, Н. И. Аканова // Плодородие. – 2004. – № 6(21). – С. 2–3.
3. Павлюченко, А. У. Влияние кальцийсодержащих и минеральных удобрений на формирование агрофитоценозов многолетних бобовых трав / А. У. Павлюченко, Ю. И. Чевердин, И. Ф. Матвиенко // Земледелие. – 2013. – № 7. – С. 20–22.
4. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии; под ред. акад. В. В. Лапа. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.
5. Клебанович, Н. В. Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Василюк. – Минск: БГУ, 2003. – 322 с.
6. 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. – С. 29.
7. Мелиорант на основе карбидной извести: пат. ВУ 23139 / Л. Н. Иовик, Е. В. Жавнерчик, В. А. Сатишур. – Опубл. 30.10.2020.
8. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд. доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

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

10. Влияние известкования среднекислой дерново-подзолистой супесчаной почвы на урожайность зеленой массы кукурузы / В. А. Сатишур [и др.] // Актуальные проблемы наук о земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году науки в Респ. Беларусь, Брест, 25–27 сент. 2017 г.: в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А.С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т; редкол.: А. К. Карабанов [и др.]; науч. ред. А. К. Карабанов, М. А. Богдасаров. – Брест: БрГУ, 2017. – Ч. 2. – С. 235–239.

THE INFLUENCE OF SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL LIMING ON THE NUTRIENT REMOVING AND BALANCE DURING CORN CULTIVATION

L. N. Iovik

Summary

The research results about sod-podzolic sandy loam soil liming on crop yield and nutrient accumulation in the corn green mass are presented. The data of nutrient removing by the corn yield are showed. It is considered the nutrient balance and its intensity using dolomite flour, defecate and carbide lime ameliorant. The research results show the possibility of using calcium-containing industrial wastes for the liming acidic soils. This technique reduces the ameliorants production and transportation costs.

Поступила 14.01.2022

УДК 631.81:[631.559:633.853.494]:631.445.2
[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-138-155](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-138-155)

ВЛИЯНИЕ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ МАСЛА ОЗИМОГО И ЯРОВОГО РАПСА ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ РЫХЛОСУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

Г. В. Пироговская, В. И. Сороко, С. С. Хмелевский

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

ВВЕДЕНИЕ

Среди масличных культур, возделываемых в республике, рапс занимает особое положение. Он относится к группе культур, наиболее отзывчивых к внесению серосодержащих удобрений и на повышению уровня обеспеченности почв серой. Роль минеральных серосодержащих удобрений возрастает в условиях снижения

содержания серы в почве до низкого (6 мг/кг и менее) и среднего (6–12 мг/кг) уровня. Площадь таких почв в республике на пахотных землях составляет 90 %, а на луговых – 81,8 % от всей площади [1–5].

В последние годы (2018–2020 гг.) посевные площади под рапсом в республике находились на уровне 359,2–364,0 тыс. га, при этом валовый сбор семян составил 456,2–731,0 тыс. т, а урожайность семян находилась в пределах от 13,1 до 20,6 ц/га [6, 7].

Потребность в пищевом растительном масле в Республике Беларусь составляет около 200 тыс. т [8], и в значительной степени она обеспечивается за счет собственного производства рапсового масла.

Рапсовое масло для пищевых целей должно иметь низкое содержание насыщенных жирных кислот, особенно пальметиновой и миристиновой, а также соответствующее содержание многократно ненасыщенных жирных кислот, превалирование простых ненасыщенных жирных кислот, особенно олеиновой. Высокое содержание просто ненасыщенной олеиновой кислоты в масле рапса положительно влияет на здоровье, предохраняя сосудистую систему, снижая уровень давления, холестерина и сахара в крови. Около 80 % производимых в мире семян рапса с низким содержанием эруковой кислоты используются для получения масла на пищевые цели. Рапсовое масло содержит все физиологически важные жирные кислоты в оптимальном соотношении. По содержанию олеиновой кислоты с рапсовым маслом может соперничать только масло новых сортов подсолнечника и оливковое (около 80 % олеиновой кислоты) [9, 10].

По рекомендации Института питания РАМН [11] оптимальное для питания человека рапсовое масло безэруковых сортов должно содержать 4,5–6,1 % насыщенных жирных кислот, а в составе ненасыщенных кислот: олеиновой – 62,3–64,0 %, линолевой – 19,4–22,4, линоленовой – 7,0–8,2, эйкозеновой – 0,3–2,7, эруковой – до 0,6 %.

Согласно ГОСТ 31759–2012 «Масло рапсовое. Технические условия» [12] в рапсовом масле содержание жирных кислот должно составлять: миристиновой кислоты – не более 2 %, пальмитиновой – 2,5–7,0 %, стеариновой – 0,8–3,0 %, олеиновой – 51,0–70,0 %, линолевой – 15,0–30,0 %, арахидиновой – 0,2–1,2 %, линоленовой – 5,0–14,0 %, бегеновой – не более 0,6 %, эруковой – не более 5 %, лигноцериновой – не более 0,4 %.

Соотношение жирных кислот является определяющим при выборе направления использования данного масла – на пищевые цели и для производства технических масел. Однако сведений о варьировании жирнокислотного состава масла в зависимости от форм применяемых удобрений, в том числе и серосодержащих, недостаточно.

По данным ряда литературных источников продуктивность озимого рапса более высокая по сравнению с яровым (уровень урожайности в среднем на 15–25 % выше, а содержание масла – 2–4 %). В последние годы совершенствуются технологии возделывания как озимого рапса, так и ярового рапса, внедряются новые сорта, отличающиеся более высоким уровнем урожайности и содержанием масла в семенах [13–17].

Агротехнические приемы возделывания маслических культур направлены на увеличение сбора масла. Сбор рапсового масла определяется уровнем урожайности культуры и маслическостью семян. Содержание масла является устойчивым по-

казателем каждого конкретного сорта, однако в зависимости от условий выращивания и применяемых технологий в семенах одного и того же сорта масличность может варьировать от 41,1 до 50,2 % [8]. Окультуренность почв имеет особое значение для озимого рапса – он выносит из почвы больше азота, фосфора, калия и кальция по сравнению с зерновыми культурами. Особенно важно учитывать обеспеченность почв серой, внесение которой при низком ее содержании в почве в сравнительно небольших дозах (50 кг/га) значительно повышает урожай [18].

Что касается применения серосодержащих удобрений под рапс и доз внесения, то в литературных источниках имеются противоречивые мнения. В 80–90-е годы XX века предлагалось под рапс вносить 30–50 кг/га серы, а в качестве удобрений – сульфат аммония [18]. Допускалось внесение серосодержащих удобрений с осени [19], что приводит к непроизводительным потерям при вымывании.

В настоящее время под рапс применяются в основном стандартные формы азотных, фосфорных и калийных удобрений. На химических предприятиях в республике производятся и различные формы твердых и жидких серосодержащих удобрений (сульфат аммония мелкокристаллический, гранулированный, гранулированный с гуматами, бором, бором и гуматами, сульфоаммофосы, КАС с серой).

Цель наших исследований – оценка влияния разных форм серосодержащих удобрений (гранулированных и жидких) на урожайность, выход масла из семян рапса озимого и ярового при возделывании на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах высокой степени окультуренности (с индексом 0,84–0,93), а также на его жирнокислотный состав.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению эффективности разных форм минеральных серосодержащих удобрений при возделывании рапса озимого и ярового проводили в период 2018–2020 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, 2020 г. – озимого рапса – ячмень, ярового – картофель.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почв (0–25 см) перед закладкой опытов с сельскохозяйственными культурами представлена в таблице 1.

Содержание серы в пахотном слое почвы при возделывании озимого рапса было низким – от 2,9 до 4,5 мг/кг, при возделывании рапса ярового – от 3,3 до 4,8 мг/кг почвы.

При возделывании рапса озимого в качестве минеральных удобрений для основного внесения в почву перед посевом применяли стандартные удобрения в дозе N₃₀P₇₀K₁₄₀. Серосодержащие удобрения вносили только в первую ранневесеннюю подкормку в дозе N₁₀₀S₁₁₄ и N₁₂₀S₁₃₇, во вторую подкормку применяли карбамид в дозе N₆₀-N₈₀.

В опыте с рапсом яровым в основное внесение в базовом варианте применяли стандартные формы удобрений (карбамид (Nм), аммонизированный суперфосфат (марка 8-30) и калий хлористый) и серосодержащие удобрения (разные формы сульфата аммония, (Na) в двух дозах N₁₀₀P₆₀K₁₅₀ и N₁₄₀P₈₄K₁₈₀, в том числе N₈₄S₉₆

и $N_{117,6}S_{134}$ (за вычетом азота, внесенного с аммонизированным суперфосфатом), а в подкормку применяли карбамид (N_{40} и N_{60}).

Таблица 1

Агрохимические свойства дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы при возделывании озимого и ярового рапса (2018–2020 гг.)

Годы	Агрохимические показатели					
	pH_{KCl}	гумус, %	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg
мг/кг почвы						
озимый рапс						
2018	6,40	2,43	199	130	701	105
2019	5,51	2,25	186	172	685	142
2020	5,36	2,55	201	186	739	92
яровой рапс						
2018	5,14	2,31	205	190	670	80
2019	5,45	2,21	232	184	627	134
2020	5,48	2,05	220	145	779	115

В опытах возделывался озимый рапс Миранда (гибрид F1) и яровой рапс Миракел (F1). Схемы опыта при возделывании рапса ярового и озимого приведены в таблицах 1, 3. Закладку, проведение опытов, уход за посевами сельскохозяйственных культур проводили в соответствии с методическими указаниями и согласно технологическим регламентам их возделывания [20–22].

В полевых опытах из пахотного горизонта отбирали почвенные образцы, в которых определяли следующие показатели:

- гумус – по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-84);
- обменная кислотность pH_{KCl} – потенциометрический (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 и серы после мокрого озоления (смесью серной кислоты и перекиси водорода) общепринятыми методами: азот – ГОСТ 13496.4-93 п. 2, сера – фотоколориметрическим методом;
- сухое вещество – весовым методом;
- масличность – СТБ 1398-2003, Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Методы химических анализов сортов и гибридов, Москва. – 1970;
- содержание глюкозинолатов – по методике, указанной в источнике [23];
- жирнокислотный состав масла – ГОСТ 3041896 «Масла растительные»; метод определения – на газовом хроматографе.

В исследованиях проводился анализ рапсового масла на содержание насыщенных и ненасыщенных жирных кислот. Определялись основные насыщенные кислоты (миристиновая, пальмитиновая, стеариновая), а также арахидовая, бегеновая и лигноцеридовая. Из ненасыщенных аминокислот определяли линолевую, линоленовую, олеиновую, эйкозеновую и эруковую.

Гидротермический коэффициент (ГТК) определялся по методу Г. Т. Селянинова.

Температура воздуха и количество атмосферных осадков приведены по данным наблюдений в экспериментальной базе им. Котовского Узденского района Минской области. Метеорологические условия в период вегетации рапса существенно отличались по годам.

Гидротермический коэффициент в период с апреля по август 2018 г. в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области составил 1,14, что позволяет считать вегетационный период 2018 г. как слабозасушливый. Выпадение атмосферных осадков в течение вегетационного периода было неравномерным: апрель – 41,8 мм, или 87,1 % от среднемноголетних значений, в мае – 13,6 мм (22,3 %), июне – 62,2 мм (76,8 %), июль – 148,1 мм (164,6 % от нормы, т. е. месяц был очень влажным), в августе – 48,7 мм (58,7 %). Отметим, что засушливые периоды вегетации в незначительной степени отразились на формировании урожая озимого и ярового рапса.

В 2019 г. гидротермический коэффициент с мая по август составил 1,48, что характеризует вегетационный период как оптимальный для возделывания рапса. Выпадение атмосферных осадков в течение вегетационного периода было неравномерным: апрель – 0,2 мм (осадки практически не выпадали), май – 64,6 мм (105,9 %), июнь – 62,3 мм (76,9 %), июль – 89,0 мм (98,9 %), август – 98,8 мм (119,0 % от среднемноголетней нормы).

В 2020 г. вегетационный период при возделывании рапса в целом был влажным, гидротермический коэффициент с мая по август составил 1,63. Однако весна выдалась экстремально сухой. В марте выпало 21,0 мм осадков, апрель был очень сухим (7,7 мм осадков), а в мае выпало 51 мм (83,6 %). Несмотря на то, что сумма осадков в июне составила 70 мм (86,4 %) в конце месяца отмечен бездождевой периодом с высокими среднесуточными температурами – до 23 °С. В июле прошли ливневые дожди (157,5 мм, 175,0 %), а в августе выпало 54,7 мм (65,9 % от среднемноголетней нормы). Неравномерное выпадение осадков в определенной степени повлияло на урожайность рапса.

Статистическая обработка результатов исследований проведена по Б. А. Доспехову [22] с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на персональном компьютере, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Продуктивность озимого рапса, масличность семян, сбор масла за три года исследований (2018–2020 гг.) при использовании разных форм удобрений представлена в таблице 2.

Среднегодовая урожайность семян рапса озимого за указанный период составила: на контроле 7,6 ц/га, в вариантах с внесением фосфорных и калийных удобрений ($N_{18,7}P_{70}K_{140}$ – фон) – 13,2 ц/га, различных форм и доз азотных удобрений

на фоне РК – 18,3–25,2 ц/га, с прибавкой от азота, к фону – от 5,1 до 12,0 ц/га. Урожайность в варианте с карбамидом гранулированным (базовый вариант) составляла 18,3 ц/га, в вариантах с серосодержащими удобрениями (разные формы сульфата аммония) – от 22,0 до 25,2 ц/га, с прибавкой к базовому 3,7–6,9 ц/га семян. Наиболее эффективными были варианты с внесением сульфата аммония, гранулированного с бором и гуматами (25,2 ц/га), сульфата аммония с гуматами (23,9 ц/га) и сульфата аммония, гранулированного с бором в дозе N_{100} (23,2 ц/га). Увеличение дозы сульфата аммония гранулированного до N_{120} не приводило к достоверному росту урожайности семян рапса озимого при дозе N_{100} (1,2 ц/га).

Что касается урожайности семян рапса озимого по годам, то в 2018 г. (ГТК = 1,14) и 2019 г. (ГТК = 1,48) урожайность по вариантам опытов была близкой, а в 2020 г. с влажным вегетационным периодом (ГТК = 1,63) она была значительно ниже.

Содержание масла в семенах озимого рапса было наиболее высоким в 2018 г. и составило в базовом варианте с карбамидом стандартным 48,7 %. В вариантах с сульфатом аммония мелкокристаллическим и гранулированным без добавок (50,1–52,2 %), наблюдалось достоверное увеличение на 1,4–3,5 % масличности семян (при $НСР_{05} = 1,24$). Увеличение дозы гранулированного сульфата аммония в подкормку рано весной от N_{100} до N_{120} и во вторую подкормку в фазу бутонизации карбамида стандартного от N_{60} до N_{80} привело к снижению содержания масла в семенах от 50,1 до 49,3 %. Применение сульфата аммония с модифицирующими добавками (бором, гуматами, бором и гуматами) достоверно повышало масличность семян по сравнению с карбамидом стандартным (базовый) – до 50,4–50,8 % (на 1,7–2,1 %). В 2019 г. влияние удобрений на содержание масла было аналогичным. В варианте с гранулированным карбамидом этот показатель был на уровне 47,5 %, и увеличивался на 1,7–2,0 % – до 49,0–49,2 % при внесении сульфата аммония мелкокристаллического, гранулированного без добавок в двух дозах, сульфата аммония с гуматами, бором, бором и гуматами. Наибольшее содержание масла отмечено в варианте с бором и гуматами – 49,5 %. Содержание масла в условиях 2020 г. было наименьшим (40,2–43,6 %), достоверных различий по вариантам опыта не наблюдалось, отмечена лишь тенденция к росту масличности (на 1,3 %) при внесении сульфата аммония с бором и гуматами. В среднем за три года исследований серосодержащие удобрения обеспечивали тенденцию или достоверное повышение содержания масла от 0,2 (сульфат аммония без добавок) до 1,8 % (сульфат аммония гранулированного с бором и гуматами).

Сбор масла в зависимости от урожая семян и их масличности варьировался по годам исследований. Сбор масла в базовом варианте составил в среднем за три года 8,5 ц/га, с сульфатом аммония мелкокристаллическим и гранулированным без добавок – 10,3–10,4 ц/га (на 1,8–1,9 ц/га выше по сравнению с базовым вариантом). Рост дозы сульфата аммония гранулированного без добавок в первую подкормку от N_{100} до N_{120} приводило к увеличению сбора масла – до 10,9 ц/га (на 0,6 ц/га). Включение в состав сульфата аммония гранулированного модифицирующих добавок оказывало положительное действие на величину сбора масла по сравнению с гранулированным сульфатом аммония без добавок. В варианте с сульфатом аммония с гуматами сбор масла увеличился до 11,2 ц/га (на 0,9 ц/га), с бором – до 11,0 ц/га (на 0,7 ц/га), с бором и гуматами – до 12,1 ц/га (на 1,8 ц/га) (табл. 2).

Для оценки и предотвращения негативного воздействия на здоровье человека в Республике Беларусь регламентируется содержание серы в масле (СТБ-140086-

2004 «Масло рапсовое»). При содержании серы в масле выше 50 мг/кг, оно 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 и глюкозинолатов в семенах приводим за два года исследований (2019–2020 гг.) (табл. 3). Содержание серы в масле в 2019 г. находилось в пределах от 6,8 до 18,6 мг/кг, в 2020 г. – от 6,0 до 19,9 мг/кг, а в среднем за два года – от 7,3 до 14,5 мг/кг. За годы исследований не установлено четкого влияния азотных серосодержащих удобрений на содержание серы в масле рапса озимого. Различия с базовым вариантом находились в пределах от 0,4 до 0,9 мг/кг, и только в варианте с сульфатом аммония гранулированным с бором превышали базовый на 3,7–5,1 мг/кг. В большинстве вариантов с серосодержащими удобрениями масло было пригодно на продовольственные цели или для использования на рафинированное масло очищенное.

Содержание глюкозинолатов в семенах рапса является одним из важнейших показателей качества, которые могут ограничить применение его на пищевые цели. Содержание глюкозинолатов в семенах рапса озимого во всех вариантах опыта в годы исследований было ниже нормативного значения – не более 3 %. В 2019 г. содержание глюкозинолатов в семенах было в пределах от 1,47 до 2,32 %, в 2020 г. – от 2,00 до 2,37 %, а в среднем за два года – от 1,80 до 2,36 % (табл. 3).

В синтезе органических соединений в растениях важную роль играют как азот, так и сера. Считается, что соотношение N:S в семенах рапса должно находиться на уровне 6:1 [24]. В наших исследованиях это соотношение в среднем за 2019–2020 гг. в зависимости от вариантов опыта изменялось в пределах от 5,7 (контроль) до 6,0–6,7 (с удобрениями).

Влияние серосодержащих удобрений на урожайность, масличность и сбор масла с урожаем семян ярового рапса было близким, как и у озимого рапса. Урожайность семян рапса ярового в среднем за три года на контроле составила 8,1 ц/га, при внесении фосфорных и калийных удобрений ($N_{16}P_{60}K_{150}$, фон) – 11,9, в базовом варианте (смесь стандартных удобрений с карбамидом гранулированным, $N_{100+40}P_{60}K_{150}$) – 17,2 ц/га. Внесение в основную заправку почвы перед посевом рапса ярового разных форм сульфата аммония (N_{100}) с дополнительной подкормкой N_{40} (карбамид) в период стеблевания до начала бутонизации на фоне РК обеспечило увеличение урожайности семян рапса в среднем за три года до 19,9–23,3, с прибавкой к базовому в размере от 2,7 до 6,1 ц/га (табл. 4). При этом на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве максимальную урожайность семян рапса ярового обеспечили сульфат аммония гранулированный с бором и гуматами (23,3 ц/га), сульфат аммония гранулированный с гуматами (22,3 ц/га) и сульфат аммония гранулированный с бором (22,1 ц/га). Повышение доз азотных удобрений до N_{140+60} на фоне $P_{84}K_{180}$ было менее эффективным, прибавка семян к первой дозе азота составила 0,7 ц/га при $НСР_{05} = 1,77$ ц/га.

Содержание масла в семенах рапса ярового в среднем за 2018–2020 гг. различалось по годам: 2018 г. – от 44,2 до 46,8 %, 2019 г. – от 43,3 до 46,8 %, 2020 г. – от 29,4 до 32,4 %, в среднем за 3 года – от 39,1 до 41,7 %. В условиях 2020 г. масличность ярового рапса была в 1,4–1,5 раза ниже в сравнении с предыдущими годами исследований, что связано с влажными условиями

вегетации, оказавшими влияние на формирование семян. Внесение изучаемых форм азотных серосодержащих удобрений обеспечивало тенденцию или достоверное увеличение содержания масла в семенах ярового рапса по сравнению с базовым вариантом без серы в 2018 г. – на 0,9–2,0 %, в 2019 г. – на 2,5–3,5 %. В 2020 г. существенных различий между вариантами опыта, в том числе с применением серосодержащих удобрений и базовым вариантом, не отмечалось. Внесение азотных серосодержащих удобрений в среднем за годы исследований обеспечивало тенденцию или достоверное повышение содержания масла на 0,9–1,5 % (табл. 4).

Сбор масла с урожаем семян ярового рапса в более урожайные 2018–2019 гг. был близким к озимому рапсу и в базовом варианте находился на уровне 8,5 и 9,9 ц/га, с увеличением до 10,8–13,4 ц/га в вариантах с изучаемыми формами сульфата аммония. В 2020 г. сбор масла был в два и более раза ниже в сравнении с предыдущими. В среднем за три года исследований применение сульфата аммония мелкозернистого, гранулированного, с добавками гуматов и бора привело к увеличению сбора масла по сравнению с базовым без серы на 1,4–2,8 ц/га. Следует отметить, что в среднем за три года сбор масла с урожаем ярового рапса на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве был в 1,2–1,3 раза ниже по сравнению с рапсом озимым.

Содержание серы в масле и глюкозинолатов в семенах рапса ярового приведены за два года исследований. Результаты анализов, полученные в РУП «НПЦ гигиены», показали, что содержание серы в масле рапса ярового в 2019 г. было более высоким, чем в масле рапса озимого и находилось в пределах от 8,9 до 28,2 мг/кг. Масло в большинстве вариантов с удобрениями могло быть использовано на продовольственные цели (где содержание серы в масле меньше 30 мг/кг) и на рафинированное масло очищенное (при содержании серы меньше 15 мг/кг). В 2020 г. содержание серы в масле было более низким и в базовом было на уровне 11,7 мг/кг, в вариантах с изучаемыми формами сульфата аммония – от 6,5 до 11,9 мг/кг и во всех вариантах было пригодно на рафинированное масло очищенное (табл. 5). В среднем за 2 года содержание серы в базовом варианте и в вариантах с изучаемыми формами сульфата аммония, за исключением модифицированного бором (17,3 мг/кг) и повышенной дозы гранулированного (19,3 мг/кг) находилось в пределах от 10,1 до 13,8 мг/кг и было пригодно на рафинированное масло очищенное.

Содержание глюкозинолатов в семенах ярового рапса изменялось по вариантам опыта в 2019 г. от 0,65 (контроль) до 1,09 % (в базовом) до 1,12–1,51 % (с серосодержащими удобрениями), в 2020 г. – 1,29, 1,12 и 1,08–1,29 мг/кг соответственно. При этом в 2019 г. наблюдалась следующая закономерность: в вариантах без удобрений и при внесении минеральных удобрений без серы содержание глюкозинолатов было несколько меньшим по сравнению с вариантами с серосодержащими удобрениями. В 2020 г. четкой зависимости влияния удобрений на содержание глюкозинолатов в семенах не отмечалось. Во все годы исследований содержание глюкозинолатов в семенах рапса ярового было ниже нормативного значения (не более 3 %). Соотношение N : S на контрольном варианте в среднем за два года составило 7,1, в вариантах с удобрениями – от 6,7 до 8,6, что несколько превышало нормативы, рекомендуемые для рапса (табл. 5).

Влияние удобрений на жирнокислотный состав масла озимого и ярового рапса представлено в таблице 6.

Таблица 2

Влияние серосодержащих удобрений на урожайность, маслячность и сбор масла при возделывании рапса озимого (ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского», 2018–2020 гг.)

Вариант	Урожайность по годам, ц/га			Масличность, %			± к базовому			Сбор масла, ц/га				± к базовому
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее		
													2018 г.	
Контроль без удобрений	6,2	7,4	9,3	7,6	47,6	47,0	42,2	45,6	–	3,0	3,5	3,9	3,6	–
N _{18,7} P ₇₀ K ₁₄₀ (фон)	11,2	13,3	15,1	13,2	49,7	48,0	42,9	46,9	–	5,6	6,4	6,5	6,2	–
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Nм гр. + P _{ca} + Kx) – базовый 1	18,8	18,9	17,2	18,3	48,7	47,5	42,3	46,2	–	9,2	9,0	7,3	8,5	–
Сульфат аммония (Na)														
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na/мк.)	25,8	22,1	18,0	22,0	52,2	49,1	40,4	47,2	3,7	13,5	10,9	7,3	10,4	1,9
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр.)	24,9	23,1	18,6	22,2	50,1	49,0	40,2	46,4	3,9	12,5	11,3	7,5	10,3	1,8
N ₃₀₊₁₂₀₊₈₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр.)	26,4	24,3	19,4	23,4	49,3	49,2	40,9	46,5	5,1	13,0	12,0	7,9	10,9	2,4
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр. с гуматами)	26,0	26,3	19,5	23,9	50,4	49,2	40,9	46,8	5,6	13,1	12,9	8,0	11,2	2,7
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр. с бором)	25,1	24,4	20,0	23,2	50,7	49,2	41,6	47,2	4,9	12,7	12,0	8,3	11,0	2,5
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр. с бором и гуматами)	26,6	27,1	21,8	25,2	50,8	49,5	43,6	48,0	6,9	13,5	13,4	9,5	12,1	3,6
НСР ₀₅	1,80	1,84	1,58	1,74	1,24	1,16	2,13	1,57	–	–	–	–	–	–

Таблица 3

Влияние серосодержащих удобрений на содержание серы в масле и глюкозинолатах в семенах озимого рапса (ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского», 2019–2020 гг.)

Вариант	Содержание серы в масле, мг/кг		± к базовому	Глюкозинолаты в семенах, %		± к базовому	Содержание в семенах, %		отношение N/S*
	2019 г.	2020 г.		2019 г.	2020 г.		N	S	
	среднее		среднее		среднее				
Контроль без удобрений	10,2	10,7	–	1,47	2,13	–	2,68	0,54	5,68
N _{18,7} P ₇₀ K ₁₄₀ (фон)	6,8	7,9	–	1,55	2,17	–	2,70	0,50	6,18
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Nm гр.+ Pca + Kx) – базовый 1	12,9	8,9	–	1,63	2,01	–	2,92	0,54	6,19
Сульфат аммония (Na)									
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na/мк.)	18,6	5,1	0,9	2,32	2,37	0,53	3,59	0,62	6,63
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр.)	15,8	6,0	0,0	2,24	2,13	0,37	3,52	0,67	6,01
N ₃₀₊₁₂₀₊₈₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр.)	14,8	6,2	-0,4	2,26	2,13	0,38	3,82	0,68	6,43
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр. с гуматами)	12,7	8,1	-0,5	2,05	2,00	0,21	3,45	0,63	6,27
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр. с бором)	9,2	19,9	3,7	1,83	2,34	0,27	3,41	0,64	6,10
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр. с бором и гуматами)	11,3	10,1	-0,2	2,20	2,06	0,31	3,80	0,65	6,69
HCP ₀₅	–	–	–	–	–	–	0,27	0,06	–

* Отношение азота и серы (N/S) рассчитывалось по значениям мг/экв данных элементов.

Таблица 4
Влияние серосодержащих удобрений на урожайность, масличность и сбор масла при возделывании рапса ярового (ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского», 2018–2020 гг.)

Вариант	Урожайность по годам, ц/га				Масличность, %				Сбор масла, ц/га						
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее	± к базовому	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее	± к базовому	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее	
															± к базовому
Контроль без удобрений	9,4	10,2	4,8	8,1	–	44,2	43,7	29,4	39,1	–	4,2	4,5	1,4	3,2	–
N ₁₆ P ₆₀ K ₁₅₀ (фон)	12,5	16,0	7,1	11,9	–	44,9	43,6	32,2	40,2	–	5,6	7,0	2,3	4,8	–
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (смесь стандартных удобрений с карбамидом гранулированным) – базовый	18,9	22,9	9,9	17,2	–	44,8	43,3	32,4	40,2	–	8,5	9,9	3,2	6,9	–
Сульфат аммония (Na)															
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Na/мк.)	23,0	24,5	12,3	19,9	2,7	46,8	46,7	31,1	41,5	1,3	10,8	11,4	3,8	8,3	1,4
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Na гр.)	25,7	25,4	12,8	21,3	4,1	46,4	46,5	31,9	41,6	1,4	11,9	11,8	4,1	8,9	2,0
N ₁₄₀₊₆₀ P ₆₄ K ₁₈₀ (Na гр.)	24,5	28,9	12,7	22,0	4,8	45,7	46,5	31,5	41,2	1,0	11,2	13,4	4,0	9,1	2,2
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Na гр. с гуматами)	26,2	26,9	13,8	22,3	5,1	46,5	46,8	31,8	41,7	1,5	12,2	12,6	4,4	9,3	2,4
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Na гр. с бором)	26,4	26,4	13,6	22,1	4,9	46,1	45,8	31,3	41,1	0,9	12,2	12,1	4,3	9,1	2,2
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Na гр. с бором и гуматами)	28,2	27,8	13,9	23,3	6,1	46,8	46,4	31,7	41,6	1,4	13,2	12,9	4,4	9,7	2,8
НСР ₀₅	1,60	2,04	1,64	1,77	–	1,27	1,09	1,64	1,35	–	–	–	–	–	–

Таблица 5

Влияние серосодержащих удобрений на содержание серы в масле ярового рапса и глюкозинолатов в семенах (ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского», 2019–2020 гг.)

Вариант	Содержание серы в масле, мг/кг		± к базовому		Глюкозинолаты в семенах, %			± к базовому		Содержание в семенах, %		Отношение N/S *
	2019 г.	2020 г.	сред-нее	2020 г.	2019 г.	2020 г.	сред-нее	N	S			
Контроль без удобрений	11,9	11,0	11,5	–	0,65	1,29	0,97	–	–	3,03	0,49	7,1
N ₁₆ P ₆₀ K ₁₅₀ (фон)	12,8	11,8	12,3	–	0,69	1,29	0,99	–	–	3,95	0,53	8,6
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (смесь стандартных удобрений с карбамидом гранулированным) – базовый	8,9	11,7	10,3	–	1,09	1,12	1,11	–	–	3,65	0,53	7,9
Сульфат аммония (Na)												
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Na/мк.)	10,9	9,4	10,1	-0,2	1,24	1,2	1,22	0,11	–	3,80	0,58	7,4
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Na гр.)	14,5	8,5	11,5	1,2	1,28	1,29	1,29	0,18	–	3,54	0,60	6,7
N ₁₄₀₊₆₀ P ₈₄ K ₁₈₀ (Na гр.)	26,7	11,9	19,3	9,0	1,12	1,2	1,16	0,05	–	3,87	0,63	7,0
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Na гр. с гуматами)	20,4	7,3	13,8	3,5	1,17	1,17	1,17	0,06	–	3,73	0,62	6,9
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Na гр. с бором)	28,2	6,5	17,3	7,0	1,51	1,12	1,32	0,21	–	3,90	0,59	7,5
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Na гр. с бором и гуматами)	16,0	7,1	11,5	1,2	1,44	1,08	1,26	0,15	–	3,88	0,60	7,5
НСР ₀₅	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,29	0,06	–

* Отношение азота и серы (N/S) рассчитывалось по значениям мг/экв данных элементов.

Таблица 6

Влияние серосодержащих удобрений на жирнокислотный состав масла из семян рапса, 2019–2020 гг.

Вариант	Содержание кислоты, %										Сумма кислот		
	МЕРИСТИ- НОВАЯ	ПЛЯМИ- ТИНОВАЯ	СТЕАРИ- НОВАЯ	ОЛЕИ- НОВАЯ	ЛИНОЛЕ- ВАЯ	ПАРАИ- НОВАЯ	ЛИНОЛЕ- НОВАЯ	ЭЙКОЗЕНО- ВАЯ	БЕГЕ- НОВАЯ	ЭРУКОВАЯ	ЛИНОЛЕ- РИНОВАЯ	НАСЫЩЕ- НЫХ	НЕНАСЫ- ЩЕННЫХ
Озимый рапс													
Контроль без удобрений	0,05	4,0	1,7	62,5	18,8	0,55	8,3	1,1	0,20	0,08	0,09	6,6	90,7
N _{18,7} P ₇₀ K ₁₄₀ (фон)	0,05	4,2	1,7	63,0	18,3	0,56	7,9	1,1	0,22	0,05	0,10	6,8	90,3
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Nм гр. +Pca + Kx) – базовый	0,05	4,2	1,7	62,9	18,5	0,56	7,9	1,1	0,26	0,05	0,10	6,8	90,3
Сульфат аммония (Na)													
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na/мк.)	0,05	3,8	1,5	63,2	18,3	0,55	7,9	1,1	0,25	0,07	0,11	6,3	90,6
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр.)	0,06	4,1	1,6	63,4	18,1	0,55	7,8	1,2	0,25	0,11	0,10	6,7	90,6
N ₃₀₊₁₂₀₊₈₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр.)	0,05	4,1	1,6	63,2	18,1	0,57	7,9	1,2	0,28	0,15	0,12	6,7	90,6
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр. с гуматами)	0,05	4,1	1,6	63,3	18,2	0,54	7,8	1,1	0,26	0,04	0,11	6,6	90,5
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр. с бором)	0,05	4,1	1,6	63,4	18,5	0,54	7,7	1,1	0,25	0,07	0,12	6,7	90,7
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр. с бором и гуматами)	0,05	4,1	1,6	63,5	18,3	0,44	7,7	1,1	0,26	0,10	0,12	6,6	90,7
Яровой рапс													
Контроль без удобрений	0,06	4,4	2,1	56,4	22,0	0,64	9,8	1,03	0,24	0,02	0,13	7,6	89,3
N _{18,7} P ₇₀ K ₁₄₀ (фон)	0,06	4,4	2,0	56,6	22,1	0,61	9,7	1,02	0,27	0,03	0,12	7,4	89,5
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Nм гр. + Pca + Kx) – базовый	0,06	4,3	2,0	57,4	21,6	0,64	9,5	1,02	0,25	0,02	0,12	7,4	89,5
Сульфат аммония (Na)													
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na/мк.)	0,06	4,4	2,0	57,1	21,7	0,62	9,6	1,03	0,26	0,02	0,12	7,5	89,5
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр.)	0,06	4,5	2,0	57,0	21,8	0,61	9,6	1,03	0,27	0,02	0,12	7,5	89,5
N ₃₀₊₁₂₀₊₈₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр.)	0,06	4,5	2,0	57,3	21,7	0,60	9,6	1,04	0,27	0,03	0,12	7,5	89,6
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр. с гуматами)	0,06	4,4	2,0	56,9	21,7	0,63	9,7	1,04	0,29	0,07	0,13	7,6	89,5
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр. с бором)	0,06	4,5	2,0	56,9	21,6	0,62	9,7	1,05	0,27	0,01	0,12	7,6	89,2
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Na гр. с бором и гуматами)	0,05	4,4	1,9	57,8	22,0	0,64	9,3	0,87	0,29	0,04	0,12	7,4	90,0
Среднее по сульфату аммония	0,06	4,5	2,0	57,2	21,7	0,62	9,6	1,01	0,27	0,03	0,12	7,5	89,5

Известно, что соотношение жирных кислот является определяющим для направления использования рапсового масла. В исследованиях многих авторов отмечается, что содержание жирных кислот в рапсовом масле должно быть следующее [9, 13, 25–27]:

– в семенах рапса озимого: олеиновая – 58,0–62,8 %, линолевая – 20,1–26,0 %, линоленовая – 7,9–10,0 %, пальмитиновая – 5,8 %, арахидовая – 2,9 %, эруковая – 0,5 %;

– в семенах рапса ярового: олеиновая – 59,6–61,4 %, линолевая – 21,1–22,7 %, линоленовая – 7,2 %, пальмитиновая – 4,6–4,9 %, стеариновая – 2,0–2,2 %, эйкозеновая – 1,2 %, эруковая – 0,2 %.

Однако следует отметить, что сведений о варьировании жирнокислотного состава масла от удобрений, в том числе и серосодержащих, при возделывании рапса на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах, считающихся малопродуктивными для этой культуры, недостаточно.

Наши исследования показали, что содержание жирных кислот в семенах рапса озимого и ярового зависело от форм применяемых удобрений и погодных условий (табл. 6).

Отмечено положительное влияние серосодержащих удобрений (сульфата аммония) на фоне РК на содержание и соотношение насыщенных и ненасыщенных жирных кислот в масле рапса озимого. Содержание более полезных ненасыщенных жирных кислот на фоне сульфата аммония, в среднем за 2019–2020 гг., находилось в пределах от 90,5 до 90,7 %, а в базовом варианте с карбамидом гранулированным – 90,3 %, насыщенных кислот – от 6,3 до 6,7 % и в варианте без серы (базовом) – 6,8 % (табл. 6). Содержание основной ненасыщенной жирной кислоты, олеиновой, на контроле без удобрений составило 62,5 %, в вариантах с разными формами сульфата аммония – от 63,2 до 63,5 % (с увеличением на 0,3–0,6 % по сравнению с базовым). Озимый рапс отличался более стабильным жирнокислотным составом по сравнению с рапсом яровым в различные по погодным условиям годы.

Погодные условия оказали значительное влияние на жирнокислотный состав масла рапса ярового. Содержание ненасыщенных жирных кислот в среднем за два года с разными формами сульфата аммония составило 89,2–90,0 %, в базовом – 89,5 %, в том числе олеиновой – 56,9–57,8 и 57,4 %, линолевой – 21,6–22,0 и 21,6, линоленовой – 9,3–9,7 и 9,5, пальмитиновой – 4,4–4,5 и 4,3, арахидовой – 0,60–0,64 и 0,64, эруковой – 0,01–0,04 и 0,02, эйкозеновой – 0,87–1,05 и 1,02, стеариновой – 1,9–2,0 и 2,0 % соответственно (табл. 6).

Приведенные данные показывают, что масло озимого и ярового рапса, полученное в условиях 2019–2020 гг. соответствовало параметрам ГОСТ 31 759-2012 «Масло рапсовое. Технические условия».

Масло озимого рапса отличается стабильными показателями жирнокислотного состава в различные по погодным условиям годы и приближается к оптимальному составу рапсового масла, согласно рекомендациям Института питания Российской академии медицинских наук (РАМН) [11]. При этом масло рапса ярового отличается также высокими показателями жирнокислотного состава согласно ГОСТ 31 759-2012. Более высокие качественные показатели масла ярового рапса отмечены в благоприятные по погодным условиям годы, а при возделывании в неблагоприятных погодных условиях они не всегда соответствуют оптимальным параметрам, что следует учитывать при его переработке.

ВЫВОДЫ

Приведенные данные позволяют сделать следующие выводы:

1. При возделывании рапса озимого на низкообеспеченных серой дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах урожайность семян на фоне $N_{100+60}P_{70}K_{140}$ составила в среднем за три года (2018–2020 гг.) от 18,3 до 25,2 ц/га в зависимости от варианта. Применение серосодержащих удобрений в первую подкормку (N_{100}) достоверно увеличивало урожайность семян по сравнению с базовым вариантом без внесения серы (карбамидом на фоне PK) – на 3,7–6,9 ц/га. Наиболее эффективными были варианты с сульфатом аммония гранулированным с бором и гуматами, сульфатом аммония гранулированным с гуматами, сульфатом аммония гранулированным с бором в дозе N_{100} , обеспечившие прибавку урожайности на уровне 6,9 ц/га, 5,6, 4,9 ц/га соответственно. Увеличение дозы сульфата аммония гранулированного до N_{120} не приводило к достоверному повышению урожайности семян.

2. Урожайность рапса ярового при внесении различных форм удобрений ($N_{100+40}P_{60}K_{150}$) была на уровне от 17,2–23,3 ц/га. Серосодержащие удобрения (N_{100}) увеличивали урожайность семян по сравнению с базовым вариантом на 2,7–6,1 ц/га. Наибольший рост урожайности получен в вариантах с использованием сульфата аммония гранулированного с бором и гуматами, сульфата аммония гранулированного с гуматами, сульфата аммония гранулированного с бором в дозе N_{100} на фоне $P_{60}K_{150}$, с прибавками 6,1 ц/га, 5,1 и 4,9 ц/га. Повышенная доза сульфата аммония гранулированного (N_{140}) на фоне $P_{84}K_{180}$ была не эффективна.

3. Влияние удобрений на содержание масла в семенах озимого рапса отмечено в благоприятные по погодным условиям 2018 и 2019 гг. В базовом варианте оно находилось на уровне 47,5–48,7 %, в вариантах с различными формами сульфата аммония – 48,9–52,2 %, с увеличением масличности семян от серы в составе удобрений – на 1,4–2,5 %. В неблагоприятном 2020 г. содержание масла было наименьшим (40,2–43,9 %), различий по вариантам опыта не наблюдалось. Содержание масла в семенах ярового рапса в 2018–2019 гг. в базовом варианте составило 44,1 %. Внесение различных форм сульфата аммония увеличило масличность семян на 1,9 % (до 46,0 %). В 2020 г. различий в содержании масла в семенах ярового рапса от применяемых форм азотных удобрений не отмечено.

4. Качество семян рапса ярового и озимого по содержанию глюкозинолатов при внесении различных форм азотных и азотно-серосодержащих удобрений было равноценным и не превышало допустимых норм (более 3 %). Азотно-серосодержащие удобрения не увеличивали содержания серы в масле выше нормативных показателей для рафинированного масла очищенного (меньше 15 мг/л) и на продовольственные цели (меньше 30 мг/л).

5. Согласно рекомендациям Российской академии медицинских наук, жирнокислотный состав масла рапса озимого в годы исследований был близким к оптимальному составу. Азотные серосодержащие удобрения оказали положительное влияние на содержание основной ненасыщенной олеиновой кислоты и суммы ненасыщенных жирных кислот в целом. Жирнокислотный состав масла рапса ярового по содержанию олеиновой и суммы ненасыщенных кислот при благоприятных метеорологических условиях соответствовал рапсу озимому, экстремальные погодные условия несколько снижали содержание олеиновой кислоты, при этом качество масла соответствовало стандарту (ГОСТ 31 759-2012).

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. *Богдевич, И. М.* Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур: сборник научных трудов / И. М. Богдевич, Т. М. Германович // Почвоведение и агрохимия – 1998. – Вып.30. – С. 141–146.
3. *Германович, Т. М.* Серосодержащие удобрения как фактор повышения урожайности ярового ячменя и повышения качества продукции / Т. М. Германович // Почвенные исследования и применение удобрений: Межведомственный тематич. сб. / Белорус. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 1997. – Вып. 24. – С. 87–97.
4. *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-исследовательское государственное предприятие «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 1998. –17 с.
5. *Анспок, П.* Применение серных удобрений: рекомендации НИИ земледелия и экономики сельского хозяйства / П. Анспок; УНТИ МСХ. – Рига, 1980. – 11 с.
6. Статистический ежегодник Республики Беларусь. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2020. – 436 с.
7. Статистический ежегодник Республики Беларусь. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2021. – 407 с.
8. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси / Национальная академия наук Беларуси, РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 448 с.
9. Рапс / Д. Шпаар [и др.]; под общ. ред. Д. Шпаара. – Минск: ФУ Аинформ, 1999. – 208 с.
10. Erbergdowler H. F., Trautwein E. A. Rapsol in der Ernährung, Raps 11. – 1993, №3. – 137–139.
11. *Скурихин И. М., Волгарев М. Н.* Химический состав пищевых продуктов / И. М. Скурихин, М. Н. Волгарев, Кн. 1. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1987. – 213 с.
12. ГОСТ 31 759-2012 «Масло рапсовое. Технические условия». – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
13. *Шейгеревич, Г. И.* Внедрение новых сортов и современных технологий возделывания рапса агрономической службой СП «Сельскохозяйственные услуги» / Г. И. Шейгеревич // Рапсовое поле Беларуси. – 2004. – Вып. 4. – С.18–22.
14. Рекомендации по применению серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Г. В. Пироговская [и др.] // Нац. акад. наук Беларуси; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 64 с.
15. *Полтораadneв, М. С.* Эффективность азотного серосодержащего удобрения N:S 30:7 при возделывании ярового рапса в Северной Европе / М. С. Полтораadneв, Т. В. Гребенникова // Земледелие. – 2015. – № 8. – С.37–38.
16. Эффективность новых форм жидких комплексных удобрений при некорневой подкормке озимого рапса / А. К. Золотарь [и др.] // Применение удобрений

в современном земледелии: сборник материалов Междунар. научно-практической конф.; 6 июля 2018 г., г. Жодино / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – С. 74–76.

17. *Пироговская Г. В.* Дополнение в отраслевые регламенты по использованию серосодержащих удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур (рапс, картофель, гречиха) / Г. В. Пироговская, В. И. Сороко, С. С. Хмелевский. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2021. – 11 с.

18. *Шлапунов, В. Н.* Возделывание крестоцветных культур в Белоруссии / В. Н. Шлапунов. – Минск: Ураджай, 1982. – 79 с.

19. *Мартынов, Б. П.* Агрономическая тетрадь. Возделывание рапса и сурепицы по интенсивной технологии / Б. П. Мартынов. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 120 с.

20. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч. практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 469 с.

21. 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 «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2008. – 36 с.

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

23. Сборник методов исследований почв и растений. п. 2.17. 2. – Киев. – 2010. – С. 92.

24. *Нортон, Р.* Значение серы в питании растений / Р. Нортон, Р. Михельсен, Т. Дженсен; пер. с англ. В. В. Носов // Питание растений. – № 3. – 2014. – С. 6–9.

25. *Трохимчук, И. А.* Озимый рапс как кормовая культура в условиях юго-запада БССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / И. А. Трохимчук. – Жодино, 1969. – 20 с.

26. *Жолик, Г. А.* Формирование жирнокислотного состава рапсового масла / Г. А. Жолик, А. М. Луковец, Ф. И. Дехтяревич // Современные технологии сельскохозяйственного производства: материалы XVI междунар. науч.-практической конф. (Гродно, 17 мая 2013 г.) / МСХиП Республики Беларусь, УО «Гродненский государственный аграрный университет». Международная студенческая научная конференция – Гродно, 2013. – Технология хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. – С. 53–56.

27. *Zholik H.* Sklad i jakosc plonu nasion rzepaku v zaleznoascinod dawek i terminow stosowania nawozow azotowych / H. Zholik // Folia Univ/ Agric / Szczecin. – 2004, Agricultura, 234 (93):423–426.

INFLUENCE OF SULFUR-CONTAINING FERTILIZERS ON PRODUCTIVITY AND FATTY ACID COMPOSITION OF OIL IN WINTER AND SPRING RAPESEED WHEN CULTIVATED ON SOD-PODZOLIC LOAMY SAND SOIL

G. V. Pirogovskaya, V. I. Soroko, S. S. Khmelevskij

Summary

The paper contained the results of the data on the impact of various forms of sulfur-containing mineral fertilizers on productivity of winter and spring rapeseed and fatty acid

composition of oil. It has been established that sulfur-containing fertilizers application resulted in the increase of oil yield and improvement of production quality (fatty acid composition).

Поступила 15.05.2022

УДК 631.833.3:633.854.78

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-155-162](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-155-162)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СУЛЬФАТА МАГНИЯ В ПОСЕВАХ ПОДСОЛНЕЧНИКА

В. А. Гончарук, М. В. Зимина, Т. Г. Синевич

*Гродненский государственный аграрный университет,
г. Гродно, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь масличные культуры занимают ежегодно всего лишь около 7 % в структуре посевных площадей. При этом озимый рапс занимает наибольшую площадь, урожайность которого за последние 5 лет в среднем по стране составила 18,1 ц/га [7]. В то же время у наших соседей в России и Украине основной масличной культурой является подсолнечник, посевные площади которого в 2021 г. обновили рекорды и составили 9,6 и 6,5 млн га соответственно. При этом подсолнечник является одной из самых рентабельных культур в сельскохозяйственном производстве, даже при относительно невысокой урожайности, которая в среднем за пять лет в России составила 16,0 ц/га, Украине – 23,0 ц/га [4, 12]. Такая низкая урожайность подсолнечника в большинстве случаев лимитируется недостаточным количеством вносимых удобрений и отсутствием системы защиты от болезней [3].

Получение высокого урожая маслосемян подсолнечника возможно за счет создания оптимальных условий минерального питания в течение всего вегетационного периода [6, 9]. Основными элементами питания растений являются азот, фосфор и калий, однако нельзя добиться высоких урожаев применяя только эти элементы [10]. С ростом урожайности возрастает важность обеспечения растений достаточным количеством каждого их необходимых элементов питания. Особое внимание необходимо уделять таким элементам как кальций (Ca), магний (Mg) и сера (S), которые в значительном количестве нужны для роста и развития растений. Рекомендуемая норма внесения этих элементов для подсолнечника на 1 т запланированного урожая следующая: серы – 30 кг/га, магния – 20 кг/га, кальция – 50 кг/га [5].

Сера входит в состав белков, ферментов, витаминов, фитонцидов, играет важную роль в окислительно-восстановительных процессах, участвует в процессах дыхания и синтеза незаменимых аминокислот, в углеводном и азотном обмене. Сера активизирует процессы роста, способствует поглощению азота растениями, улучшает устойчивость к засухе, низким температурам, заболеваниям

и т. д. Недостаток серы в почве снижает содержание хлорофилла в листьях, задерживает деление и рост клеток растений. Из-за недостатка серы снижается не только урожайность подсолнечника, но и содержание масла в семенах.

При визуальном анализе дефицит серы часто путают с дефицитом азота. В обоих случаях наблюдается отставание растений в росте, что сопровождается общим пожелтением листьев. Сера в растении неподвижна и не перемещается из старых листьев к молодым. При дефиците серы первым часто желтеют молодые листья, тогда как при дефиците азота – старые. На почвах, бедных серой, необходимо планировать внесение этого элемента. Ведь потребность подсолнечника в сере втрое больше по сравнению с зерновыми. Недостаток серы в питании культуры проявляется на почвах легкого гранулометрического состава, с кислой реакцией почвенной среды, плохой аэрацией, с низким содержанием органического вещества [8]. Оптимизация питания серой улучшает усвоение растениями азота, увеличивает содержание масла и повышает урожай подсолнечника.

По сравнению с кальцием поступление магния в растение намного меньше. Магний входит в состав хлорофилла и непосредственно участвует в фотосинтезе, поэтому его роль в жизни растений исключительна. Данный элемент является активатором и компонентом многих ферментов растений, запускающих целый ряд сложнейших процессов. Также магний улучшает использование и мобильность фосфора, увеличивает использование железа в растениях, ускоряет созревание семян и влияет на их качество.

Магний является мобильным элементом, и при его недостатке растение перемещает его из старых листьев к новым. Поэтому признаки дефицита, в первую очередь, проявляются на нижних старых листьях: жилки остаются зелеными, а вот между ними лист желтеет и даже белеет, образуется хлороз. Желтые пятна между жилок затем превращаются в омертвевшие участки и высушенные края. При остром недостатке магния отмечается «мраморная» пятнистость, скручивание и пожелтение. Когда дефицит магния становится более ощутимым, хлорозная крапчатость поражает и молодые листья. В некоторых случаях листья отмирают и опадают.

Недостаток магния в питании подсолнечника проявляется на песчаных почвах, имеющих кислую реакцию среды, а также при высоком содержании калия в почве и при низких температурах. Магниевого удобрения под подсолнечник вносят непосредственно в почву в дозе 50–80 кг/га MgO или проводят внекорневые подкормки.

В последние годы в Республике Беларусь, как и в других странах Европы, наблюдается уменьшение содержания серы в пахотных землях, а также в почвах сенокосов и пастбищ. Это связано с существенным снижением выбросов в атмосферу сульфатов промышленными предприятиями, применением высококонцентрированных удобрений и увеличением продуктивности сельскохозяйственных культур, а, следовательно, и повышением выноса серы с урожаем.

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, в Гомельской – 6,81, в Гродненской – 5,53, в Минской – 7,33 и в Могилевской – 4,51 мг/кг почвы. На почвах сенокосов и пастбищ в Брестской области содержание серы составило 7,31 мг/кг почвы, в Гомельской – 8,17, в Гродненской – 6,68, Минской – 7,67 и Могилевской – 4,93 мг/кг почвы.

За последние четыре года поддерживающее известкование кислых почв проводилось недостаточно, не более чем на 58 % от потребности. Поэтому обозначилось небольшое снижение средневзвешенного содержания обменного магния, на пахотных землях на 8 мг, а на луговых землях на 14 мг MgO на кг почвы. Средневзвешенное содержание MgO в пахотных почвах Беларуси в настоящее время составляет 251 мг/кг, около 80 % площади характеризуется близкой к оптимальной обеспеченности почв магнием.

В то же время на 35,7 % площади пахотных земель отмечается высокое, местами избыточное, содержание обменного магния в почве. Повышенная обеспеченность магнием почв пахотных и луговых земель характерна для Витебской, Минской и Могилевской области, где больше суглинистых почв, с повышенной емкостью катионного обмена. В то же время в Гродненской области наблюдается самое низкое содержания MgO – 187 мг/кг почвы [1].

Сульфат магния бывает двух видов:

- гранулированный;
- кристаллический.

Гранулированный сульфат магния представляет собой серые гранулы размером от 1 до 5 мм. Удобрение хорошо растворяется в воде, подходит под все культуры.

Сульфат магния кристаллический делится на семиводный и одноводный.

Магний серноокислый семиводный (сульфат магния $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$) марка В – кристаллический порошок белого цвета, содержит: MgO – 16,9 %, S – 13,5 %, Na_2O – 0,05 %, Fe – 0,001 %, Mn – 0,003 %. Производитель – Буйский химический завод.

Производители микроудобрений торговых марок «Интермаг» и «Доктор Грин», применяемых в Беларуси, рекомендуют в рабочий раствор добавлять сульфат магния. Сульфат магния кристаллический рекомендуется для внекорневой (листовой) подкормки всех сельскохозяйственных культур. Это удобрение имеет хорошую сыпучесть. К основным достоинствам данного удобрения относятся: отсутствие содержания свинца, кадмия, хлоридов и других опасных веществ для растений, совместимость со всеми видами пестицидов, оно не формирует осадок и не создает непредвиденных ситуаций с объединением их в баковой смеси с пестицидами, микроудобрениями, стимуляторами роста, оперативно решает проблему дефицита магния и серы, активизирует фотосинтетические и биохимические процессы у растений, повышает коэффициент использования биогенных элементов питания из почвы, обладает высокой эффективностью в сочетании с КАС, карбамидом и микроудобрениями, предупреждает опасность ожогов растений карбамидом вследствие блокирования действия биурета (вредного вещества), которое находится в составе азотных удобрений, повышает стойкость посевов к неблагоприятным погодным условиям, обеспечивает повышение урожайности культур и качества полученной продукции (содержание белка и клейковины – в зерновых колосовых культурах; сахаристость – в сахарной

свекле; масличность – в подсолнечнике, рапсе и сое и др.). Норма расхода в баковой смеси – 3–8 кг/га.

В этой связи изучение удобрений, содержащих серу и магний, имеет особую актуальность. Цель исследований – определить эффективность применения сульфата магния при возделывании подсолнечника на рыхлосупесчаной почве в условиях Гродненской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования на посевах подсолнечника проводили в 2020–2021 гг. на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, подстилаемой с глубины 35 см связной супесью, в КПСУП «Гродненская птицефабрика» Гродненского района Гродненской области.

Агрохимическая характеристика пахотного горизонта опытных участков перед закладкой опыта была следующая: содержание гумуса – 1,74–1,89 %; pH – 5,71–5,84; содержание подвижных форм P_2O_5 – 165–195 и K_2O – 191–218 мг/кг почвы, обменных форм Ca – 925–1131 и Mg – 85–125 мг/кг почвы; обеспеченность почвы подвижными соединениями микроэлементов: бора (0,54 мг/кг почвы), марганца (1,0 М KCl) (3,1 мг/кг) и подвижного цинка (4,1 мг/кг почвы) – средняя, меди (1,0 М HCl) (1,3 мг/кг) – низкая; бонитировочный балл плодородия участка – 37,4.

В качестве основного удобрения под подсолнечник с осени под зяблевую вспашку вносили 60 кг/га P_2O_5 в виде аммонизированного суперфосфата (8 % N, 30 % P_2O_5), весной под культивацию – 210 кг/га д. в. хлористого калия (60 % K_2O), под предпосевную обработку почвы – KAC – 32–80 кг/га д. в., в подкормку в фазу 4–5 листьев – карбамид (46 % N) – 46 кг/га д. в.

Предшественником подсолнечника была озимая тритикале. Посев проводили в третьей декаде апреля сеялкой точного высева «MONOSEM» с нормой высева семян 72 тыс. шт./га с шириной междурядья 70 см, глубина заделки семян – 4–5 см.

Агротехника возделывания подсолнечника в опыте была общепринятой, с включением интегрированной системы мер защиты растений от сорняков почвенным гербицидом Гардо Голд, СЭ – 3,8 л/га, норма расхода рабочей жидкости – 200 л/га, обработка фунгицидом Пиктор, КС – 0,5 л/га в фазу начало цветения. В 2020 г. уборка проводилась в третьей декаде сентября без десикации при влажности 17–19 %, в 2021 г. в третьей декаде сентября проводилась десикация Голден Ринг, ВР – 2 л/га. Влажность при уборке в первой декаде октября составляла 14–16 %.

Закладка и проведение полевых опытов проводились согласно методике исследований со всеми требованиями, предъявляемыми к опыту. Повторность опыта – 4-кратная. Общая площадь делянки составляла 84 м² (5,6 · 15), учетная площадь – 54,6 м² (4,2 · 13). Уборка подсолнечника проводилась поделяночно вручную, общий массив в 2020 г. площадью 70 га – зерноуборочным комбайном фирмы CLAAS-Lexion 580 с кукурузной приставкой, в 2021 г. площадью 190 га – зерноуборочным комбайном JOHN DEERE 9680 WTS с подсолнечниковой жаткой Falcon 1270 (производитель «Ростсельмаш»).

Объектом исследования являлся среднеранний гибрид подсолнечника PIONEER – П63ЛЛ06: простой линолевый гибрид, вегетационный период – 112 дней (RM 41). Данный гибрид включен в государственный реестр в 2017 г., районирован

для выращивания в Брестской, Гомельской, Гродненской, Минской областях и характеризуется следующими параметрами: высота растений ниже средней, высокая урожайность и масличность, хорошая устойчивость к ложной мучнистой росе, высокая стойкость к полеганию.

Все результаты исследований подвергали статистической обработке с использованием дисперсионного анализа.

В исследованиях также применяли борное удобрение Интермаг Бор (производитель Intermag) Удобрение содержит 11 % (150 г/л) бора в легкоусваиваемой, органической форме (борэтаноламин).

Схема опыта была следующей:

1. $N_{126}P_{60}K_{210}$ – Фон.
2. Фон + Сульфат магния 15 кг ф. в. (внесение в почву).
3. Фон + Сульфат магния 5 кг ф.в. + 5 кг ф. в. + 5 кг ф. в. (некорневая подкормка).
4. Фон + Интермаг Бор 1,0 л/га + 1,5 л/га +(1,0 л/га + Пиктор 0,5 л/га).
5. Фон + (Сульфат магния 5 кг ф. в. + Интермаг Бор 1,0 л/га) + (Сульфат магния 5 кг ф. в. + Интермаг Бор 1,5 л/га) + (Сульфат магния 5 кг ф. в. + Интермаг Бор 1,0 л/га + Пиктор 0,5 л/га).

Почвенное внесение сульфата магния проводили в основной прием однократно перед посевом подсолнечника. Некорневая подкормка проводилась в 3 срока: первая подкормка – в фазу 5–6 листьев, вторая подкормка – в фазу 10–12 листьев, третья – в фазу начала цветения. В хозяйстве проводится три подкормки борными удобрениями и одна обработка фунгицидом Пиктор.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность семян в 2021 г. была выше по сравнению с 2020 г., что связано с более благоприятными погодными условиями, которые сложились в 2021 году. В 2020 г. урожайность семян подсолнечника изменялась от 20,2 (фоновый вариант) до 32,5 ц/га. В 2021 г. она составила 30,7–42,7 ц/га. В среднем за два года при соблюдении всех элементов технологии возделывания подсолнечника получена урожайность семян на уровне 25,8–37,6 ц/га (табл. 1).

Внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений обусловило получение 25,8 ц/га семян подсолнечника. Установлено, что внесение под подсолнечник сульфата магния в почву в дозе 15 кг/га не оказало достоверного влияния на урожайность. В этом варианте получено 26,1 ц/га семян подсолнечника. Однако, при внесении этого удобрения в три некорневые подкормки в дозе 5 кг/га, прибавка урожайности составила 2,3 ц/га, или 8,9 % относительно фонового варианта. В этом варианте в среднем за два года получена урожайность семян 28,1 ц/га. Известно, что подсолнечник очень требователен к бору [9]. В вариантах с внесением борного удобрения Интермаг Бор и фунгицида Пиктор, а также борного удобрения, сульфата магния и фунгицида получена в среднем за два года максимальная урожайность семян подсолнечника 36,4–37,6 ц/га. Прибавка относительно фонового варианта составила 10,6–11,8 ц/га, или 41,1–45,7 %.

Качество семян подсолнечника оценивается содержанием масла в семенах. Важно отследить, как влияют применяемые удобрения на данный показатель. За годы исследований масличность семян подсолнечника колебалась от 45,9 до 48,9 % (табл. 2).

Таблица 1

Влияние удобрений на урожайность семян подсолнечника

Вариант	Годы		В среднем за два года	Прибавка к фону	
	2020	2021		ц/га	%
1. Фон – N ₁₂₆ P ₆₀ K ₂₁₀	20,2	31,4	25,8	–	–
2. Фон + MgSO ₄ (15 кг/га ф. в.)	21,5	30,7	26,1	0,3	1,2
3. Фон + MgSO ₄ (5кг/га + 5 кг/га + 5 кг/га ф. в.)	22,9	33,3	28,1	2,3	8,9
4. Фон + Интермаг Бор 1,0 л/га + 1,5 л/га + (1,0 л/га + Пиктор 0,5 л/га)	31,9	40,9	36,4	10,6	41,1
5. Фон + (MgSO ₄ 5 кг ф. в + Интермаг Бор 1,0 л/га) +(MgSO ₄ 5 кг ф. в + Интермаг Бор 1,5 л/га) + (MgSO ₄ 5 кг ф. в + Интермаг Бор 1,0 л/га + Пиктор 0,5 л/га)	32,5	42,7	37,6	11,8	45,7
HCP ₀₅	1,5	1,8	–	–	–

Таблица 2

Влияние минеральных удобрений на масличность семян подсолнечника

Вариант	Годы		В среднем за два года	Прибавка к фону, %
	2020	2021		
1. Фон – N ₁₂₆ P ₆₀ K ₂₁₀	46,5	45,9	46,2	
2. Фон + MgSO ₄ (15 кг/га ф. в.)	46,8	46,4	46,6	0,4
3. Фон + MgSO ₄ (5кг/га+5 кг/га+5 кг/га ф. в.)	47,4	46,8	47,1	0,9
4. Фон + Интермаг Бор 1,0 л/га + 1,5 л/га + (1,0 л/га + Пиктор 0,5 л/га)	48,7	47,7	48,2	2,0
5. Фон + (MgSO ₄ 5 кг ф. в + Интермаг Бор 1,0 л/га) +(MgSO ₄ 5 кг ф. в + Интермаг Бор 1,5 л/га) + (MgSO ₄ 5 кг ф. в + Интермаг Бор 1,0 л/га + Пиктор 0,5 л/га)	48,9	48,1	48,5	2,3
HCP ₀₅	1,2	1,1	–	–

При внесении сульфата магния на фоне применения азотных, фосфорных и калийных удобрений наблюдалась лишь тенденция к увеличению масличности семян подсолнечника. Данный показатель в этих вариантах составил в среднем за два года 46,6–47,1 %. Максимальная масличность семян подсолнечника в исследованиях 48,2–48,5 % получена в вариантах с совместным внесением удобрения Интермаг Бор в три некорневые подкормки и фунгицида Пиктор, а также удобрения Интермаг Бор, сульфата магния и фунгицида Пиктор. Относительно фонового варианта масличность семян увеличилась на 2,0–2,3 %.

Расчет экономической эффективности производства семян подсолнечника по технологической карте с учетом 20 % амортизации и текущих цен на 01.12.2021 г. при закупочной цене 1330 руб./т, показал, что производственные затраты на 1 га при возделывании подсолнечника по интенсивной технологии в варианте с внесением удобрений Интермаг Бор, сульфат магния и фунгицида составляют около 1900 руб./га. За счет собственной переработки маслосемян и продажи масла, уровень рентабельности можно увеличить еще на 20–30 %.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований установлено, что подкормка подсолнечника, возделываемого на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, подстилаемой связной супесью, удобрением сульфат магния в дозе 5 кг/га, оказывает положительное влияние на урожайность семян подсолнечника. Применение удобрения увеличило урожайность на 2,3 ц/га, или 8,9 %. При внесении сульфата магния в дозе 5 кг/га с удобрением Интермаг Бор 1л/га + 1,5 л/га + 1 л/га в некорневые подкормки и фунгицида Пиктор 0,5 л/га обеспечило повышение урожайности семян подсолнечника на 11,8 ц/га, или 45,7 %, масличность семян увеличилась на 2,3 % по отношению к фону.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016) / И. М. Богдевич [и др.]; под. общ. ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 275 с.
2. Возделывание подсолнечника на маслосемена. Типовые технологические процессы: утв. М-вом сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь 03.03.09: введ. 03.04.09. – Минск: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2009. – 29 с.
3. Высокоолеиновый подсолнечник: аграриям – премия, потребителям – здоровый продукт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agroportal.ua/views/mnenieeksperta/vysokooleinovyi-podsolnechnik-agrariyam-premiyapotrebitelyam-zdorovyi-produkt/> – Дата доступа: 27.12.2021.
4. Державна служба статистики України [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ukrstat.gov.ua/> – Дата звернення: 25.01.2022.
5. Доценко, О. Удобрения сояшнику: сучасно та ефективно / О. Доценко, М. Мірошніченко, Д. Семенов // Пропозиція нова. – 2015. – № 5. – С. 58–62.
6. Крючков, А. Подсолнечник – почвенный «вампи́р»: какие удобрения нужно вносить под подсолнечник [Электронный ресурс] / А. Крючков // Пропозиція – 2017. – № 6. – С. 68–70 – Режим доступа: <http://propozitsiya.com/podsolnechnik-rochvennyu-vampir-kakie-udobrenie-nuzhno-vnosit-pod-podsolnechnik>. – Дата доступа: 25.09.2017.
7. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 24.01.2022.
8. Пироговская, Г. В. Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество озимого и ярового рапса на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве / Г. В. Пироговская и [др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 114–124.
9. Привалов, Ф. И. Использование микроудобрений при возделывании

подсолнечника масличного / Ф. И. Привалов // Земляробства і ахова раслін. – 2012. – № 5. – С. 35–38.

10. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур: учеб.-метод. пособие / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша, П. А. Саскевича; Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки : БГСХА, 2016. – 383 с.

11. Усовершенствованная система удобрения подсолнечника при возделывании его по кукурузной соломе на дерново-подзолистой супесчаной почве / Т. М. Серая [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 2(№ 53). – С. 95–102.

12. Федеральная служба государственной статистики России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gks.ru/> – Дата доступа: 22.01.2022.

13. Чехова, І. Рентабельність олійних культур у 2021 році [Электронный ресурс] / І. Чехова // Пропозиція – Головний журнал з питань агробізнесу – Режим доступа: <https://propozitsiya.com/ua/rentabelnist-oliynyh-kultur-u-2021-roci> . – Дата звернення: 27.12.2021.

14. Эффективность применения микроудобрений в посевах подсолнечника / В. А. Гончарук, М. С. Брилев // Земледелие и защита растений. – 2018. – № 2(117). – С. 17–20.

EFFICIENCY OF THE USE OF MAGNESIUM SULFATE IN SUNFLOWER CROPS

V. A. Goncharuk, M. V. Zimina, T. G. Sinevich

Summary

The article presents the results of field studies on the effectiveness of magnesium sulfate in sunflower crops. It was found that the combined application of boron fertilizer Intermag Boron and magnesium sulfate in three foliar top dressing and Pictor fungicide once against the background of $N_{126}P_{60}K_{210}$ increases the yield of sunflower seeds by 11,8 centner/hectares. The oil content of seeds increased by 2,3 %.

Поступила 24.03.2022

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая, Ю. А. Белявская,
Т. М. Кирдун, О. М. Бирюкова, М. М. Торчило

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

ВВЕДЕНИЕ

Общеизвестно, что микроэлементы в небольших количествах играют важную роль в протекании биохимических и физиологических процессов в растениях. Помимо эссенциальных, т. е. жизненно необходимых микроэлементов (Со, Мп, Zn, Си и ряд других), в растениях накапливаются кадмий и свинец, для которых до сих пор не выяснено значение в функционировании растительного организма; при этом установлены различные паталогические нарушения как в растениях, так и в живых организмах под влиянием этих элементов даже при наличии в небольшом количестве. Хотя имеются данные о жизненной необходимости свинца для животных [1]. Следует иметь в виду, что разница между достаточными концентрациями микроэлементов в растениях, как необходимыми компонентами питания и их токсичным накоплением, не всегда довольно большая. Поэтому понятие «тяжелые металлы» достаточно условно и близко к понятию «микроэлементы», хотя и не тождественно ему. В данной работе мы будем использовать термин «микроэлементы», исходя из того, что если Cd и Pb присутствуют в растениях в концентрациях ниже установленных нормативов, то они не опасны для животных и человека.

Основным фактором, влияющим на поступление микроэлементов в растения, является их содержание в почве, и прежде всего, запасы физиологически доступных подвижных форм. К настоящему времени выявлено, что по мере повышения уровня эффективного плодородия почв и роста урожайности сельскохозяйственных культур подвижность ряда элементов в почвах уменьшается, что может сказаться на нормальном развитии растений, их качестве и продуктивности. В работах [2–6] показано, что содержание обменного марганца, подвижного железа и цинка снижалось при уменьшении кислотности почв. Согласно последнему туру обследования почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь средневзвешенное содержание меди в пахотных почвах составляет 1,83 мг/кг, при этом доля первой и второй групп обеспеченности с содержанием менее 3,0 мг/кг достигает 88,5 % [7, 8]. Почвы пахотных земель также недостаточно обеспечены цинком – при средневзвешенном содержании 3,0 мг/кг его дефицит проявляется на 90,8 % площади.

Сельскохозяйственные культуры, возделываемые на почвах пахотных земель, являются первичным звеном в пищевой цепи растения – корма – животные –

продукты животноводства – человек. В Республике Беларусь изучению содержания микроэлементов в сельскохозяйственных культурах и оптимизации их питания путем применения микроудобрений посвящено множество исследований [3, 4, 9–12]. Однако следует отметить, что преобладающее количество работ направлено на изучение концентрации Zn, Cu, Co и Mn в почвах и сельскохозяйственных культурах, в то время как по остальным элементам имеются лишь фрагментарные сведения.

В связи с внедрением на предприятиях АПК интенсивных технологий и появлением новых высокоурожайных сортов культур информация о среднем содержании микроэлементов в основной и побочной продукции и степени их варьирования в сельскохозяйственных культурах не теряет своей актуальности.

Цель исследований – установление микроэлементного состава сельскохозяйственных культур, произрастающих на территории Республики Беларусь.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Растительные образцы отбирали при проведении маршрутных обследований по областям республики в 2015–2016 гг., а также в полевых опытах РУП «Институт почвоведения и агрохимии» за это же время в период полной спелости зерна и семян.

При проведении маршрутных обследований отбор образцов растений проводили в производственных посевах методом конверта в 5 разных точках с расстоянием 150–200 м между ними с площадок размером 0,25 м² при помощи метровки. Отобранные пробные снопы растительных образцов снабжали этикетками и упаковывали в мешки или бумагу с последующим высушиванием до воздушно-сухого состояния. После подсушивания растительные пробы обмолачивали вручную; из каждого образца отбирали пробу для определения содержания микроэлементов в зерне (семенах) и соломе.

В растительных образцах содержание микроэлементов определяли в зольном остатке после сухой минерализации при температуре 525–530 °С методом атомно-абсорбционной спектроскопии на атомно-абсорбционном спектрометре ICE 3000 Series согласно [13]. При статистической обработке полученных результатов рассчитывали доверительный интервал для среднего значения ($\pm t_{05} s_x$) и коэффициент вариации (V, %) с использованием программы Microsoft Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные свидетельствовали о значительной вариабельности содержания микроэлементов в основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур не только в зависимости от видового состава, но и в пределах одной культуры, что обусловлено сортовыми особенностями, различными почвенно-климатическими условиями, обеспеченностью элементами питания и другими факторами при их возделывании в производственных условиях. Согласно градации, представленной в работе [14], только содержание меди (6–44 %), цинка (8–34 %) и марганца (14–42 %) в зерне (семенах) исследуемых культур находилось в пределах нормального варьирования (табл. 1).

Таблица 1

Содержание микроэлементов в основной продукции сельскохозяйственных культур, мг/кг в сухом веществе

Зерно (семена)	Показатель	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
Озимой пшеницы	$\bar{X} \pm t_{0,95} S_x$	25,9±4,5	3,23±0,40	19,7±1,6	13,3±2,0	0,064±0,033	0,48±0,15	0,17±0,04	0,36±0,13	0,76±0,17
	lim	13,8–68,7	1,21–5,42	12,5–28,9	7,1–30,6	0,001–0,150	0,06–1,02	0,05–0,42	0,05–0,95	0,10–1,66
	V %	49	36	23	42	86	70	60	78	66
Озимой тритикале	$\bar{X} \pm t_{0,95} S_x$	20,2±3,2	3,66±0,36	24,0±2,2	14,4±2,0	0,028±0,004	0,47±0,14	0,20±0,05	0,19±0,03	0,36±0,07
	lim	7,3–42,3	1,50–6,55	11,8–42,8	6,1–30,2	0,010–0,051	0,07–1,18	0,04–0,64	0,03–0,41	0,07–1,16
	V %	50	32	29	42	39	70	79	50	65
Озимой ржи	$\bar{X} \pm t_{0,95} S_x$	17,4±8,6	3,64±1,33	22,4±6,4	14,9±5,2	0,023±0,009	0,50±0,21	0,23±0,14	0,31±0,19	0,41±0,22
	lim	12,4–23,4	1,35–7,00	12,4–37,5	6,5–25,3	0,010–0,040	0,10–0,93	0,08–0,58	0,06–0,66	0,10–0,88
	V %	31	44	34	41	45	51	75	72	64
Яровой пшеницы	$\bar{X} \pm t_{0,95} S_x$	19,9±2,5	4,13±0,57	20,6±1,9	17,4±2,9	0,034±0,006	0,55±0,12	0,18±0,04	0,16±0,04	0,28±0,06
	lim	10,0–39,0	1,79–7,49	12,1–36,8	7,6–32,6	0,003–0,087	0,02–1,08	0,02–0,47	0,03–0,44	0,08–0,60
	V %	32	36	23	41	50	56	67	68	52
Ярового ячменя	$\bar{X} \pm t_{0,95} S_x$	32,6±4,4	3,20±0,33	21,1±1,9	9,0±1,0	0,030±0,007	0,34±0,09	0,22±0,04	0,25±0,07	0,26±0,06
	lim	13,0–63,1	1,33–5,48	12,4–39,2	5,8–19,2	0,001–0,090	0,03–0,78	0,03–0,55	0,06–0,81	0,08–0,64
	V %	40	31	27	31	72	68	64	86	58
Овса	$\bar{X} \pm t_{0,95} S_x$	38,2±6,4	2,75±0,45	21,0±2,1	24,6±3,6	0,036±0,005	0,20±0,08	0,20±0,05	0,25±0,06	0,41±0,10
	lim	17,4–60,1	1,01–4,99	15,0–36,2	11,1–45,1	0,021–0,070	0,02–0,49	0,03–0,47	0,02–0,44	0,07–0,87
	V %	38	37	23	34	29	66	59	50	57

Окончание табл.1

Зерно (семена)	Показатель	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
Кукурузы	$\bar{x} \pm t_{0,95} S_x$	20,7±3,5	1,94±0,28	17,3±1,8	5,2±0,5	0,067±0,027	0,45±0,17	0,28±0,06	0,20±0,05	0,31±0,10
	lim	14,1–38,0	1,23–3,14	11,9–26,3	3,7–7,7	0,030–0,130	0,01–0,89	0,04–0,57	0,03–0,42	0,03–0,76
	V %	30	27	19	17	66	62	47	60	69
Гречихи	$\bar{x} \pm t_{0,95} S_x$	18,6±1,9	5,60±0,37	19,9±0,6	19,3±1,1	0,030±0,011	0,21±0,06	0,22±0,02	0,21±0,04	0,19±0,06
	lim	10,6–30,3	2,78–9,58	16,9–23,4	13,4–25,9	0,002–0,070	0,02–0,43	0,08–0,37	0,02–0,47	0,02–0,58
	V %	30	19	8	16	74	69	35	48	77
Озимого рапса	$\bar{x} \pm t_{0,95} S_x$	44,2±10,3	3,08±0,11	26,3±3,6	18,2±2,8	0,045±0,013	0,58±0,31	0,25±0,08	0,46±0,19	0,33±0,12
	lim	15,3–68,9	2,78–3,35	14,4–33,7	12,4–27,8	0,010–0,080	0,02–1,46	0,05–0,44	0,09–0,99	0,08–0,70
	V %	39	6	23	25	44	84	52	76	59
Ярового рапса	$\bar{x} \pm t_{0,95} S_x$	42,3±7,7	4,02±0,66	38,0±5,8	24,5±3,3	0,060±0,038	0,32±0,17	0,25±0,13	0,32±0,15	0,37±0,15
	lim	20,5–56,4	2,94–5,51	26,2–51,0	15,9–34,6	0,020–0,120	0,05–0,76	0,05–0,50	0,05–0,68	0,09–0,86
	V %	29	23	24	21	60	78	59	70	69
Подсолнечника	$\bar{x} \pm t_{0,95} S_x$	38,5±6,5	14,1±1,1	32,7±2,6	16,6±1,3	0,069±0,021	0,13±0,05	0,30±0,10	0,42±0,20	0,39±0,22
	lim	27,2–65,4	11,6–18,9	26,6–41,2	13,0–20,6	0,010–0,130	0,03–0,21	0,06–0,62	0,08–0,97	0,03–0,82
	V %	31	14	14	14	58	50	61	80	67
ДУ [15] в зерне на кормовые цели (злаковые и масличные)		–	–	–	–	0,58	5,81	–	–	–
ДУ в зерне на пищевые цели [16]	злаковые	–	–	–	–	0,12	0,58	–	–	–
	масличные	–	–	–	–	0,11	1,10	–	–	–

Таблица 2

Содержание микроэлементов в соломе сельскохозяйственных культур, мг/кг в сухом веществе

Солома	Показатель	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
Озимой пшеницы	$\bar{X} \pm t_{05} S_{\bar{X}}$	54±5	1,86±0,22	7,6±1,0	15,3±3,0	0,09±0,03	0,73±0,19	0,35±0,07	0,48±0,06	1,23±0,20
	lim	22-131	0,91-6,48	2,2-23,4	3,5-80,5	0,01-0,27	0,03-1,73	0,06-1,08	0,11-1,01	0,22-2,42
	V %	41	50	54	86	72	70	59	48	52
Озимой тритикале	$\bar{X} \pm t_{05} S_{\bar{X}}$	57±6	1,82±0,18	9,1±0,9	14,4±2,5	0,04±0,02	0,68±0,18	0,36±0,07	0,37±0,06	0,72±0,14
	lim	26-150	0,83-5,24	3,4-25,1	3,4-73,9	0,01-0,16	0,03-1,74	0,10-1,23	0,05-1,14	0,11-2,15
	V %	47	48	47	82	90	70	66	70	67
Озимой ржи	$\bar{X} \pm t_{05} S_{\bar{X}}$	49±7	2,11±0,28	10,2±2,1	17,8±5,7	0,10±0,05	0,68±0,25	0,31±0,17	0,46±0,14	0,63±0,29
	lim	27-112	1,08-3,73	3,7-26,4	4,7-72,0	0,04-0,24	0,22-1,64	0,06-0,85	0,06-1,49	0,18-1,71
	V %	40	34	54	84	68	64	76	69	72
Яровой пшеницы	$\bar{X} \pm t_{05} S_{\bar{X}}$	37±3	2,06±0,30	6,1±0,8	16,0±4,0	0,05±0,02	0,95±0,49	0,22±0,06	0,47±0,09	0,56±0,10
	lim	21-67	1,07-4,98	2,4-15,2	3,6-60,3	0,01-0,15	0,14-2,49	0,06-0,85	0,06-1,05	0,19-1,43
	V %	30	51	44	89	76	95	76	62	49
Ярового ячменя	$\bar{X} \pm t_{05} S_{\bar{X}}$	57±7	2,50±0,26	8,9±1,2	14,7±2,9	0,10±0,03	0,85±0,18	0,39±0,08	0,54±0,06	0,72±0,11
	lim	21-136	1,03-6,23	3,2-30,1	4,0-77,9	0,001-0,29	0,05-1,78	0,05-1,26	0,13-1,28	0,16-1,69
	V %	51	47	60	88	92	62	68	42	50
Овса	$\bar{X} \pm t_{05} S_{\bar{X}}$	43±4	2,10±0,25	8,8±1,2	21,6±5,5	0,07±0,02	0,66±0,17	0,42±0,08	0,51±0,07	0,61±0,12
	lim	17-86	0,70-4,92	3,3-26,0	5,0-86,8	0,003-0,20	0,05-1,70	0,06-0,96	0,04-1,25	0,13-1,59
	V %	38	44	53	92	90	70	65	52	65

Окончание табл. 2

Солома	Показатель	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
Кукурузы	\bar{x}	99±17	4,07±0,37	15,1±3,4	40,6±8,9	0,17±0,05	0,71±0,21	0,58±0,15	0,60±0,12	1,58±0,53
	$\pm t_{05}S_{\bar{x}}$									
	lim	47–212	1,96–6,18	4,4–44,7	10,8–118	0,04–0,42	0,20–1,85	0,15–1,47	0,04–1,33	0,17–4,06
Гречи	\bar{x}	48	28	69	72	54	66	61	56	88
	$\pm t_{05}S_{\bar{x}}$	38±9	3,31±0,58	13,6±1,7	23,7±4,4	0,06±0,01	0,38±0,16	0,31±0,08	0,41±0,14	0,46±0,12
	lim	13–91	1,84–8,17	6,6–26,2	12,2–51,6	0,003–0,09	0,06–1,27	0,05–0,84	0,04–1,13	0,08–1,34
Озимого рапса	\bar{x}	64	50	37	53	39	89	77	96	74
	$\pm t_{05}S_{\bar{x}}$	32±6	2,16±0,16	6,1±1,4	19,8±6,2	0,09±0,03	2,01±0,49	0,32±0,06	1,20±0,13	0,41±0,13
	lim	10–60	1,26–3,04	2,3–19,6	6,1–56,6	0,01–0,16	0,33–2,75	0,21–0,47	0,40–1,87	0,11–0,84
Ярового рапса	\bar{x}	41	18	56	74	58	39	31	26	53
	$\pm t_{05}S_{\bar{x}}$	35±16	2,78±0,73	11,6±4,3	20,1±9,4	0,15±0,07	1,15±0,64	0,35±0,09	0,77±0,38	0,44±0,14
	lim	9–79	1,82–4,99	3,1–22,7	7,8–57,0	0,02–0,21	0,43–2,77	0,18–0,48	0,23–1,32	0,16–0,78
Подсолнечника	\bar{x}	73	43	64	81	51	73	31	60	44
	$\pm t_{05}S_{\bar{x}}$	77±35	8,54±2,48	16,4±6,2	31,8±8,5	0,09±0,05	0,20±0,14	0,36±0,20	0,80±0,26	1,01±0,75
	lim	23–200	2,77–15,9	4,2–38,5	16,1–72,5	0,04–0,15	0,08–0,36	0,05–0,77	0,16–1,66	0,14–1,98
ДУ [15]	\bar{x}	86	60	76	54	41	54	76	63	80
	lim	–	–	–	–	0,30	2,38	–	–	–

ДУ – допустимые уровни пересчитаны на сухое вещество для удобства сравнения.

Коэффициенты вариации содержания железа в зерне (семенах) составили 29–40 % и были в пределах верхней нормы нормальной вариабельности (за исключением зерна озимых пшеницы и тритикале – 49–50 % – значительная вариация). По остальным элементам (Ni, Co, Cd, Pb, Cr) в зерне (семенах) размеры варьирования между минимальными и максимальными значениями достигали больших размеров – 29–86 % (группы вариабельности от нормальной до очень большой). В отличие от зерна, относительные колебания концентраций всех изучаемых микроэлементов в соломе были достаточно широкими, в пределах 18–96 %, вариабельность оценивалась от нормальной до очень большой (табл. 2).

Определено, что содержание железа в отобранных образцах зерна и семян разных культур было в пределах 7,3–68,9 мг/кг, меди – 1,01–18,9 мг/кг, цинка – 11,8–51,0 мг/кг, марганца – 3,7–45,1 мг/кг, кадмия – 0,001–0,150 мг/кг, свинца – 0,01–1,46 мг/кг, никеля – 0,02–0,64 мг/кг, кобальта – 0,02–0,99 мг/кг, хрома – 0,02–1,66 мг/кг. В соломе исследуемых культур концентрация железа находилась на уровне 9–212 мг/кг, меди – 0,70–15,9 мг/кг, цинка – 2,2–44,7 мг/кг, марганца – 3,4–118 мг/кг, кадмия – 0,001–0,42 мг/кг, свинца – 0,03–2,77 мг/кг, никеля – 0,05–1,47 мг/кг, кобальта – 0,04–1,87 мг/кг, хрома – 0,08–4,06 мг/кг.

В расчете на средние показатели наиболее высокая аккумуляция железа (42,3–44,2 мг/кг) отмечена в семенах ярового и озимого рапса при наименьшем его содержании в зерне озимой ржи и гречихи (17,4–18,6 мг/кг). При этом солома рапса, наоборот, из всех исследуемых культур характеризовалась самой низкой концентрацией этого элемента (32–35 мг/кг) при максимуме в побочной продукции кукурузы и подсолнечника (77–99 мг/кг).

Цинк и марганец также максимально накапливались в растительных остатках кукурузы и подсолнечника (15,1–16,4 мг/кг и 31,8–40,6 мг/кг соответственно) при минимальных показателях по Zn (6,1 мг/кг) в соломе озимого рапса и яровой пшеницы; Mn (14,4–17,8 мг/кг) – в соломе яровых и озимых зерновых культур (за исключением побочной продукции овса). В то же время в зерне кукурузы аккумуляровалось наименьшее количество цинка (17,3 мг/кг) и марганца (5,2 мг/кг); наибольшее содержание Zn (38,0 мг/кг) отмечено в семенах ярового рапса, Mn – в зерне овса и семенах ярового рапса (24,5–24,6 мг/кг).

Больше всего меди содержалось в семенах (14,1 мг/кг) и побочной продукции (8,54 мг/кг) подсолнечника при наименьшем содержании в зерне кукурузы (1,94 мг/кг) и соломе озимых тритикале и пшеницы (1,82–1,86 мг/кг).

Никель практически в одинаковых количествах накапливался в зерне всех изучаемых сельскохозяйственных культур, варьируя в пределах 0,17–0,25 мг/кг при более высокой концентрации в зерне кукурузы и семенах подсолнечника (0,28–0,30 мг/кг). Довольно близким уровнем поглощения никеля (0,31–0,42 мг/кг) характеризовалась и побочная продукция, за исключением соломы яровой пшеницы, в которой накопление этого элемента составило всего 0,22 мг/кг, и растительных остатков кукурузы с его максимальной концентрацией на уровне 0,58 мг/кг.

Кобальт в наибольшей степени аккумуляровался в семенах озимого рапса и подсолнечника – 0,42–0,46 мг/кг, далее по уровню накопления этого элемента следовали семена ярового рапса и зерно озимых пшеницы и ржи (0,31–0,36 мг/кг), затем яровых культур, озимой тритикале, кукурузы и гречихи (0,16–0,25 мг/кг). По соломе наиболее высокий показатель по его поглощению установлен для озимого рапса (1,20 мг/кг), наименьший – для озимой тритикале и гречихи (0,37–0,41 мг/кг).

Меньше всего хрома по сравнению с другими культурами (0,19 мг/кг) содержалось в зерне гречихи, больше всего (0,76 мг/кг) – в зерне озимой пшенице. В побочной продукции максимальное поглощение хрома (1,01–1,58 мг/кг) отмечено для озимой пшеницы, кукурузы и подсолнечника; промежуточное положение занимала солома яровых зерновых культур, озимых тритикале и ржи (0,56–0,72 мг/кг) при минимальной концентрации в гречихе, озимом и яровом рапсе (0,41–0,46 мг/кг).

Что касается кадмия, то, несмотря на некоторую вариабельность, его среднее содержание в зерне сельскохозяйственных культур не превышало 0,07 мг/кг. В побочной продукции наиболее сильно этот элемент аккумулировался в кукурузе и яровом рапсе (0,15–0,17 мг/кг), в наименьшей степени – в соломе озимой тритикале, яровой пшеницы и гречихи (0,04–0,06 мг/кг).

Из полученных данных следует, что минимальным накоплением свинца как в семенах (0,13 мг/кг), так и в растительных остатках (0,20 мг/кг) характеризовался подсолнечник; максимальная его аккумуляция на уровне 0,58 и 2,01 мг/кг соответственно отмечена в озимом рапсе.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о потенциальных возможностях варьирования микроэлементного состава как вегетативных, так и репродуктивных органов сельскохозяйственных культур при довольно значительной разнице между минимальным и максимальным содержанием изучаемых элементов. В Республике Беларусь в соответствии с действующими документами [15, 16] для обеспечения безопасности кормов и пищевой продукции регламентируется только содержания кадмия и свинца в растениеводческой продукции, для остальных изучаемых микроэлементов допустимые уровни (ДУ) отсутствуют. В расчете на средние показатели содержание кадмия и свинца в основной и побочной продукции исследуемых культур не превышало ДУ, установленных для зерна на пищевые и кормовые цели, а также для грубых кормов. Однако концентрация кадмия в некоторых отобранных образцах зерна озимой пшеницы и кукурузы, а также в семенах подсолнечника и ярового рапса была выше регламентируемого норматива при их использовании на пищевые цели. Накопление свинца в некоторых пробах всех изучаемых яровых и озимых зерновых культур также превышало гигиенические требования безопасности к пищевой продукции. Что касается соломы, то больше ДУ, установленного для грубых кормов, этот элемент накапливался только в яровой пшенице.

В целом по величинам абсолютного содержания в зерне и соломе микроэлементы образуют практически идентичные ряды:

- зерно: Fe > Zn > Mn > Cu > Pb, Cr, > Co > Ni > Cd;
- солома: Fe > Mn > Zn > Cu > Cr, Pb > Co > Ni > Cd.

Отмечено, что только для Zn и Cu характерен более высокий уровень содержания в репродуктивных органах (зерне, семенах) при меньшей аккумуляции в вегетативных органах (соломе), за исключением кукурузы, растительные остатки которой содержали в 2,1 раза больше меди по сравнению с основной продукцией. Согласно [17] эти элементы можно отнести к группе безбарьерного накопления, т. е. их содержание в зерне больше, чем в соломе. Марганец аккумулировался в основной продукции изучаемых культур в соответствии с предложенной группировкой по практически безбарьерному типу – его накопление в зерне и соломе было довольно близким. Только, как и в случае с цинком и медью,

между его концентрацией в зерне и растительных остатках кукурузы установлена большая разница – содержание этого элемента в листостебельной массе было в 7,8 раз выше по сравнению с зерном. Остальные изучаемые элементы относятся к группе барьерного накопления, поскольку более интенсивно накапливались в побочной продукции сельскохозяйственных культур, что указывает на существование определенных барьеров по их перемещению в генеративные органы.

Оценка возможного выноса микроэлементов основной и побочной продукцией сельскохозяйственных культур на основании полученных экспериментальных данных представлена в таблице 3.

Таблица 3

Хозяйственный вынос микроэлементов урожаем сельскохозяйственных культур

Культура	Урожайность, ц/га	Вынос микроэлементов, г/га								
		Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
зерновые культуры										
Озимая пшеница	35,1	236	15	82	85	0,46	3,6	1,5	2,5	5,9
Озимое тритикале	28,7	217	14	86	78	0,19	3,2	1,6	1,6	3,0
Озимая рожь	24,3	180	14	77	83	0,34	3,0	1,4	2,0	2,7
Яровая пшеница	27,0	155	16	66	87	0,23	4,1	1,1	1,8	2,3
Яровой ячмень	27,0	243	15	75	64	0,36	3,3	1,7	2,2	2,7
Овес	24,9	208	12	71	116	0,28	2,4	1,7	2,0	2,7
Кукуруза	57,9	602	30	162	231	1,19	5,8	4,3	4,0	9,5
Гречиха	10,3	128	15	58	87	0,20	1,3	1,1	1,4	1,5
масличные культуры										
Озимый рапс	17,1	163	11	59	87	0,33	6,8	1,3	4,2	1,7
Яровой рапс	12,8	152	13	78	88	0,51	3,8	1,3	2,6	1,7
Подсолнечник	30,0	495	82	174	207	0,65	1,4	2,7	5,2	6,2

При расчете хозяйственного выноса элементов взята средняя урожайность зерна (семян) по Республике Беларусь за 2018–2020 гг. согласно [18], урожайность соломы зерновых и крестоцветных культур принята на уровне 3,5 т/га га, растительных остатков подсолнечника и кукурузы на зерно – 6 т/га. Определено, что наиболее высокий вынос изучаемых элементов характерен для кукурузы и подсолнечника, наименьший – для гречихи, что обусловлено их накоплением в основной и побочной продукции и биологической продуктивностью возделываемых культур.

При отчуждении с почв пахотных земель только основной продукции в зависимости от вида заделанной соломы в почву на гектарную площадь поступит больше всего железа (94–499 г), затем марганца (42–205 г), цинка (18–83 г) и меди (5,4–43 г) при близких значениях кобальта (1,1–4,0 г) и свинца (1,0–5,9 г). Возрат хрома составит 1,2–8,0 г/га при минимальном поступлении никеля (0,6–2,9 г/га) и кадмия (0,12–0,86 г/га) (табл. 4).

**Возможное поступление в почву микроэлементов при запашке соломы
сельскохозяйственных культур, г/га (на стандартную влажность)**

Солома	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
зерновые культуры									
Озимой пшеницы	158	5,5	22	45	0,26	2,1	1,0	1,4	3,6
Озимой тритикале	168	5,4	27	42	0,12	2,0	1,1	1,1	2,1
Озимой ржи	144	6,2	30	52	0,29	2,0	0,9	1,4	1,9
Яровой пшеницы	109	6,1	18	47	0,15	2,8	0,6	1,4	1,6
Ярового ячменя	168	7,4	26	43	0,29	2,5	1,1	1,6	2,1
Овса	126	6,2	26	64	0,21	1,9	1,2	1,5	1,8
Кукурузы	499	21	76	205	0,86	3,6	2,9	3,0	8,0
Гречихи	112	10	40	70	0,18	1,1	0,9	1,2	1,4
масличные культуры									
Озимого рапса	94	6,4	18	58	0,26	5,9	0,9	3,5	1,2
Ярового рапса	103	8,2	34	59	0,44	3,4	1,0	2,3	1,3
Подсолнечника	388	43	83	160	0,45	1,0	1,8	4,0	5,1

ВЫВОДЫ

Определен микроэлементный состав основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур, возделываемых в Республике Беларусь. В зависимости от их видового состава среднее содержание железа в зерне и семенах составило 17,4–44,2 мг/кг, меди – 1,94–14,1 мг/кг, цинка – 17,3–38,0 мг/кг, марганца – 5,2–24,6 мг/кг, кадмия – 0,023–0,069 мг/кг, свинца – 0,13–0,58 мг/кг, никеля – 0,17–0,30 мг/кг, кобальта – 0,16–0,46 мг/кг, хрома – 0,19–0,76 мг/кг. В соломе исследуемых культур в среднем накапливалось: Fe – 32–99 мг/кг, Cu – 1,82–8,54 мг/кг, Zn – 6,1–16,4 мг/кг, Mn – 14,4–40,6 мг/кг, Cd – 0,04–0,15 мг/кг, Pb – 0,20–2,01 мг/кг, Ni – 0,22–0,58 мг/кг, Co – 0,37–1,20 мг/кг, Cr – 0,41–1,58 мг/кг.

По накоплению в зерне (семенах) сельскохозяйственных культур цинк и медь относятся к безбарьерному типу; марганец – к практически безбарьерному (кроме кукурузы, растительные остатки которой содержали Cu и Mn в 2,1 и 7,8 раз соответственно больше по сравнению с зерном); остальные элементы (Fe, Cd, Pb, Ni, Co, Cr) – к барьерному типу.

Наиболее высокий вынос изучаемых элементов характерен для кукурузы и подсолнечника, наименьший – для гречихи. При запашке побочной продукции в зависимости от ее вида в почву на 1 га поступит 94–499 г железа, 42–205 г марганца, 18–83 г цинка, 5,4–43 г меди, 1,1–4,0 г кобальта, 1,2–8,0 г хрома, 1,0–5,9 г свинца, 0,6–2,9 г никеля, 0,12–0,86 г кадмия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология / А. П. Авцын [и др.]. – М.: Медицина. – 1991. – 496 с.

2. *Богдевич, И. М.* Параметры изменения содержания подвижных микро-элементов в дерново-подзолистых почвах / И. М. Богдевич, В. В. Барашенко, Г. И. Каленик // Почвенные исследования и применение удобрений. – 1995. – Вып. 23. – С. 3–12.

3. *Рак, М. В.* Содержание марганца в почвах и растениеводческой продукции и эффективное использование марганцевых удобрений / М. В. Рак, Г. М. Сафрановская, С. А. Титова // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 1(36). – С. 188–195.

4. *Тарасюк, С. В.* Влияние насыщенности основаниями дерново-подзолистой супесчаной почвы на обеспеченность сельскохозяйственных культур марганцем и цинком: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04; БелНИИПА. – Минск, 1997. – 134 с.

5. *Лукин, С. В.* Экологическая оценка запасов цинка, меди и молибдена в агроценозах лесостепи Центрально-черноземной области / С. В. Лукин, Р. М. Хижняк // Агрохимия. – 2015. – № 8. – С. 64–72.

6. *Минеев, В. Г.* Влияние длительного применения удобрений на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве на трансформацию микроэлементов в агроценозе / В. Г. Минеев, Н. Ф. Гомонова, Е. В. Морачевская // Экологические функции агрохимии: материалы 7-го симпозиума ученых агрохимиков и агроэкологов «Агрохимэкодружества», Минск, 13–15 июня 2012 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии; ред. совет В. Г. Минеев [и др.]. – Минск, 2012. – С. 93–105.

7. 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. – С. 31–32.

8. Методика крупномасштабного агрохимического и радиационного обследования почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич и др.; Нац. Акад. Наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 45 с.

9. *Кирдун, Е. А.* Микроэлементы в системе почва–растение–удобрение при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-палево-подзолистой почве: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04; БелНИИПА. – Минск, 1976. – 177 с.

10. Содержание меди в почвах и урожае сельскохозяйственных культур и эффективное использование медных удобрений / М. В. Рак [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 2(35). – С. 121–128.

11. Продуктивность и химический состав полевых культур БССР / под ред. А. С. Вечера, П. Е. Прокопова. – Минск: Наука и техника. – 1974. – 128 с.

12. *Ковалевич, З. С.* Влияние микроудобрений на урожай и качество гороха на дерново-подзолистых супесчаных почвах БССР: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04; БелНИИПА. – Минск, 1986. – 317 с.

13. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственной и продукции растениеводства: методические указания: изд. 2-е перераб. и доп. / А. В. Кузнецов [и др.]; редкол. А. М. Артюшин [и др.]. – М.: Мин-во сел. хоз-ва РФ, ЦИНАО, 1992. – 61 с.

14. *Зайцев, Г. Н.* Математика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – М.: Наука. – 1990. – 296 с.

15. Об утверждении Ветеринарно-санитарных правил обеспечения безопасности кормов, кормовых добавок и сырья для производства комбикормов:

Постановление Мин-ва сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, 10.февр. 2011 г., № 10 (с изм. от 16 февр. 2018 г. № 16, зарегистр. в Нац. Реестре. № 8/32836 от 19.02.2018 г.) // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2012. – 8/25498.

16. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 015/2011 О безопасности зерна; утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 09 декабря 2011 г. № 874.

17. *Ковалевский, А. Л.* Биохимия растений / А. Л. Ковалевский. – Новосибирск: Наука. – 1991. – 294 с.

18. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сборник / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2021. – С. 279.

TRACE ELEMENT COMPOSITION OF AGRICULTURAL CROPS GROWING ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS

**E. N. Bahatyrova, T. M. Seraya, Y. A. Belyavskaya,
T. M. Kirdun, O. M. Biryukova, M. M. Torchilo**

Summary

As a result of generalization of field experiments and analysis of data obtained during route surveys in the regions of the Republic of Belarus, the average content of trace elements in the main and by-production of agricultural crops in various places of growth was determined, the limits of variation depending on their species composition were established.

Поступила 29.04.2022

УДК 631.812.2:633:631.445.2

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-174-183](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-174-183)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОУДОБРЕНИЙ МИКРОСТИМ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

М. В. Рак, Е. Н. Пукалова

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

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время остаются актуальными разработки по совершенствованию основ рационального, агрохимически и экологически безопасного применения различных видов, перспективных форм и доз микроудобрений, которые обеспечивают получение оптимальной в конкретных почвенно-климатических условиях величины урожая культур с улучшенными показателями биологического

и хозяйственного качества. Применение микроудобрений является неотъемлемой составляющей современных технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Все большее значение в сельскохозяйственной практике приобретает применение биостимуляторов роста растений. И в свете экологизации всё большее количество производителей сельскохозяйственной продукции интересуется природными, более органическими препаратами, к числу которых относятся и класс препаратов на основе гуминовых кислот. Регуляторы роста растений обладают тройным действием: стимуляция физиологических процессов, повышение устойчивости растений к действию неблагоприятных факторов и усиление неспецифического иммунитета [1–5].

При возделывании сельскохозяйственных культур по интенсивным технологиям применяются некорневые подкормки микроудобрениями в форме органоминеральных или хелатных соединений микроэлементов, что связано с их высокой эффективностью в любых почвенно-агрохимических условиях и хорошей совместимостью с регуляторами роста и средствами защиты растений. Некорневые обработки вегетирующих растений хелатными микроэlementными препаратами весьма актуальны при дифференцированном применении удобрений с учетом пестроты почвенного плодородия и строго в соответствии со специфическими особенностями каждой культуры в потребности питательных веществах на разных стадиях роста и развития [6–9].

В лаборатории микроэлементов разработаны различные марки жидких микроудобрений с биостимулятором МикроСтим, которые в своем составе наряду с хелатами металлоэлементов содержат регулятор роста стимулирующего действия [10]. Микроудобрения МикроСтим представляют собой водорастворимые концентраты, приготовленные на основе хелатов металлоэлементов цинка, меди, кобальта и марганца, а также бора и молибдена в органоминеральной форме с добавлением регулятора роста – гидрогумина или гидрогумата или иных гуминовых веществ. Применение МикроСтим позволит обеспечивать полную потребность растений в микроэлементах с момента прорастания семян и на протяжении вегетации, а также стимулировать рост и развитие растений, снизить заболеваемость.

Цель исследований – изучение эффективности жидких хелатных микроудобрений с биостимулятором МикроСтим при внесении в некорневые подкормки в период вегетации сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В период с 2006 по 2018 г. изучалась эффективность внесения различных доз микроудобрений МикроСтим в некорневые подкормки сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах. Исследования проводили с учетом свойств почв, содержание в них микроэлементов, биологических особенностей культур и их отзывчивости на вносимые микроэлементы.

В СПК «Щомыслица» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве проведены исследования с озимой пшеницей Тонация, яровой пшеницей Мунк, яровым ячменем Атаман и люпином узколистым Прывабны.

Агрохимические показатели пахотного слоя почвы полевых опытов:

– озимая пшеница: pH – 5,68, гумус – 1,98 %, P₂O₅ – 256, K₂O – 256, Mn обм. – 2,3, Cu – 1,93, Zn – 2,74 мг/кг почвы;

– ячмень: pH – 5,85, гумус – 1,99 %, P₂O₅ – 324, K₂O – 227, Mn обм. – 2,3, Cu – 1,93, Zn – 2,74 мг/кг почвы;

– яровая пшеница: pH – 6,08, гумус – 2,25 %, P₂O₅ – 350, K₂O – 240, Mn обм. – 1,8, Cu – 1,21, Zn – 1,40 мг/кг почвы;

В ГП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района на дерново-подзолистой супесчаной почве проведены исследования с кукурузой Дельфин, яровым рапсом Антей, озимым рапсом Добрадей, картофелем Крыница, гречихой Лакнея.

Агрохимическая характеристика пахотного горизонта почвы полевых опытов:

– яровой рапс: pH – 5,01, гумус – 2,24 %, P₂O₅ – 160, K₂O – 180, B – 0,45, Cu – 1,6, S – 5,8, Mn обм. – 4,37 мг/кг почвы;

– озимый рапс: pH – 6,4, гумус – 2,5 %, P₂O₅ – 225, K₂O – 255, B – 0,34 мг/кг почвы;

– гречиха: pH – 5,8, гумус – 2,6 %, P₂O₅ – 200, K₂O – 220, Cu – 1,55, Zn – 2,40, Mn обм. – 2,76 мг/кг почвы.

В СПК «Городея» Несвижского района на дерново-подзолистых почвах изучали эффективность микроудобрений МикроСтим при возделывании картофеля Журавинка, столовой свеклы Бордо, огурца Эколь F1, томата Доходный.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя полевых опытов:

– картофель: почва связно-супесчаная, pH – 5,8, гумус – 1,82 %, P₂O₅ – 250, K₂O – 348, Cu – 0,97, Mn обм. – 2,11, Zn – 2,3 мг/кг почвы;

– столовая свекла: почва связно-супесчаная, pH – 6,2, гумус – 2,01 %, P₂O₅ – 133, K₂O – 116, Cu – 0,7, B – 0,4, Zn – 1,8 мг/кг почвы;

– огурец, томат: почва легкосуглинистая, pH – 6,3, гумус – 2,6 %, P₂O₅ – 217, K₂O – 200, Cu – 2,0, Zn – 4,9, Mn – 0,7 мг/кг почвы.

Исследования по изучению эффективности микроудобрения МикроСтим-Бор, МикроСтим-Бор, Медь при возделывании моркови Цирано проводили в ФХ «Олимп-Агро» Узденского района Минской области на дерново-подзолистой связно-супесчаной почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы полевого опыта: pH – 5,7, гумус – 1,8 %, P₂O₅ – 350, K₂O – 380, B – 1,1, Cu – 2,1, Zn – 2,6 мг/кг почвы.

В ФХ «Зубр» Пружанского района Брестской области на дерново-подзолистой связно-супесчаной почве проведены исследования эффективности некорневых подкормок микроудобрениями земляники садовой Викода. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы полевого опыта: pH – 5,7, гумус – 1,6 %, P₂O₅ – 238, K₂O – 267, Mn обм. – 0,9, Cu – 2,0, Zn – 3,22 мг/кг почвы.

Микроудобрения МикроСтим применяли на фоне внесения минеральных удобрений в некорневые подкормки во время вегетации культур: озимая пшеница: 1-я – в стадию первого узла, 2-я – в фазу выхода флагового листа; яровые зерновые культуры: в фазу выхода в трубку; рапс: в фазу начало бутонизации; гречиха: в фазу ветвления; картофель: в фазу начало бутонизации; столовая свекла, морковь: 1-я – в фазу 4–8 листьев, 2-я – через месяц после первой обработки; огурец: 1-я – в фазу 2–3 настоящих листьев, 2-я – через 7–10 дней после первой обработки, 3-я – через 7–10 дней после второй обработки; томат:

1-я – через 10–15 дней после высадки рассады, 2-я – через 10–15 дней после первой обработки; земляника садовая: 1-я – в начале отрастания листьев, 2-я – через 7–10 дней после первой обработки, 3-я – через 7–10 дней после второй, до цветения.

Химический состав микроудобрений с биостимулятором МикроСтим представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав жидких микроудобрений МикроСтим (г/л)

Марки микроудобрений	Азот	Медь	Бор	Цинк	Кобальт	Молибден	Марганец	Гуминовые вещества
МикроСтим-Бор	50,0	–	150,0	–	–	–	–	0,6–8,0
МикроСтим-Бор,Медь	65,0	40,0	40,0	–	–	–	–	0,6–8,0
МикроСтим-Медь,Марганец	60,0	50,0	–	–	–	–	50,0	–
МикроСтим-Марганец	35,0	–	–	–	–	–	50,0	–
МикроСтим-Медь Л	65,0	78,0	–	–	–	–	–	0,48–6,0
МикроСтим-Цинк	100,0	–	–	50,0	–	–	–	–
МикроСтим-Цинк,Бор	93,0	–	30,0	46,0	–	–	–	0,48–6,0
МикроСтим-Цинк,Медь	75,0	50,0	–	50,0	–	–	–	–

Технология возделывания исследуемых культур общепринятая для республики. Во время вегетации культур проводился уход за посевами, применялись средства защиты растений. Исследования проводили в соответствии с методикой полевых опытов, статистическая обработка результатов исследований проведена методом дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Некорневые подкормки растений в период вегетации микроудобрениями МикроСтим обеспечивают существенную прибавку урожая сельскохозяйственных культур. Так, при возделывании озимой пшеницы на фоне минеральных удобрений применение в некорневую подкормку микроудобрений МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец в возрастающих дозах способствовало повышению урожайности зерна на 3,4–4,3 и 3,7–5,0 ц/га соответственно (табл. 2). Внесение микроудобрения МикроСтим-Медь Л в некорневые подкормки яровой пшеницы в дозе 0,65 л/га повышало урожайность зерна на 3,7 ц/га. Некорневая подкормка ярового ячменя микроудобрением МикроСтим-Марганец в дозах 1,0 и 1,5 л/га обеспечило прибавку зерна ячменя на 3,2 и 4,7 ц/га (табл. 2).

При возделывании рапса отмечается высокая эффективность применения в некорневую подкормку микроудобрения МикроСтим-Бор. В опыте с яровым рапсом некорневая подкормка исследуемым удобрением в дозе 2,0 л/га обеспечила повышение урожайности семян на 4,8 ц/га, масличности – на 1,1 %. Внесение в некорневую подкормку микроудобрения МикроСтим-Бор,Медь в дозах 1,5 и 2,0 л/га увеличивала урожайность семян на 3,0 и 4,0 ц/га соответственно

(табл. 3). В опыте с озимым рапсом прибавки урожайности семян от применения микроудобрения МикроСтим-Бор в некорневую подкормку в дозах 0,66 и 1,33 л/га составили 11,3 и 9,8 ц/га соответственно. Внесение микроудобрения МикроСтим-Марганец в дозах 1,0 и 1,5 л/га обеспечила прибавку урожайности семян на уровне 3,9 и 5,1 ц/га соответственно. Масличность семян от исследуемых удобрений повышалась на 1,0–1,5%, при наибольшей эффективности удобрения МикроСтим-Марганец.

Таблица 2

**Влияние микроудобрений МикроСтим на урожайность
и качество зерновых культур**

Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Белок, %	Сбор белка, ц/га
Озимая пшеница				
1. N ₁₆₀ P ₃₀ K ₆₀ – фон	59,7	–	13,0	6,7
2. Фон + МикроСтим-Медь Л (0,65 л/га)	63,1	3,4	12,4	6,7
3. Фон + МикроСтим-Медь Л (1,0 л/га)	64,0	4,3	11,6	6,4
4. Фон + МикроСтим-Марганец (1,0 л/га)	63,4	3,7	11,3	6,2
5. Фон + МикроСтим-Марганец (1,5 л/га)	64,7	5,0	12,0	6,7
HCP ₀₅	2,7		–	–
Яровая пшеница				
1. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ – фон	77,4	–	11,4	7,6
2. Фон + МикроСтим-Медь Л (0,64 л/га)	81,1	3,7	11,5	8,0
HCP ₀₅	3,1		–	–
Ячмень				
1. N ₉₀ P ₅₄ K ₇₂ – фоновый вариант	69,9	–	10,0	6,0
2. Фон + МикроСтим-Марганец (1,0 л/га)	73,1	3,2	10,7	6,7
3. Фон + МикроСтим-Марганец (1,5 л/га)	74,6	4,7	10,9	7,0
HCP ₀₅	2,9		–	–

Таблица 3

**Эффективность некорневой подкормки ярового и озимого рапса
микроудобрениями МикроСтим**

Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Масличность, %
Яровой рапс			
1. N ₁₃₀ P ₈₀ K ₁₃₀ – фон	19,7	–	47,1
2. Фон + МикроСтим-Бор (2,0 л/га)	24,5	4,8	48,2
HCP ₀₅	2,7		–
1. N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	23,4	–	31,6
2. Фон + МикроСтим-Бор, Медь (1,5 л/га)	26,4	3,0	32,7
3. Фон + МикроСтим-Бор, Медь (2,0 л/га)	27,4	4,0	31,4
HCP ₀₅	1,7		–

Окончание табл. 3

Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Масличность, %
Озимый рапс			
1. N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₄₀ – фон	44,2	–	35,2
2. Фон + МикроСтим-Бор (0,66 л/га)	55,5	11,3	36,2
3. Фон + МикроСтим-Бор (1,33 л/га)	54,0	9,8	34,6
НСР ₀₅	3,7		
1. N ₂₂₀ P ₅₄ K ₇₂ – фон	25,0	–	48,4
2. Фон + МикроСтим-Марганец (1,0 л/га)	28,9	3,9	49,6
3. Фон + МикроСтим-Марганец (1,5 л/га)	30,1	5,1	49,9
НСР ₀₅	3,5		–

При возделывании гречихи применение микроудобрений МикроСтим в некорневую подкормку на фоне минеральных удобрений способствовало повышению урожайности зерна (табл. 4). Некорневая подкормка гречихи в фазу ветвления микроудобрением МикроСтим-Бор, МикроСтим-Бор,Медь, МикроСтим-Цинк,Бор способствовала увеличению урожайности зерна на 3,6, 3,7 и 3,3 ц/га соответственно.

Таблица 4

Влияние микроудобрений МикроСтим на урожайность зерна гречихи

Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га
1. N ₄₅ P ₅₀ K ₁₂₀ – фон	22,3	–
2. Фон + МикроСтим-Бор (0,33 л/га)	25,9	3,6
3. Фон + МикроСтим-Бор,Медь (1,25 л/га)	26,0	3,7
4. Фон + МикроСтим-Цинк,Бор (1,7 л/га)	25,6	3,3
НСР ₀₅	2,0	–

В полевом опыте с картофелем прибавки урожайности клубней от применения в некорневую подкормку микроудобрения МикроСтим-Бор в дозах 0,66 и 1,0 л/га составили 18 и 24 ц/га, МикроСтим-Бор,Медь в дозах 1,0 и 2,0 л/га – 34 и 40 ц/га соответственно (табл. 5). Применение исследуемых микроудобрений не приводило к снижению содержания крахмала в клубнях картофеля. При этом сбор крахмала в вариантах с микроудобрениями МикроСтим был выше на 2,8–4,0 ц/га в сравнении с фоновым вариантом.

Применение микроудобрений МикроСтим в некорневые подкормки овощных культур способствовала повышению урожайности и качества продукции (табл. 6). При урожайности корнеплодов столовой свеклы в фоновом варианте 41,4 т/га, прибавки от некорневой подкормки микроудобрением МикроСтим-Бор в дозах 1,3 и 2,0 л/га составили 2,8 и 3,6 т/га соответственно. Эффективность микроудобрения повышалась с увеличением дозы внесения.

При возделывании моркови некорневая подкормка микроудобрением МикроСтим-Бор в дозах 2,0 и 3,0 л/га повышала урожайность корнеплодов на 5,1 и 6,1 т/га, микроудобрением МикроСтим-Бор,Медь в дозах 2,0 и 3,0 л/га – на 5,8 и 6,5 т/га соответственно при урожайности моркови в фоновом варианте 35,2 т/га.

Таблица 5

Влияние микроудобрений МикроСтим на урожайность и качество картофеля

Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Крахмал	
			%	ц/га
1. N ₁₂₀ P ₇₅ K ₁₅₀ – фон	400	–	16,8	67,2
2. Фон + МикроСтим-Бор (0,66 л/га)	418	18	17,0	71,1
3. Фон + МикроСтим-Бор (1,0 л/га)	424	24	16,5	70,0
4. Фон + МикроСтим-Бор,Медь (1,0 л/га)	434	34	16,4	71,2
5. Фон + МикроСтим-Бор,Медь (2,0 л/га)	440	40	16,1	70,8
НСР ₀₅	16,0		–	–

Таблица 6

Влияние микроудобрения МикроСтим-Бор на урожайность и качество овощных культур

Варианты	Урожайность, т/га	Прибавка к фону, т/га	Сухое вещество, %
Столовая свекла			
1. N ₉₂ P ₁₀₄ K ₂₁₀ – фон	41,4	–	14,6
2. Фон + МикроСтим-Бор (1,3 л/га)	44,2	2,8	12,9
3. Фон + МикроСтим-Бор (2,0 л/га)	45,0	3,6	13,8
НСР ₀₅	2,6		–
Морковь			
1. N ₁₁₀ P ₁₀₅ K ₂₁₂ – фон	35,2	–	14,3
2. Фон + МикроСтим-Бор (2,0 л/га)	40,3	5,1	14,3
3. Фон + МикроСтим-Бор (3,0 л/га)	41,3	6,1	14,6
4. Фон + МикроСтим-Бор,Медь (2,0 л/га)	41,0	5,8	14,4
5. Фон + МикроСтим-Бор,Медь (3,0 л/га)	41,7	6,5	14,4
НСР ₀₅	1,8		–
Огурец			
1. N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₈₀ – фон	25,6	–	4,4
2. Фон + МикроСтим-Бор (0,33 л/га)	28,6	3,0	4,2
3. Фон + МикроСтим-Бор,Медь (1,25 л/га)	28,1	2,5	4,5
4. Фон + МикроСтим-Цинк,Бор (1,6 л/га)	28,3	2,7	4,1
5. Фон + МикроСтим-Медь Л (0,64 л/га)	28,4	2,8	4,0
НСР ₀₅	1,0		–
Томат			
1. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₅₀ – фон	41,3	–	4,33
2. Фон+МикроСтим-Медь Л (0,6 л/га)	42,4	1,2	5,41
3. Фон+МикроСтим-Бор,Медь (1,0 л/га)	42,7	1,4	4,85
НСР ₀₅	1,3		–

Трехкратная некорневая подкормка огурца микроудобрениями МикроСтим-Бор, МикроСтим-Бор,Медь, МикроСтим-Цинк,Бор и МикроСтим-Медь Л обеспечивала практически одинаковые прибавки урожайности, которые составили 3,0, 2,5, 2,7 и 2,8 т/га соответственно. При возделывании томата в открытом грунте двукратная некорневая подкормка различными марками микроудобрения МикроСтим способствовала повышению урожайности плодов томата. Так, некорневая подкормка томата микроудобрением МикроСтим Медь Л повышала урожайность плодов на 1,2 т/га, а микроудобрением МикроСтим-Бор,Медь – на 1,4 т/га в сравнении с фоновым вариантом (табл. 6). Применение микроудобрений МикроСтим в некорневые подкормки овощных культур не оказала существенного влияния на содержания сухого вещества в корнеплодах столовой свеклы и моркови, плодах огурца и томата.

При возделывании земляники садовой некорневая подкормка (в начале отрастания листьев, через 7–10 дней после первой обработки и через 7–10 дней после второй, до цветения) микроудобрениями МикроСтим способствовала повышению урожая ягод (табл. 7). По сравнению с вариантом без удобрений некорневая подкормка микроудобрением МикроСтим-Медь Л увеличивало урожайность ягод на 5,1 ц/га, микроудобрением МикроСтим-Бор – на 5,9 ц/га, микроудобрением МикроСтим-Бор,Медь – на 7,0 ц/га и микроудобрением МикроСтим-Цинк,Бор – на 5,8 ц/га. Содержание нитратов в ягодах составило 29,7–40,1 мг/кг сырой массы, что не превышает установленную предельную допустимую концентрацию (ПДК – 60 мг/кг).

Таблица 7

Влияние микроудобрений МикроСтим на урожайность земляники садовой

Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка к вар. 1, ц/га	Нитраты, мг/кг сырой массы	Сухое вещество, %
1. Вариант без удобрений	11,3	–	36,6	11,0
2. МикроСтим-Медь Л (0,6 л/га)	16,3	5,1	29,7	10,6
3. МикроСтим-Бор (0,6 л/га)	17,2	5,9	35,7	11,2
4. МикроСтим-Бор,Медь (1,0 л/га)	18,2	7,0	37,4	11,0
5. МикроСтим-Цинк,Бор (1,0 л/га)	17,1	5,8	40,1	10,6
НСР ₀₅		1,8	–	–

ВЫВОДЫ

На дерново-подзолистых почвах низко- и среднеобеспеченных микроэлементами установлена высокая эффективность и технологичность применения жидких микроудобрений МикроСтим со стимулирующим эффектом при возделывании сельскохозяйственных культур.

Применение микроудобрений МикроСтим-Медь и МикроСтим-Марганец на зерновых культурах повышало урожайность зерна на 3,7 ц/га (яровая пшеница), на 4,7 ц/га (яровой ячмень), на 3,4–5,0 ц/га (озимая пшеница). При возделывании гречихи применение различных марок микроудобрений МикроСтим на фоне минеральных удобрений обеспечило прибавки урожайности зерна 3,3–3,7 ц/га, в наибольших значениях в варианте с применением удобрения МикроСтим-Бор,Медь.

В опыте с рапсом отмечена высокая эффективность применения в некорневую подкормку микроудобрения МикроСтим-Бор, максимальные прибавки урожайности семян составили 4,8 ц/га (яровой рапс) и 11,3 ц/га (озимый рапс). Некорневая подкормка картофеля микроудобрением МикроСтим-Бор и МикроСтим-Бор, Медь на фоне минеральных удобрений способствовала получению прибавки урожайности клубней от 18 до 40 ц/га, с наибольшей эффективностью от удобрения МикроСтим-Бор, Медь в дозе 2,0 л/га.

Применение некорневых подкормок овощных культур и земляники садовой микроудобрениями МикроСтим обеспечивало следующие прибавки урожая: 2,8–3,6 т/га (свекла столовая), 2,5–3,0 т/га (огурец), 1,2–1,4 т/га (томат), 5,1–6,5 т/га (морковь), 5,1–7,0 ц/га (земляника садовая).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интенсификация продукционного процесса растений. Приемы управления / В. Г. Сычев [и др.]. – М.: ВНИИА, 2009. – 520 с.
2. Микроудобрения в современной земледелии / И. А. Гайсин [и др.] // Агрохимический вестник. – 2010. – № 4. – С. 13–14
3. Стимуляторы роста и урожай / Э. М. Мовсумзаде [и др.]. – Уфа: ГИНТЛ-«Реактив», 2000. – 208 с.
4. Будыкина, Н. П. Оценка биопотенциала новых регуляторов роста растений / Н. П. Будыкина, Т. Ф. Алексеева, Н. И. Хильков // Агрохимический вестник. – 2007. – № 6. – С. 24–26.
5. Кадыров, С. В. Стимуляторы роста и хелатные микроудобрения как фактор повышения урожайности гречихи / С. В. Кадыров, А. В. Козлобаев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2011. – № 2. – С. 24–29.
6. Применение микроудобрений и регуляторов роста в интенсивном земледелии: рекомендации / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Горки: БГСХА, 2015. – 48 с.
7. Система применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / М. В. Рак [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2006. – 28 с.
8. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии; под ред. акад. В. В. Лапа. – 2-е изд. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – 260 с.
9. 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.
10. Микроудобрения с биостимулятором «МикроСтим»: ТУ ВУ 100079183.006-2008. – Введ. 06.11.2008. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 15 с.

THE EFFECTIVENESS OF MICRO-FERTILIZATION OF MICROSTIM IN THE CULTIVATION OF AGRICULTURAL CROPS ON SOD-PODZOLIC SOILS

M. V. Rak, E. N. Pikalova

Summary

In field experiments on sod-podzolic soils low- and medium-provided with trace elements, high efficiency and manufacturability of the use of liquid micro-fertilizers

MicroStim with a stimulating effect in the cultivation of agricultural crops has been established. Significant increases in the yield of grain and vegetable crops, rapeseed, buckwheat, potatoes and strawberries were obtained.

Поступила 14.05.2022

УДК 631.81:633.11:631.445

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-183-192](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-183-192)

ДЕЙСТВИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ МЕДИ, МАРГАНЦА И ЦИНКА В РАСТЕНИЯХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ВЫСОКОКУЛЬТУРЕННОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

М. В. Рак, Н. С. Гузова

*РУП «Институт почвоведения и агрохимии»,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Поступление микроэлементов в растения происходит через корневую систему и листовую поверхность. По скорости проникновения в растения микроэлементы располагаются следующим образом: $Cd > Pb > Zn > Cu > Mn > Fe$. По органам растений микроэлементы распределяются неравномерно. В большом количестве они накапливаются в корнях, стеблях, листьях и меньше в органах запасаания ассимилятов [1].

Медь обладает меньшей подвижностью в растениях по сравнению с другими элементами, большей частью оставаясь в тканях корней. Максимум ее подвижности достигается при оптимальном содержании в растительном организме [2]. Наиболее интенсивно зерновые культуры усваивают медь в период до фазы выхода в трубку и во время формирования зерна [3].

Среднее содержание марганца в растениях составляет 0,001 %. В различных органах одного и того же растения его содержание неодинаково. Основное его количество сосредоточено в зеленых листьях, зародышах семян и плодах [4, 5].

Цинк очень подвижен в растении. Корневые системы накапливают, как правило, больше цинка, но при оптимальном уровне содержания этот элемент перемещается из корней и накапливается в надземных органах [6].

В исследованиях В. В. Церлинг установлены уровни-параметры содержания микроэлементов в растениях в определенной фазе. Оптимальное содержание элемента в растениях в той или иной фазе соответствует высокому и качественному урожаю, полученному вследствие созданных оптимальных сочетаний факторов питания, при которых растение может нормально развиваться и наиболее полно реализовать все свои возможности в формировании урожая. Для озимой пшеницы уровни-параметры содержания меди установлены в фазе стеблевания и фазе трубкования в надземной части растения, а также в фазе колошения и фазе цветения в верхних листьях; содержания марганца – в фазе весеннего кущения,

фазе трубкования, фазе колошения в 2-х верхних листьях, фазе трубкования и фазе начала колошения в надземной части; содержания цинка – в фазе весеннего кущения, фазе трубкования и в фазе колошения в 2-х верхних листьях [7].

Цель исследований – изучить накопление меди, марганца и цинка растениями озимой пшеницы по фазам роста и развития, а также в структурных частях культуры при возделывании на дерново-подзолистой высоко окультуренной легкосуглинистой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевой опыт с озимой пшеницей Сукцес по изучению эффективности применения различных марок микроудобрений АДОБ проводили в 2016–2018 гг. на опытном поле РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве, развивающейся на мощных лессовидных легких суглинках. Во время закладки полевого опыта почва опытного участка характеризовалась следующими агрохимическими показателями:

2016 год: pH_{KCl} – 6,6, содержание гумуса – 2,0 %, P_2O_5 – 590 мг/кг почвы, K_2O – 400 мг/кг почвы, Cu – 2,7, Mn – 2,0, Zn – 3,5 мг/кг почвы;

2017 год: pH_{KCl} – 6,3, содержание гумуса – 2,7 %, P_2O_5 – 614 мг/кг почвы, K_2O – 434 мг/кг почвы, Cu – 2,4, Mn – 1,6, Zn – 3,4 мг/кг почвы;

2018 год: pH_{KCl} – 6,2, содержание гумуса – 2,5 %, P_2O_5 – 646 мг/кг почвы, K_2O – 391 мг/кг почвы, Cu – 3,2, Mn – 1,6, Zn – 4,7 мг/кг почвы.

Агрохимические показатели пахотного слоя определяли по общепринятым методикам: обменную кислотность pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91), содержание гумуса – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91), обменный марганец – из вытяжки 1,0 М KCl на атомно-абсорбционном спектрометре Solaar ICE 3000 (ГОСТ 26486-85), подвижный цинк и медь – на атомно-абсорбционном спектрометре Solaar ICE 3000 (ГОСТ 28268-89). В зерне и соломе озимой пшеницы определяли содержание меди, марганца и цинка на атомно-абсорбционном спектрометре Solaar ICE 3000. Общая площадь деланки составляла 25 м², учетная – 18 м². Повторность вариантов в полевом опыте 4-кратная. Метод размещения вариантов в повторении случайный (рэндомизированный). Норма высева озимой пшеницы – 4,5 млн всхожих семян на гектар. Предшественник – озимый рапс. Исследования проводили в соответствии с методикой полевых опытов [8]. Агротехника возделывания озимой пшеницы общепринятая для Республики Беларусь [9].

Схема опыта развернута на двух фонах внесения минеральных удобрений. Дробное внесение азотных удобрений в подкормку в дозе $N_{160(70+35+55)}$ – фон 1, дробное внесение азотных удобрений в подкормку в дозе $N_{160(70+35+55)}$, фосфорных – P_{30} и калийных – K_{60} (35 % выноса фосфора и калия с планируемой урожайностью 80 ц/га) – фон 2.

Фосфорные (аммонизированный суперфосфат) и калийные удобрения (хлористый калий) применяли согласно схеме в основное внесение. Подкормки азотом проводили в 3 срока: первая – весной в начале активной вегетации – N_{70} (КАС), вторая – в стадию первого узла – N_{35} (карбамид), третья – в стадию появления

флагового листа – N₅₅ (карбамид). При возделывании озимой пшеницы применяли интегрированную систему защиты растений.

Некорневые подкормки посевов озимой пшеницы микроудобрениями проводили в стадию 1–го узла (ДК 31) и стадию появления флагового листа (ДК 35). В качестве микроудобрений использовали жидкие удобрения, содержащие микроэлементы в хелатной форме – АДОБ Cu IDHA (Cu–6,14 %), АДОБ Mn IDHA (Mn–15,26 %) и АДОБ Zn IDHA (Zn–6,16 %). Доза микроудобрений в одну некорневую подкормку составляла 50 г/га д. в. Расход рабочего раствора – 200 л/га. Рабочий раствор готовили непосредственно перед проведением некорневых подкормок растений путем разведения концентрата водой.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показывают, что в среднем за три года содержание микроэлементов в сухой массе на двух фонах минерального питания варьировало по фазам роста и развития озимой пшеницы.

Наибольшее содержание меди в растениях озимой пшеницы отмечено в фазе кущения и составило 3,5–3,9 мг/кг на фоне внесения только азотных удобрений в дозе N₁₆₀ (фон 1) и 3,5 мг/кг сухой массы на фоне внесения минеральных удобрений в дозе N₁₆₀P₃₀K₆₀ (фон 2). Далее в фазе первого узла наблюдалось снижение накопления исследуемого элемента на двух фонах минерального питания. На фоне 1 количество меди колебалось в пределах 2,7–2,9 мг/кг, на фоне 2 – 2,5–2,8 мг/кг сухой массы (табл. 1).

Таблица 1

Влияние некорневых подкормок микроудобрениями АДОБ на содержание меди в растениях озимой пшеницы (среднее за 2016–2018 гг.)

Вариант	Фазы развития			
	кущение	1-й узел	появление флагового листа	колошение
	мг/кг сухой массы			
Контроль без удобрений	3,1	2,3	1,2	1,1
N ₁₆₀ – фон 1	3,9	2,7	1,6	1,5
Фон 1 + АДОБ Cu _{0,05}	3,9	2,8	2,7	3,0
Фон 1 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Mn _{0,05}	3,7	2,9	2,5	2,9
Фон 1 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	3,5	2,8	2,3	2,6
Фон 1 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Mn _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	3,7	2,8	2,3	2,6
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₆₀ – фон 2	3,6	2,5	1,7	1,6
Фон 2 + АДОБ Cu _{0,05}	3,6	2,7	2,9	3,1
Фон 2 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Mn _{0,05}	3,7	2,8	2,9	3,0
Фон 2 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	3,5	2,7	2,7	2,8
Фон 2 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Mn _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	3,6	2,5	2,6	2,7
HCP ₀₅	0,35	0,18	0,36	0,39

Следует отметить, что в фазе появления флагового листа содержание меди на фоне N_{160} несколько уменьшилось и составило в вариантах с внесением микроудобрений 2,3–2,7 мг/кг, что на 43,8–68,8 % выше по отношению к фону, в то время как на фоне $N_{160}P_{30}K_{60}$ этот показатель повышался до 2,6–2,9 мг/кг (повышение на 52,9–70,6 % к фону).

К фазе колошения накопление меди повышалось на двух фонах минерального питания. Наибольшее количество меди наблюдалось при внесении в некорневые подкормки микроудобрения АДОБ Cu. Так, на первом фоне содержание данного элемента составило 3,0 мг/кг, что в 2 раза выше, чем в фоновом варианте, на втором фоне – 3,1 мг/кг (повышение к фону на 93,8 % при фоновом значении 1,6 мг/кг сухой массы).

Анализ накопления марганца растениями озимой пшеницы по фазам роста и развития показал, что в фазе кущения содержание этого элемента было самым высоким и колебалось на фоне 1 от 39,5 до 42,0 мг/кг, на фоне 2 – от 38,4 до 40,0 мг/кг сухой массы (табл. 2).

Таблица 2

Влияние некорневых подкормок микроудобрениями АДОБ на содержание марганца в растениях озимой пшеницы (среднее за 2016–2018 гг.)

Вариант	Фазы развития			
	кущение	1-й узел	появление флагового листа	колошение
	мг/кг сухой массы			
Контроль без удобрений	35,9	22,8	16,2	15,2
N_{160} – фон 1	42,0	27,7	19,6	18,2
Фон 1 + АДОБ $Mn_{0,05}$	39,5	28,5	26,3	30,7
Фон 1 + АДОБ $Cu_{0,05}$ + АДОБ $Mn_{0,05}$	40,3	27,6	25,7	29,6
Фон 1 + АДОБ $Mn_{0,05}$ + АДОБ $Zn_{0,05}$	41,9	27,8	21,5	26,3
Фон 1 + АДОБ $Cu_{0,05}$ + АДОБ $Mn_{0,05}$ + АДОБ $Zn_{0,05}$	40,6	28,4	21,4	26,5
$N_{160}P_{30}K_{60}$ – фон 2	38,4	29,4	20,2	18,2
Фон 2 + АДОБ $Mn_{0,05}$	38,6	30,3	28,5	30,9
Фон 2 + АДОБ $Cu_{0,05}$ + АДОБ $Mn_{0,05}$	39,3	28,8	27,9	30,8
Фон 2 + АДОБ $Mn_{0,05}$ + АДОБ $Zn_{0,05}$	40,0	29,2	22,2	26,3
Фон 2 + АДОБ $Cu_{0,05}$ + АДОБ $Mn_{0,05}$ + АДОБ $Zn_{0,05}$	38,8	28,5	22,1	26,6
HCP_{05}	2,33	2,26	1,98	1,58

По мере роста и развития растений содержание марганца снижалось и в стадии первого узла его количество составляло на фоне N_{160} – 27,6–28,5 мг/кг, на фоне $N_{160}P_{30}K_{60}$ – 28,5–30,3 мг/кг сухой массы. Несмотря на проведение некорневой подкормки озимой пшеницы микроудобрениями в стадии первого узла, в стадии появления флагового листа наблюдалось снижение накопления марганца в растениях. На двух фонах внесения минеральных удобрений можно отметить варианты

с внесением АДОБ Cu + АДОБ Mn и АДОБ Mn, в которых отмечалось наибольшее количество данного элемента. На первом фоне содержание марганца в эту стадию составило 25,7 и 26,3 мг/кг сухой массы (повышение на 31,1–34,2 % при фоновом значении 19,6 мг/кг), на втором фоне – 27,9 и 28,5 мг/кг соответственно (повышение на 38,1–41,1 % при фоновом значении 20,2 мг/кг).

Однако после второй некорневой подкормки в стадию появления флагового листа в фазе колошения отмечалось повышение накопления марганца растениями озимой пшеницы. На фоне внесения минеральных удобрений в дозе N₁₆₀ данный показатель варьировал от 26,3 до 30,7 мг/кг сухой массы (повышение на 44,5–68,9 % к фону), на фоне N₁₆₀P₃₀K₆₀ – от 26,3 до 30,9 мг/кг (повышение на 44,5–69,8 % к фону).

В накоплении цинка по фазам роста и развития озимой пшеницы также отмечена тенденция снижения содержания элемента от фазы кущения до стадии первого узла (табл. 3). Содержание цинка на фоне N₁₆₀ в фазе кущения колебалось от 13,5 до 14,0 мг/кг сухой массы, в стадии первого узла – от 7,3 до 7,9 мг/кг. На фоне N₁₆₀P₃₀K₆₀ данные показатели были несколько выше и составили в фазе кущения 14,1–14,7 мг/кг, в стадии первого узла – 7,9–8,8 мг/кг сухой массы.

Таблица 3

Влияние некорневых подкормок микроудобрениями АДОБ на содержание цинка в растениях озимой пшеницы (среднее за 2016–2018 гг.)

Вариант	Фазы развития			
	кущение	1-й узел	появление флагового листа	колошение
	мг/кг сухой массы			
Контроль без удобрений	11,4	5,5	3,2	3,0
N ₁₆₀ – фон 1	13,7	7,9	4,3	3,6
Фон 1 + АДОБ Zn _{0,05}	13,7	7,8	9,6	8,0
Фон 1 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	13,7	7,6	9,4	7,8
Фон 1 + АДОБ Mn _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	14,0	7,3	8,5	7,5
Фон 1 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Mn _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	13,5	7,9	8,3	7,2
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₆₀ – фон 2	14,3	8,8	4,0	3,7
Фон 2 + АДОБ Zn _{0,05}	14,5	8,4	9,1	8,3
Фон 2 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	14,7	8,4	8,8	8,0
Фон 2 + АДОБ Mn _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	14,2	7,9	8,0	7,9
Фон 2 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Mn _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	14,1	8,1	8,2	7,9
НСР ₀₅	1,68	1,48	0,61	0,56

К стадии появления флагового листа содержание цинка в сухой массе повышалось. Так, на фоне 1 при применении микроудобрения АДОБ Zn количество цинка увеличилось до 9,6 мг/кг (повышение на 123,3 % при фоновом значении 4,3 мг/кг). На фоне 2 данный показатель составил 9,1 мг/кг (повышение на

127,5 % при фоновом значении 4,0 мг/кг). Также необходимо отметить вариант с внесением АДОБ Cu + АДОБ Zn, содержание цинка в котором на первом фоне внесения минеральных удобрений составило 9,4 мг/кг (повышение на 118,6 % к фону), на втором фоне – 8,8 мг/кг сухой массы (повышение на 120,0 % к фону).

В фазе колошения наблюдалось снижение содержания изучаемого элемента на двух фонах внесения минеральных удобрений. На фоне N₁₆₀ количество цинка варьировалось от 7,2 до 8,0 мг/кг (повышение на 100,0–122,2 % к фону), на фоне N₁₆₀P₃₀K₆₀ – от 7,9 до 8,3 мг/кг сухой массы (повышение на 113,5–124,3 % к фону).

Вместе с определением содержания микроэлементов в растениях озимой пшеницы по фазам роста и развития, также было определено их содержание в структурных частях растений в фазу колошения (корень, стебель, листья, колос). По результатам трехлетних исследований больше всего меди накапливалось в листьях и увеличивалось при применении микроудобрений (табл. 4).

Таблица 4

Влияние некорневых подкормок микроудобрениями АДОБ на содержание меди в структурных частях озимой пшеницы в фазу колошения (среднее за 2016–2018 гг.)

Вариант	Медь, мг/кг сухой массы			
	корень	стебель	листья	колос
Контроль без удобрений	2,6	1,3	2,3	2,0
N ₁₆₀ – фон 1	3,5	1,6	4,3	2,8
Фон 1 + АДОБ Cu _{0,05}	4,3	2,0	7,0	3,3
Фон 1 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Mn _{0,05}	4,9	1,9	5,9	3,5
Фон 1 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	4,0	1,7	5,1	2,9
Фон 1 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Mn _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	3,9	1,9	4,5	3,0
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₆₀ – фон 2	3,3	1,5	4,0	2,9
Фон 2 + АДОБ Cu _{0,05}	3,9	1,8	6,1	3,9
Фон 2 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Mn _{0,05}	3,7	1,9	5,5	3,7
Фон 2 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	3,5	1,7	5,0	3,7
Фон 2 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Mn _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	3,5	1,8	4,3	3,5
НСР ₀₅	0,66	0,18	1,60	0,69

При изучении накопления меди в листьях озимой пшеницы установлено, что наиболее интенсивное накопление элемента происходило при внесении АДОБ Cu на двух фонах внесения минеральных удобрений. Так, на фоне N₁₆₀ содержание меди при применении АДОБ Cu составило 7,0 мг/кг сухой массы (на 2,7 мг/кг, или 62,8 % выше фонового варианта), на фоне N₁₆₀P₃₀K₆₀ – 6,1 мг/кг (на 1,9 мг/кг, или 52,5 % выше фона).

По накоплению меди корень занимает второе место после листьев. Содержание данного элемента в корне колебалось от 3,9 до 4,9 мг/кг сухой массы на первом фоне (повышение на 11,4–40,0 % относительно фона) и от 3,5 до 3,9 мг/кг на втором (на 6,1–18,2 % выше фонового варианта).

В вариантах с внесением микроудобрений содержание меди в колосе озимой пшеницы варьировало от 2,9 до 3,5 мг/кг сухой массы на первом фоне и от 3,5 до 3,9 мг/кг на втором фоне внесения минеральных удобрений. Следует отметить, что наибольшее накопление меди на фоне N_{160} наблюдалось при совместном внесении АДОБ Cu + АДОБ Mn и составило 3,5 мг/кг, что на 25,0 % выше фона, в то время как на фоне $N_{160}P_{30}K_{60}$ самое высокое содержание меди отмечено при применении АДОБ Cu – 3,9 мг/кг сухой массы (повышение на 34,5 % к фоновому варианту).

Содержание меди в стебле озимой пшеницы было самым низким и находилось в пределах 1,7–2,0 мг/кг на фоне 1 и 1,7–1,9 мг/кг на фоне 2. Максимальное накопление меди в стебле отмечено на фоне N_{160} в варианте с применением АДОБ Cu – 2,0 мг/кг (повышение относительно фонового значения на 25,0 %). На фоне $N_{160}P_{30}K_{60}$ нужно отметить вариант с внесением АДОБ Cu + АДОБ Mn, где содержание меди увеличилось до 1,9 мг/кг сухой массы (повышение к фону на 26,7 %).

Установлено, что максимальное накопление марганца происходило в корнях растений (табл. 5). На первом фоне минерального питания при применении микроудобрений данный показатель варьировал от 134,6 до 136,3 мг/кг (повышение на 1,8–3,1 % к фону), на втором фоне – от 141,1 до 148,1 мг/кг сухой массы (повышение на 2,5–7,6 % к фону).

Таблица 5

Влияние некорневых подкормок микроудобрениями АДОБ на содержание марганца в структурных частях озимой пшеницы в фазу колошения (среднее за 2016–2018 гг.)

Вариант	Марганец, мг/кг сухой массы			
	корень	стебель	листья	колос
Контроль без удобрений	128,3	10,6	37,4	10,1
N_{160} – фон 1	132,2	11,3	43,8	11,1
Фон 1 + АДОБ $Mn_{0,05}$	135,5	16,4	89,8	14,8
Фон 1 + АДОБ $Cu_{0,05}$ + АДОБ $Mn_{0,05}$	136,3	15,1	60,1	13,7
Фон 1 + АДОБ $Mn_{0,05}$ + АДОБ $Zn_{0,05}$	134,6	13,9	54,3	11,9
Фон 1 + АДОБ $Cu_{0,05}$ + АДОБ $Mn_{0,05}$ + АДОБ $Zn_{0,05}$	134,7	14,9	52,8	12,4
$N_{160}P_{30}K_{60}$ – фон 2	137,6	11,9	40,6	12,1
Фон 2 + АДОБ $Mn_{0,05}$	148,1	16,5	69,7	15,4
Фон 2 + АДОБ $Cu_{0,05}$ + АДОБ $Mn_{0,05}$	142,3	15,3	53,6	14,2
Фон 2 + АДОБ $Mn_{0,05}$ + АДОБ $Zn_{0,05}$	141,1	14,4	51,1	14,0
Фон 2 + АДОБ $Cu_{0,05}$ + АДОБ $Mn_{0,05}$ + АДОБ $Zn_{0,05}$	141,6	15,1	48,9	13,4
$НСР_{05}$	2,38	0,59	2,79	0,77

Минимальное содержание марганца наблюдалось в колосе. На фоне N_{160} этот показатель колебался в пределах 11,9–14,8 мг/кг (повышение на 7,2–33,3 % относительно фонового значения), на фоне $N_{160}P_{30}K_{60}$ – 13,4–15,4 мг/кг (выше фона на 10,7–27,3 %). В листьях наибольшее количество марганца можно отметить при внесении АДОБ Mn на двух фонах минерального питания. При этом

на фоне 1 содержание данного элемента составило 89,8 мг/кг (на 46,0 мг/кг, или 105,0 % выше фона), на фоне 2 – 69,7 мг/кг (на 29,1 мг/кг, или 71,7 % выше фонового значения). Внесение микроудобрения АДОБ Mn в некорневые подкормки озимой пшеницы способствовало накоплению марганца в стебле до 16,4 мг/кг сухой массы (повышение на 45,1 % при фоновом значении 11,3 мг/кг) (фон 1) и до 16,5 мг/кг (повышение на 38,7 % при фоновом значении 11,9 мг/кг) (фон 2).

Как показали результаты исследований, наибольшее содержание цинка находилось в корнях растений озимой пшеницы (табл. 6). Внесение микроудобрения АДОБ Zn способствовало накоплению цинка до 29,0 мг/кг (повышение к фону на 26,1 %) на фоне N₁₆₀ и до 26,2 мг/кг (повышение на 16,4 % при фоновом значении 22,5 мг/кг) на фоне N₁₆₀P₃₀K₆₀. По остальным вариантам опыта содержание элемента варьировало в пределах 23,7–25,6 мг/кг сухой массы.

Таблица 6

Влияние некорневых подкормок микроудобрениями АДОБ на содержание цинка в структурных частях озимой пшеницы в фазу колошения (среднее за 2016–2018 гг.)

Вариант	Цинк, мг/кг сухой массы			
	корень	стебель	листья	колос
Контроль без удобрений	21,9	3,5	9,0	12,3
N ₁₆₀ – фон 1	23,0	4,6	10,8	14,1
Фон 1 + АДОБ Zn _{0,05}	29,0	7,3	13,1	18,3
Фон 1 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	25,6	6,2	12,4	17,2
Фон 1 + АДОБ Mn _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	24,3	5,3	12,1	16,9
Фон 1 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Mn _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	24,8	5,9	11,3	17,1
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₆₀ – фон 2	22,5	4,4	10,6	14,1
Фон 2 + АДОБ Zn _{0,05}	26,2	6,2	12,7	15,6
Фон 2 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	24,5	6,0	12,1	15,8
Фон 2 + АДОБ Mn _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	23,7	5,2	11,9	15,0
Фон 2 + АДОБ Cu _{0,05} + АДОБ Mn _{0,05} + АДОБ Zn _{0,05}	23,8	5,7	11,1	14,9
НСР ₀₅	0,48	0,78	1,44	1,56

Накопление цинка в колосе на первом фоне минерального питания составляло от 16,9 до 18,3 мг/кг, что выше на 19,9–29,8 % при фоновом значении 14,1 мг/кг сухой массы, на втором фоне этот показатель был ниже и колебался в пределах 14,9–15,8 мг/кг (повышение на 5,7–12,1 % при фоновом значении 14,1 мг/кг). В листьях содержание цинка в опыте составляло на фоне 1 от 11,3 до 13,1 мг/кг (повышение на 4,6–21,3 % к фоновому варианту), на фоне 2 – 11,1–12,7 мг/кг сухой массы (повышение на 4,7–19,8 % относительно фона). Меньше всего цинка накапливалось в стебле озимой пшеницы. Содержание данного элемента по вариантам опыта варьировалось от 5,3 до 7,3 мг/кг (повышение к фону на 15,2–58,7 %) на фоне внесения минеральных удобрений в дозе N₁₆₀ и от 5,2 до 6,2 мг/кг (повышение к фону на 18,2–40,9 %) на фоне N₁₆₀P₃₀K₆₀.

ВЫВОДЫ

1. При возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве более высокое содержание меди и марганца в растениях обеспечивала некорневая подкормка растений микроудобрением АДОБ Си и АДОБ Мп на фоне внесения только азотных удобрений в дозе N_{160} и на фоне внесения минеральных удобрений $N_{160}P_{30}K_{60}$ соответственно. Отмечено снижение накопления меди и марганца от фазы кущения до стадии появления флагового листа и увеличение к фазе колошения. Увеличению содержания цинка в фазе колошения способствовало некорневое внесение микроудобрения АДОБ Zn при возделывании озимой пшеницы на фоне минеральных удобрений $N_{160}P_{30}K_{60}$.

2. По интенсивности накопления микроэлементов в структурных частях растений озимой пшеницы распределились в следующей последовательности по степени убывания:

- Си – листья > корни, колос > стебель;
- Мп – корни > листья > стебель, колос;
- Zn – корни > колос > листья > стебель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Волошин, Е. И.* Микроэлементы в системе «почва-растение» в условиях Средней Сибири: учебн. пособие / Е. И. Волошин ; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2008. – 159 с.

2. *Вильдфлуш, И. Р.* Влияние микроудобрений и регуляторов роста на урожайность и качество озимой ржи / И. Р. Вильдфлуш, А. А. Цыганова, В. М. Куруленко // Почвенные исследования и применение удобрений: межведомств. темат. сб. / Белорус. НИИ почвоведения и агрохимии НАН Беларуси; редкол.: И. М. Богдевич [и др.]. – 2004. – Вып. 28. – С. 197–202.

3. *Озолиня, Г. Р.* Особенности физиологического действия меди при обогащении ею семян / Г. Р. Озолиня, Л. П. Лапиня // Микроэлементы – регуляторы роста жизнедеятельности и продуктивности растений: сб. науч. тр. – Рига: Зинатне, 1971. – С. 63–91.

4. *Агеев, В. В.* Корневое питание сельскохозяйственных растений / В. В. Агеев. – Ставрополь: Ставроп. ГСХА, 1996. – 134 с.

5. Применение некорневых подкормок марганцем при возделывании сельскохозяйственных культур: рекомендации / М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Ком. по проблемам последствий катастрофы на Чернобыл. АЭС, Акад. аграр. наук Респ. Беларусь, Ин-т почвоведения и агрохимии ААН РБ; сост.: И. М. Богдевич [и др.]. – Минск, 2001. – 16 с.

6. *Ермохин, Ю. И.* Взаимосвязи в питании растений: монография / Ю. И. Ермохин, А. В. Синдирева. – Омск: Изд-во ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П. А. Столыпина, 2015. – 200 с.

7. *Церлинг, В. В.* Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник / В. В. Церлинг. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.

8. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

9. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов / Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 288 с.

THE EFFECT OF MICRONUTRIENTS ON THE ACCUMULATION OF COPPER, MANGANESE AND ZINC IN WINTER WHEAT PLANTS ON SOD-PODZOLIC HIGHLY CULTIVATED LIGHT LOAMY SOIL

M. V. Rak, N. S. Guzova

Summary

In a field experiment on sod-podzolic, highly cultivated, light loamy soil, the effect of foliar fertilizing of winter wheat with ADOBE micronutrients on the accumulation of trace elements in plants by growth and development phases at different levels of mineral nutrition was established. It has been established that foliar fertilizing with ADOBE micro-fertilizers has a positive effect on the accumulation of trace elements in plants and structural parts of winter wheat.

Поступила 14.05.2022

УДК 631.81.095.337:633.853.494:631.445
[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-192-200](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-192-200)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОУДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОГО РАПСА НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ВЫСОКООКУЛЬТУРЕННОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

М. В. Рак, Е. Н. Пукалова, Н. С. Гузова, Л. Н. Гук

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

ВВЕДЕНИЕ

В продовольственном балансе Республики Беларусь рапс занимает второе место по значимости после зерна. Рапс в условиях Беларуси – это хороший предшественник для зерновых, дешевое диетическое растительное масло, белковый концентрат для балансирования рационов животных. В семенах рапса содержится 40–46 % жира, 22–27 % протеина в пересчете на сухое вещество. При выращивании рапса можно получить 10–15 ц/га растительного масла и 3–8 ц/га высокобелкового шрота [1].

По данным многочисленных исследований, проведенных в разных странах, существенное положительное влияние на урожайность рапса, содержание жира и белка в семенах оказывает применение микроудобрений. Рапс относится к растениям, требующим для своего роста и развития относительно много бора. Бор увеличивает ветвление и количество цветков, накопление масел в семенах, число стручков и количество семян в них, использование растениями азота.

Наряду с бором важную роль в формировании урожая рапса играет марганец, который влияет на образование стручков и накопление жиров в семенах, повышает стрессоустойчивость к засухе и холоду. Цинк и медь необходимы для повышения жизнестойкости растений и устойчивости к полеганию, оплодотворения и образования стручков [2–14].

Недостаточное содержание подвижных форм микроэлементов в почве зачастую является фактором, лимитирующим формирование урожая сельскохозяйственных культур и качества продукции. Особенно это актуально для высоко окультуренных 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 – 61,0 %, фосфора – 56,2 %, калия – 49,2 % [15]. На таких почвах потребность растений в микроэлементах и роль сбалансированности минерального питания возрастает в условиях интенсивных технологий, направленных на формирование высокопродуктивных посевов.

Вместе с тем в современных условиях особенно актуальной становится проблема повышения эффективности удобрений, которые наряду с обеспечением прибавки урожая должны способствовать сохранению почвенного плодородия и иметь высокую экономическую окупаемость. Поэтому большое значение имеет оптимизация минерального питания озимого рапса путем подбора вида и дозы микроудобрений с учетом конкретных почвенно-агрохимических условий, которые будут эффективны и с экономической точки зрения.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по изучению эффективности применения микроудобрений при возделывании озимого рапса проводили на опытном поле в ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой высокоокультуренной почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы опытного участка: рН – 6,6, гумус – 2,25 %, P_2O_5 – 766, K_2O – 411, В – 0,68, Cu – 2,2, Zn – 4,4, Mn обм. – 2,0 мг/кг почвы.

Полевой опыт с озимым рапсом (сорт Оникс) включает 18 вариантов с применением в некорневую подкормку возрастающих доз и сочетаний бора, меди, цинка и марганца на фоне внесения минеральных удобрений. Фоновые удобрения $P_{54}K_{72}$ внесены под предпосевную культивацию в форме аммонизированного суперфосфата и хлористого калия. Азотные удобрения (карбамид) вносили в подкормку: 1-я – весной в начале активной вегетации (N_{108}), 2-я – в фазу стеблевания (N_{92}). Микроэлементы внесены в некорневую подкормку в виде жидких микроудобрений МикроСтим: МикроСтим-Медь Л (содержание меди – 78 г/л), МикроСтим-Цинк (содержание цинка – 80 г/л), МикроСтим-Бор (содержание бора – 150 г/л), МикроСтим-Марганец (содержание марганца – 50 г/л). Микроудобрения вносили в 3 срока: осенью в фазу 4–6 листьев, весной в начале стеблевания и в фазе бутонизации. Расход рабочего раствора – 200 л/га. Общая площадь делянок – 19 м², повторность – 3-кратная. Предшественник – ячмень. Посев рапса проводили в 3 декаде августа, норма высева семян – 6 кг/га.

Закладка и проведение опыта, а также сопутствующие учеты и наблюдения в течение вегетации культуры проведены по методике полевого опыта.

При возделывании озимого рапса применялась интегрированная система защиты растений от сорняков, болезней, вредителей.

Агрохимические показатели пахотного слоя определяли по общепринятым методикам: обменную кислотность pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91), содержание гумуса – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91), обменный марганец – из вытяжки 1,0 М KCl на атомно-абсорбционном спектрометре Solaar ICE 3000 (ГОСТ 26486-85), подвижный цинк и медь – на атомно-абсорбционном спектрометре Solaar ICE 3000 (ГОСТ 28268-89). В зерне и соломе озимой пшеницы определяли содержание меди, марганца и цинка на атомно-абсорбционном спектрометре Solaar ICE 3000.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что при возделывании озимого рапса на высококультурной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, отмечается повышение урожайности семян озимого рапса при улучшении условий минерального питания и некорневых подкормок растений микроудобрениями (табл. 1).

Таблица 1

Влияние микроудобрений МикроСтим на урожайность семян озимого рапса, ц/га

Варианты	2020 г.	2021 г.	Средняя	Прибавка к фону
1. Вариант без удобрений	18,3	12,0	15,2	–
2. $N_{200}P_{54}K_{72}$ – фон	29,1	21,6	25,4	–
3. Фон + $B_{0,15}$	33,5	25,0	29,3	3,9
4. Фон + $B_{0,15}Cu_{0,025}$	31,0	25,4	28,2	2,8
5. Фон + $B_{0,15}Cu_{0,05}$	31,3	24,3	27,8	2,4
6. Фон + $B_{0,15}Mn_{0,05}$	34,1	24,2	29,2	3,8
7. Фон + $B_{0,15}Mn_{0,10}$	31,7	25,5	28,6	3,2
8. Фон + $B_{0,15}Zn_{0,035}$	32,0	26,8	29,4	4,0
9. Фон + $B_{0,15}Zn_{0,070}$	33,1	24,5	28,8	3,4
10. Фон + $B_{0,15}Cu_{0,025}Mn_{0,05}$	35,1	26,0	30,6	5,2
11. Фон + $B_{0,15}Cu_{0,05}Mn_{0,10}$	33,0	22,7	27,9	2,5
12. Фон + $B_{0,15}Cu_{0,025}Zn_{0,035}$	34,2	24,4	29,3	3,9
13. Фон + $B_{0,15}Cu_{0,05}Zn_{0,070}$	33,3	24,1	28,7	3,3
14. Фон + $B_{0,15}Mn_{0,05}Zn_{0,035}$	31,6	23,0	27,3	1,9
15. Фон + $B_{0,15}Mn_{0,10}Zn_{0,070}$	30,5	22,2	26,4	1,0
16. Фон + $B_{0,15}Cu_{0,025}Mn_{0,05}Zn_{0,035}$	29,9	23,5	26,7	1,3
17. Фон + $B_{0,15}Cu_{0,05}Mn_{0,10}Zn_{0,070}$	30,2	23,3	26,8	1,4
18. Фон + $B_{0,20}$	34,1	25,6	29,9	4,5
НСР ₀₅	2,09	2,16	1,90	–

Дозы микроэлементов даны в кг/га по д. в.

Так, в варианте без удобрений урожайность семян рапса составила 15,2 ц/га, в варианте с внесением минеральных удобрений в дозе $N_{200}P_{54}K_{72}$ – 25,4 ц/га. Некорневые подкормки микроэлементами увеличивали урожайность семян озимого рапса до 26,4–30,6 ц/га в зависимости от вида и дозы микроудобрения. Рапс относится к растениям, требующим для своего роста и развития относительно много бора. Данные урожайности семян озимого рапса, представленные в таблице 1, свидетельствуют о высокой отзывчивости этой культуры к внесению бора. Подкормка бором увеличивала урожайность семян в среднем на 15,3 %. Так, в условиях 2020 г. 3-кратная некорневая подкормка бором в период вегетации в дозе 0,15 кг/га д. в. обеспечила урожайность семян 33,5 ц/га, в 2021 г. – 25,0 ц/га. В среднем за два года прибавка урожая семян рапса при некорневых подкормках бором в дозе 0,15 кг/га д. в. составила 3,9 ц/га. При увеличении дозы бора до 0,20 кг/га д. в. прибавка урожайности семян повышалась до 4,5 ц/га. Отмечается положительное влияние марганца, меди и цинка на урожайность семян озимого рапса. Эффективность внесения данных микроэлементов на фоне некорневой подкормки бором в дозе 0,15 кг/га д. в. зависела от дозы и сочетаний их внесения. На фоне применения бора в дозе 0,15 кг/га д. в. наиболее высокие прибавки урожайности семян рапса отмечены при более низких дозах внесения следующих сочетаний микроэлементов: $B_{0,15}+Zn_{0,035}$ (прибавка 4,0 ц/га), $B_{0,15}+Cu_{0,025}Zn_{0,035}$ (прибавка 3,9 ц/га), $B_{0,15}+Mn_{0,05}$ (прибавка 3,8 ц/га). Наиболее эффективно совместное применение в некорневую подкормку рапса бора, меди и марганца в низкой дозе ($B_{0,15}Cu_{0,025}Mn_{0,05}$). В этом варианте прибавка урожайности семян рапса составила 5,2 ц/га (20,5 %) в сравнении с фоновым вариантом.

Ценность семян рапса определяется, прежде всего, содержанием масла, которое широко используется в пищевой промышленности. Масличность семян рапса в варианте с внесением минеральных удобрений в дозе $N_{200}P_{54}K_{72}$ составила 45,6 %, применение в некорневую подкормку микроудобрений обеспечило получение масличности на уровне 46,2–47,3 % (табл. 2).

При внесении борных микроудобрений в дозах $B_{0,15}$ и $B_{0,20}$ кг/га д. в. масличность семян составила 46,5 и 46,7 % соответственно. На фоне некорневой подкормки бором в дозе $B_{0,15}$ кг/га д. в. дополнительное внесение меди и марганца (в вариантах 10, 11) позволило максимально увеличить содержание масла в семенах рапса (на 1,6–1,7 %). Комплексная оценка продуктивности рапса выражается показателем сбора масла с единицы площади. Полученные расчеты показали, что за счет минеральных удобрений в фоновом варианте в дозе $N_{200}P_{54}K_{72}$ выход масла составил 11,5 ц/га. Некорневая подкормка микроудобрениями увеличила выход масла на 0,7 ц/га (6,0 %) – 2,8 ц/га (24,4 %) в сравнении с фоновым вариантом. Максимальный выход масла (14,3 ц/га) отмечается в варианте совместного внесения бора, меди и марганца в дозах $B_{0,15}Cu_{0,025}Mn_{0,05}$ (табл. 2). Не менее ценным продуктом производства маслосемян рапса является кормовой белок (шрот и жмых). В среднем за два года исследований, содержание сырого белка в семенах рапса в варианте с внесением минеральных удобрений составило 22,7 %, при внесении микроудобрений – 21,3–24,6 %. Выход сырого белка в большей степени зависел от урожайности семян озимого рапса. Микроудобрения повышали выход белка на 0,2–1,2 ц/га. Высокий выход белка (7,0 ц/га) отмечается в варианте с внесением микроудобрений в дозах $B_{0,15}Cu_{0,025}Mn_{0,05}$.

**Влияние микроудобрений на показатели качества семян озимого рапса
(среднее за 2020–2021 гг.)**

Варианты	Урожайность, ц/га	Масличность, %	Выход масла, ц/га	Сырой белок, %	Выход сырого белка, ц/га
1. Вариант без удобрений	15,2	44,5	6,7	20,9	3,2
2. N ₂₀₀ P ₅₄ K ₇₂ – фон	25,4	45,6	11,5	22,7	5,8
3. Фон + B _{0,15}	29,3	46,5	13,6	22,8	6,7
4. Фон + B _{0,15} Cu _{0,025}	28,2	46,2	13,0	22,6	6,4
5. Фон + B _{0,15} Cu _{0,05}	27,8	46,5	12,9	24,6	6,8
6. Фон + B _{0,15} Mn _{0,05}	29,2	46,8	13,6	23,0	6,7
7. Фон + B _{0,15} Mn _{0,10}	28,6	46,4	13,3	23,0	6,6
8. Фон + B _{0,15} Zn _{0,035}	29,4	46,8	13,8	23,3	6,9
9. Фон + B _{0,15} Zn _{0,070}	28,8	46,4	13,4	22,2	6,4
10. Фон + B _{0,15} Cu _{0,025} Mn _{0,05}	30,6	47,2	14,3	23,0	7,0
11. Фон + B _{0,15} Cu _{0,05} Mn _{0,10}	27,9	47,3	13,2	24,0	6,7
12. Фон + B _{0,15} Cu _{0,025} Zn _{0,035}	29,3	46,7	13,7	23,1	6,8
13. Фон + B _{0,15} Cu _{0,05} Zn _{0,070}	28,7	46,7	13,4	23,4	6,7
14. Фон + B _{0,15} Mn _{0,05} Zn _{0,035}	27,3	46,5	12,7	23,7	6,5
15. Фон + B _{0,15} Mn _{0,10} Zn _{0,070}	26,4	46,3	12,2	22,6	6,0
16. Фон + B _{0,15} Cu _{0,025} Mn _{0,05} Zn _{0,035}	26,7	47,1	12,6	21,3	5,7
17. Фон + B _{0,15} Cu _{0,05} Mn _{0,10} Zn _{0,070}	26,8	46,8	12,5	22,6	6,1
18. Фон + B _{0,20}	29,9	46,7	13,9	23,0	6,9
НСР ₀₅	1,90	1,13	–	–	0,57

При разработке научных основ рационального и экологически безопасного применения микроудобрений под рапс важна эколого-агрохимическая оценка состояния микроэлементного состава семян в зависимости от доз и сроков их применения. Некорневые подкормки растений озимого рапса микроудобрениями не оказали существенного влияния на накопление микроэлементов в семенах в сравнении с фоновым вариантом (табл. 3). Микроэлементы по величине накопления в семенах рапса располагались в следующем убывающем порядке: Zn>Mn>B>Cu. Содержание меди в семенах рапса составило 2,9–3,5, бора – 7,1–8,6, марганца – 19,6–21,5, цинка – 20,4–27,1 мг/кг сухой массы. По существующим нормативам потребность микроэлементов в кормах для животных составляет: меди – 5,0–7,0 мг/кг, цинка – 20,0–50,0 мг/кг, марганца – на уровне 60 мг/кг сухого вещества корма [20]. Аккумуляция данных микроэлементов в семенах рапса не достигала нижней границы установленных нормативов, за исключением цинка.

Для более объективной оценки полученных результатов проведен их экономический анализ. Оценка экономической эффективности некорневых

подкормок в период вегетации озимого рапса жидкими микроудобрениями МикроСтим проведена с учетом полученные в полевом опыте прибавок урожайности, нормативных данных затрат и цен на текущий год (табл. 4). Расчет экспериментальных данных показал, что все микроудобрения, вносимые под озимый рапс, были эффективны. Эффективность микроудобрений МикроСтим в некорневые подкормки озимого рапса зависела от доз и сочетаний микроэлементов. Уровень рентабельности от применения микроэлементов по вариантам опыта составил 117–241 %. Достаточно высокая окупаемость приема отмечается при некорневой подкормке микроудобрением МикроСтим-Бор. Повышение дозы бора с $B_{0,15}$ до $B_{0,20}$, увеличивало чистый доход с 97,5 до 113,5 при рентабельности 234 и 241 % соответственно. Наиболее экономически оправданным было совместное внесение микроудобрений МикроСтим, содержащих бор, медь и марганец. На фоне внесения минеральных удобрений в дозах $N_{200}P_{54}K_{72}$ 3-кратная некорневая подкормка микроудобрениями МикроСтим-Бор, МикроСтим-Медь, МикроСтим-Марганец в дозах $B_{0,15}Cu_{0,025}Mn_{0,05}$ обеспечивала чистый доход 128,2 USD/га при рентабельности 223 %.

Таблица 3

Влияние микроудобрений на содержание микроэлементов в семенах озимого рапса (среднее за 2020–2021 гг.)

Варианты	Бор	Медь	Марганец	Цинк
	мг/кг сухой массы			
1. Вариант без удобрений	7,1	2,9	19,7	20,4
2. $N_{200}P_{54}K_{72}$ – фон	7,8	3,1	20,9	24,4
3. Фон + $B_{0,15}$	7,9	–	–	–
4. Фон + $B_{0,15}Cu_{0,025}$	7,6	2,9	–	–
5. Фон + $B_{0,15}Cu_{0,05}$	7,7	2,9	–	–
6. Фон + $B_{0,15}Mn_{0,05}$	7,7	–	21,1	–
7. Фон + $B_{0,15}Mn_{0,10}$	7,7	–	19,6	–
8. Фон + $B_{0,15}Zn_{0,035}$	7,7	–	–	25,4
9. Фон + $B_{0,15}Zn_{0,070}$	8,3	–	–	27,1
10. Фон + $B_{0,15}Cu_{0,025}Mn_{0,05}$	8,0	3,0	19,7	–
11. Фон + $B_{0,15}Cu_{0,05}Mn_{0,10}$	8,0	3,0	21,5	–
12. Фон + $B_{0,15}Cu_{0,025}Zn_{0,035}$	7,9	3,0	–	24,6
13. Фон + $B_{0,15}Cu_{0,05}Zn_{0,070}$	8,3	3,4	–	25,7
14. Фон + $B_{0,15}Mn_{0,05}Zn_{0,035}$	8,4	–	20,3	22,9
15. Фон + $B_{0,15}Mn_{0,10}Zn_{0,070}$	8,6	–	20,5	24,0
16. Фон + $B_{0,15}Cu_{0,025}Mn_{0,05}Zn_{0,035}$	8,1	3,5	20,0	24,2
17. Фон + $B_{0,15}Cu_{0,05}Mn_{0,10}Zn_{0,070}$	8,0	3,0	20,7	24,1
18. Фон + $B_{0,20}$	8,0	–	–	–

Экономическая эффективность некорневой подкормки озимого рапса микроудобрениями МикроСтим на дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве (среднее за 2020–2021 гг.)

Варианты	Прибавка урожая семян, ц/га	Стоимость прибавки	Общие затраты*	Условно чистый доход	Рентабельность, %
N ₂₀₀ P ₅₄ K ₇₂ – фон	–	–	–	–	–
Фон + В _{0,15}	3,9	139,2	41,7	97,5	234
Фон + В _{0,15} Cu _{0,025}	2,8	99,9	38,8	61,1	158
Фон + В _{0,15} Cu _{0,05}	2,4	85,6	39,4	46,2	117
Фон + В _{0,15} Mn _{0,05}	3,8	135,6	47,8	87,8	184
Фон + В _{0,15} Mn _{0,10}	3,2	114,2	51,4	62,8	122
Фон + В _{0,15} Zn _{0,035}	4,0	142,8	45,6	97,2	213
Фон + В _{0,15} Zn _{0,070}	3,4	121,4	46,0	75,4	164
Фон + В _{0,15} Cu _{0,025} Mn _{0,05}	5,2	185,6	57,4	128,2	223
Фон + В _{0,15} Cu _{0,05} Mn _{0,10}	2,5	89,2	38,1	51,1	134
Фон + В _{0,15} Cu _{0,025} Zn _{0,035}	3,9	139,2	47,7	91,5	192
Фон + В _{0,15} Cu _{0,05} Zn _{0,070}	3,3	117,8	50,7	67,1	132
Фон + В _{0,20}	4,5	160,6	47,1	113,5	241

* Общие затраты: стоимость микроудобрений; затраты на внесение микроудобрений; затраты на уборку, доработку и реализацию прибавки урожая, полученного за счет применения микроудобрений.

ВЫВОДЫ

1. При возделывании озимого рапса на дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве наиболее эффективным приемом является комплексное внесение в некорневую подкормку бора, меди и марганца в дозах В_{0,15}Cu_{0,025}Mn_{0,05}, обеспечивающим повышение урожайности семян на 5,2 ц/га, масличности – на 1,6 % при рентабельности 223 %.

2. Накопление микроэлементов в семенах рапса располагается в следующем убывающем порядке: Zn>Mn>B>Cu. Содержание меди в семенах рапса составило 2,9–3,5, бора – 7,1–8,6, марганца – 19,6–21,5, цинка – 20,4–27,1 мг/кг сухой массы. Внесение микроудобрений в некорневую подкормку озимого рапса не оказало существенного влияния на накопление микроэлементов в семенах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пиллюк, Я. Э. Научные основы селекции и технологии возделывания рапса в Беларуси: дис...д-ра. с.-х. наук: 06.01.09 / Пиллюк Я. Э. – Жодино, 2021. – 83 л.
2. Булавин, Л. А. Агроэкономическая эффективность применения

микроэлементов в посевах озимого и ярового рапса / Л. А. Булавин // Вестник БГСХА. – 2012. – № 4. – С. 37–41.

3. Агрономическая эффективность применения удобрения Интермаг Титан в посевах озимого рапса / А. К. Золотарь [и др.] // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сб. научн. статей по материалам XIX Междунар. науч.-практ. конф. (Гродно, 25 марта, 7апреля, 3 июня 2016 г.) / Гродн. гос. аграр. ун-т. – Гродно: ГГАУ, 2016. – С. 51–52.

4. Эффективность применения новых органоминеральных удобрений в посевах озимого рапса / В. А. Телеш [и др.] // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сб. научн. статей по материалам XIX Междунар. науч.-практ. конф. (Гродно, 25 марта, 7апреля, 3 июня 2016 г.) / Гродн. гос. аграр. ун-т. – Гродно: ГГАУ, 2016. – С. 124–126.

5. Юргель, С. И. Изучение баковых смесей перспективных удобрений на посевах озимого рапса / С. И. Юргель, Т. Г. Синевич, М. С. Тризна // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сб. научн. статей по материалам XIX Междунар. науч.-практ. конф. (Гродно, 25 марта, 7апреля, 3 июня 2016 г.) / Гродн. гос. аграр. ун-т. – Гродно: ГГАУ, 2016. – С. 159–161.

6. Габбасов, И. И. Удобрительно-стимулирующие составы и биопрепараты в производстве рапсового масличного сырья на серых лесных почвах Республики Татарстан: дис...канд. с.-х. наук: 06.01.04 / И. И. Габбасов; КГАУ. – Казань, 2019. – 156 с.

7. Рапс и сурепица: (выращивание, уборка, использование) / Д. Шпаар [и др.]; под общ. ред. Д. Шпаар. – 2-е изд, пер. и расш. – М., 2007. – 319 с.

8. Шаганов, И. А. Рапсовое поле Беларуси: практ. рук. по освоению интенсивной технологии возделывания озимого рапса на маслосемена / И. А. Шаганов. – Минск: Равноденствие, 2008. – 70 с.

9. Растениеводство: учебное пособие / К. В. Коледа [и др.]; под ред. К. В. Коледы, А. А. Дудука – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 480 с.

10. Агрохимические аспекты возделывания озимого рапса / Ф. Н. Леонов [и др.] // Земляробства и ахова раслін. – 2009. – № 5 – С. 15–21.

11. Сафиоллин, Ф. Н. Рапс в лесостепи Поволжья / Ф. Н. Сафиоллин. – Казань: Изд-во Казанс. гос. ун-та, 2008. – 408 с.

12. Aekman R. G. Chemical Composition of Rapeseed Oil. In: High and low erucic acid rapeseed oils (Eds. J. Kramer et al.), Academic Press Toronto, 2003 – P. 85–129.

13. Гайфуллин, Р. Р. Влияние некорневой подкормки микроудобрениями на формирование урожайности семян ярового рапса / Р. Р. Гайфуллин, А. М. Хайруллин // Живые и биокосные системы. – 2014. – № 8. – С. 18–22.

14. Вильдфлуш, И. Р. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Беларус. наука, 2011. – 293 с.

15. 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.

16. Косолапов, В. М. Минеральные элементы в кормах и методы их анализа: монография / В. М. Косолапов, В. А. Чуйков, Х. К. Худякова. – М.: ООО «Угрешская типография», 2019. – 272 с.

THE EFFECTIVENESS OF MICRO FERTILIZERS IN THE CULTIVATION OF WINTER RAPESEED ON SOD-PODZOLIC HIGHLY CULTIVATED LIGHT LOAMY SOIL

M. V. Rak, E. N. Pukalova, N. S. Guzova, L. N. Guk

Summary

The article presents the results of research on the effectiveness of the use of liquid micro-fertilizers MicroStim in the cultivation of winter rapeseed on sod-podzolic highly cultivated light loamy soil. It has been established that foliar top dressing of plants with various brands of micronutrients MicroStim increases the yield and oil content of winter rape seeds and is an economically justified technique.

Поступила 25.03.2022

УДК 632.15: 579.64

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-200-212](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-200-212)

СКРИНИНГ СПОСОБНОСТИ КАЛИЙМОБИЛИЗУЮЩИХ РИЗОБАКТЕРИЙ МЕТАБОЛИЗИРОВАТЬ ГЕРБИЦИД ГЛИФОСАТ

Н. А. Михайловская, Т. Б. Барашенко, Т. В. Погирницкая, С. В. Дюсова

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

ВВЕДЕНИЕ

Фосфорорганические соединения, содержащие углерод-фосфорную С–Р связь, относятся к опасным загрязнителям. Органофосфаты входят в состав гербицидов, инсектицидов, антибиотиков. По объемам применения лидируют гербициды. Наиболее широко применяется глифосат (N-фосфонометилглицин) – не-селективный гербицид системного действия, который служит основой множества препаратов под разными коммерческими названиями.

Эффективность и невысокая стоимость глифосата, а также создание устойчивых к гербициду трансгенных сортов важнейших сельскохозяйственных культур способствовали его глобальному применению [1, 2, 3]. Глифосат активно используется в сельскохозяйственных посевах, в лесном хозяйстве, на городских территориях, в садоводстве, для очистки водоемов, что привело к практически повсеместному присутствию гербицида и его остатков в окружающей среде. По литературным данным остаточные количества ГФ и его основного метаболита практически повсеместно обнаруживаются в почве [2–5, 9–11], в воде [2, 5–8], в воздухе [2, 3], продукции растениеводства [3, 12–14].

Основным аргументом в пользу безопасности глифосата (ГФ) считалось быстрое снижение его концентрации в почве после применения. Однако известно,

что природные микробные сообщества почвы и воды разлагают глифосат преимущественно до аминометилфосфоновой кислоты (АМФК) – основного метаболита, который по-прежнему содержит ковалентную связь С–Р и представляет гораздо большую опасность, чем глифосат, так как сильнее адсорбируется компонентами почвы и дольше сохраняется [8, 9, 11]. К настоящему времени накоплено достаточно научной информации, подтверждающей, что АМФК разлагается значительно медленнее, чем глифосат [3, 8, 11]. В экспериментах с радиоактивной меткой Al-Ragab and Schiavon установили, что 85–99% исходной радиоактивности глифосата трансформировались в АМФА при инкубации в супесчаной и суглинистой почвах в течение 80 дней [15]. Основную проблему представляет первичный метаболит глифосата – аминометилфосфоновая кислота.

Как правило, глифосат применяется ежегодно на одном и том же поле. При изучении влияния пятикратного применения глифосата на скорость его минерализации в суглинистой почве Lancaster et al. [16] показали, что константа скорости минерализации первого порядка для однократного применения больше, чем для пяти последовательных применений глифосата. Это указывает на замедление минерализации гербицида при его повторяющихся применениях.

Значительно возросло количество научных публикаций о негативном экологическом действии глифосата и необходимости его детоксикации. Современные научные исследования свидетельствуют о токсическом действии ГФ на живые организмы. Глифосат и его коммерческие формы оказывают цитотоксическое действие на клетки человека и вызывают их апоптоз [17–19]. На основании накопленной информации об экологической опасности и токсическом действии ГФ на живые организмы Всемирная организация здравоохранения в 2015 году признала глифосат карциногенным для человека [3].

Для снижения негативных последствий многократного применения глифосата, восстановления биологической активности почвы и получения экологической продукции необходимы периодические ремедиации загрязненных природных объектов. Глифосат может быть обезврежен с применением микробных (микробная детоксикация) или абиотических методов (адсорбция, термолиз, фотодеградация). Наиболее адекватно применение микробных деструкторов гербицида. Микроорганизмы, главным образом бактерии, способны расщеплять С–Р связь в глифосате за счет действия своих ферментных систем. Анализ научной литературы свидетельствует, что наиболее перспективны микробные методы детоксикации, которые могут обеспечить разложение глифосата до безопасных соединений [20–24]. Биологические методы ремедиации экологически наиболее приемлемы, эффективны и не требуют высоких экономических затрат.

Поиск и разработка способов микробной детоксикации глифосата является приоритетной задачей. Основное внимание целесообразно уделить бактериям, так как наибольшее число деструкторов глифосата обнаружено среди прокариотов. Способность к биодegradации органофосфатов в почве и воде проявляют бактерии родов *Pseudomonas* [3, 25, 26], *Rhizobium* sp. [3, 27], *Arthrobacter* [3, 28], *Bacillus* sp. [3, 29] и некоторых других. Эффективность процесса катаболизма (разложения) глифосата существенно зависит от родовой и видовой принадлежности бактерий.

В задачи наших исследований входили поиски деструкторов глифосата среди RGP-ризобактерий, применяемых в качестве инокулянтов. Калиймобилизующие

ризобактерии *Bacillus* spp. представляют особый интерес как объекты исследований. Калиймобилизующие бактерии (слизееобразующие бациллы), сохраняемые в нашей коллекции, эффективно воздействуют на метаболизм растений. Применение инокулянтов на их основе активизирует потребление разных по степени подвижности форм почвенного калия [30, 31], индуцирует гормональный эффект [31, 32], улучшает качество зерна по содержанию и аминокислотному составу белка [31, 33]. Установлено, что слизееобразующие бациллы нашей коллекции проявляют высокую антагонистическую активность в отношении корневых фитопатогенов [34]. Вопросы взаимодействия PGP-ризобактерий с глифосатом и другими гербицидами практически не исследованы.

Цель исследований – скрининг способности зональных калиймобилизующих бактерий *Bacillus* spp. метаболизировать гербицид глифосат.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами скрининга служили зональные калиймобилизующие ризобактерии *Bacillus* spp. из коллекционного фонда лаборатории микробиологии и биохимии почв. Изучение способности ризобактерий метаболизировать глифосат проведено в серии *in vitro* экспериментов по их культивированию на минеральных твердых и в жидких питательных средах.

Состав среды DN (г/л): KH_2PO_4 – 0,4; K_2HPO_4 – 0,1; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,2; NaCl – 0,1; $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 0,02; $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 0,01; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – 0,002; яблочная кислота – 3,6; дрожжевой экстракт – 0,05; спиртовой раствор бромтимолового синего (0,5%) – 5,0 мл; агар – 20,0; 1000 мл воды; NaOH – для доведения pH – до оптимального уровня 6,8–7,0.

Состав среды Nfb (г/л): яблочная кислота – 5,0; KOH – 4,0; K_2HPO_4 – 0,5; NaCl – 0,1; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,2; CaCl_2 – 0,02; $\text{FeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – 0,01 г; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0,002 г; бромтимоловый синий (0,5% спиртовой раствор) – 2 мл; агар – 20,0; 1000мл воды; оптимальный уровень pH – 6,8. При использовании глифосата в качестве источника углерода состав среды Nfb следующий: K_2HPO_4 – 0,5; NaCl – 0,1; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,2; CaCl_2 – 0,02; $\text{FeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – 0,01г; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0,002г; агар – 20,0. При использовании глифосата в качестве источника фосфора состав среды Nfb следующий: яблочная кислота – 5,0; KOH – 4,0; NaCl – 0,1; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,2; CaCl_2 – 0,02; $\text{FeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – 0,01г; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0,002г; агар – 20,0.

Состав среды Муромцева (г/л): глюкоза – 10,0; аспарагин – 1,0; K_2SO_4 – 0,2; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,4; дрожжевой автолизат – 0,5; агар – 17,0, вода дистиллированная – до 1 л с добавлением $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ непосредственно перед использованием. При исследовании глифосата в качестве источника фосфора трикальцийфосфат в среду не добавляется.

Состав среды Дворкина-Фостера (г/л): глюкоза – 1,0; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 0,375, MgSO_4 – 0,075, CaCO_3 – 0,03, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,001; H_3BO_3 – 0,000001, MnSO_4 – 0,000001, NaHPO_4 – 6,0, K_2HPO_4 – 2,0, дрожжевой экстракт – 0,0053 (121 °C, 1,5 атм., 15 мин.). При использовании глифосата в качестве источника углерода состав среды Дворкина-Фостера следующий (г/л): $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 0,375, MgSO_4 – 0,075, CaCO_3 – 0,03, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,001; H_3BO_3 – 0,000001, MnSO_4 – 0,000001; NaHPO_4 – 6,0, K_2HPO_4 – 2,0. При использовании глифосата в качестве источника фосфора состав среды (г/л):

глюкоза – 1,0 г/л, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 0,375, MgSO_4 – 0,075, CaCO_3 – 0,03, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,001; H_3BO_3 – 0,000001, MnSO_4 – 0,000001; трис-буфер – 6,05.

Для хранения калиймобилизующих бактерий *Bacillus sp.* (на косяках при температуре + 4,0 °С) использовали картофельную среду. Картофельный агар: 200 г очищенного картофеля варят в 1 л дистиллированной воды 30 минут. Отвар охлаждают и фильтруют через ватный фильтр, (оптимальный уровень pH фильтра – 6,8), вносят агар 20,0 г/л и стерилизуют в автоклаве при температуре 121 °С в течение 20 мин. (давление 1 атм.).

Для проведения исследований использован гербицид Торнадо-500: в. р., 500 г/л глифосата кислоты (изопропиламинная соль). Изготовитель: АО Фирма «Август», Россия, ТУ 20.20.12-071-18015953-2017 г.

Для стерилизации питательных сред и посуды используются стерилизатор паровой ГК-100-3, стерилизатор паровой ГК-10-1, облучатели ультрафиолетовые УГД-2 и УГД-3.

Для культивирования бактерий в жидких культурах используются: Экрос (№ 6410), шейкер орбитальный KS-501 digital IKA WERKE (GmbH & Co.KG), перемешивающее устройство ЛАБ-ПУ-01 (2007 г.) и термостат ТПС – 1.

Для учета микроорганизмов применяется прибор для счета бактерий ПСБ. Определение оптической плотности бактериальных суспензий проводили на фотоэлектрическом колориметре КФК-2-УХЛ-4,2.

Тестирование устойчивости калиймобилизующих бактерий к глифосату на твердых питательных средах. Для первичного тестирования толерантности к глифосату использованы двухсуточные культуры коллекционных калиймобилизующих ризобактерий, выращенные на картофельном агаре (28 °С). При соблюдении правил асептики в конические колбы (объем 300 мл) вносили стерильный (110°, 20 мин.) раствор гербицида Торнадо-500 различных концентраций, затем приливали по 100 мл расплавленной питательной среды (КА, DN, Муромцева), тщательно перемешивали и разливали в чашки Петри (20 мл в каждую). Концентрации глифосата в питательных средах составили (мг/мл): 0 (C_0), 0,25 (C_1), 0,50 (C_2), 0,75 (C_3), 1,0 (C_4), 2,0 (C_5) и 3,0 (C_6). После застывания питательной среды чашки Петри подсушивали. Культуры ризобактерий высевали методом штриха и инкубировали в термостате (28 °С). Периодичность визуального мониторинга активности роста ризобактерий – каждые 2–3 суток. Повторность в опытах пятикратная.

Скрининг способности ризобактерий *Bacillus sp.* развиваться на питательных средах с разными источниками углерода. Первый этап скрининга был выполнен на твердой питательной среде DN, в состав которой входили разные источники углерода (глифосат, глифосат + яблочная кислота, яблочная кислота). Исследования проведены при содержании глифосата в среде 3,0 мг/мл.

Следующий этап скрининга выполнен в жидкой минеральной среде (MSM) Дворкина-Фостера [36]. В ходе экспериментов в конические колбы объемом 1000 мл, содержащие 450 мл жидкой питательной среды Дворкина-Фостера (без источника углерода), вносили 5 мл инокулюма исследуемой двухсуточной бактериальной культуры. Начальные титры бактериальных суспензий определяли по оптической плотности бактериальной суспензии на фотоэлектрическом колориметре КФК-2-УХЛ-4,2 ($\lambda = 590$ нм, кювета 10 мм, контроль – питательная среда) в соответствии с калибровочным графиком, построенными для калиймобилизующих бактерий *Bacillus sp.*

Стерильный 50 %-ный раствор гербицида Торнадо (110 °С, 20 мин.) и стерильный 10 %-ный раствор глюкозы (110 °С, 1,0 атм) готовили отдельно для использования в качестве источников углерода. Бактериальные культуры тестировали по следующей схеме:

- 1) среда Дворкина-Фостера с глюкозой (ГЛ)
- 2) среда с глифосатом (ГФ)
- 3) среда с глифосатом и глюкозой (ГЛ + ГФ).

При соблюдении правил асептики в 9 конических колб вносили по 50 мл инокулированной питательной среды (без источника углерода). Затем в три опытные колбы (повторность в опыте трехкратная) вносили стерильную глюкозу (стандартная среда – ГЛ) из расчета конечной концентрации 1,0 г/л, в следующие три опытные колбы вносили стерильный раствор глифосата (среда ГФ) до конечной концентрации 3,0 мг/мл, в остальные опытные колбы вносили последовательно глюкозу и глифосат (среда ГЛ + ГФ) и тщательно перемешивали. Колбы помещали в термостат при температуре 28 °С. Проводили периодическое перемешивание с помощью устройства ЛАБ-ПУ (90 об/мин.).

Для мониторинга роста исследуемых ризобактерий из каждой опытной колбы отбирали аликвоты по 5 мл с интервалом 8 часов при первом измерении и через каждые 24 часа – при последующих определениях. Критерием активности роста ризобактерий служили показатели оптической плотности бактериальной суспензии ($\lambda = 590$ нм, кювета 10 мм, контроль – питательная среда). Плотность популяции определяли по калибровочному графику. Получены экспериментальные кривые роста для протестированных бактерий, характеризующие зависимость плотности популяции от источника углерода в питательной среде и длительности эксперимента.

Скрининг способности ризобактерий *Bacillus* sp. развиваться на питательных средах с разными источниками фосфора. Для оценки активности роста двухсуточные культуры зональных штаммов и изолятов калиймобилизующих бактерий *Bacillus* sp. культивировали на твердых питательных средах с разными источниками фосфора. В первом блоке *in vitro* экспериментов оценка роста проведена на питательной среде Муромцева, содержащей следующие источники фосфора: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ + глифосат, а также глифосат как единственный источник фосфора. По аналогичной схеме проведен скрининг на твердой питательной среде Nfb, где источниками фосфора служили K_2HPO_4 , глифосат + K_2HPO_4 и собственно глифосат.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первичное тестирование калиймобилизующих ризобактерий на твердых питательных средах с глифосатом. Начальные этапы тестирования включали оценку показателей роста ризобактерий на твердых питательных средах (DN и картофельный агар), с возрастающими концентрациями глифосата. По способности развиваться в присутствии глифосата проведена первичная дифференциация зональных штаммов калиймобилизующих ризобактерий.

Микробиологические *in vitro* исследования с возрастающими концентрациями глифосата показали, что калиймобилизующие ризобактерии существенно различались по активности роста на картофельном агаре и плотной питательной среде

DN. По результатам первичного тестирования отмечены следующие перспективные объекты: *Bacillus* sp. K-62, *Bacillus* sp. K-65, *B. circulans* K-81 и *Bacillus* sp. Kт (табл. 1). Аналогичная серия *in vitro* экспериментов была выполнена на плотной питательной среде DN. Лучший рост также давали *Bacillus* sp. K-62, *Bacillus* sp. K-65, *B. circulans* K-81 и *Bacillus* sp. Kт.

Таблица 1

Показатели активности роста калиймобилизующих бактерий при возрастающей концентрации глифосата в картофельном агаре (*in vitro*)

Штамм	Концентрация глифосата в питательной среде						
	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
<i>Bacillus</i> sp. K-2	+++	+++	++	+	+	+	-
<i>Bacillus</i> sp. K-25	+++	+++	++	++	+	+	+
<i>Bacillus</i> sp. K-30	+++	+++	++	+	+	-	-
<i>Bacillus</i> sp. K-31	+++	+++	+++	+	+	+	+
<i>Bacillus</i> sp. K-51	+++	+++	++	++	+	+	-
<i>Bacillus</i> sp. K-54	+++	+++	+++	+	-	-	-
<i>Bacillus</i> sp. K-62	+++	+++	+++	+++	++	++	++
<i>Bacillus</i> sp. K-65	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
<i>Bacillus</i> sp. K-70	+++	+++	+++	+	+	+	-
<i>Bacillus</i> sp. K-72	+++	+++	+++	++	++	++	+
<i>Bacillus</i> sp. K-86	+++	+++	+++	++	+	-	-
<i>B. circulans</i> K-81	+++	+++	+++	+++	++	++	++
<i>Bacillus</i> sp. Kт	+++	+++	+++	+++	+++	++	++

+++ хороший рост, ++ средний рост, + слабый рост, - отсутствие роста.

Результаты, полученные на двух питательных средах разного состава, показали перспективность дальнейшей работы с отобранными штаммами калиймобилизующих ризобактерий рода *Bacillus*. Определен круг перспективных объектов для продолжения исследований.

Скрининг калиймобилизующих ризобактерий по способности метаболизировать глифосат в качестве источника углерода. Процесс скрининга включал несколько этапов. На первом этапе проведена оценка роста слизеобразующих бацилл на двух твердых питательных средах – DN и Nfb. В качестве источников углерода в *in vitro* экспериментах изучали яблочную кислоту (как компонент обеих сред), яблочную кислоту в сочетании с глифосатом и глифосат как единственный источник углерода. Целью первого этапа исследований был отбор перспективных объектов для последующего скрининга в жидкой минеральной среде Дворкина-Фостера.

В процессе скрининга калиймобилизующих ризобактерий отмечено, что большинство зональных изолятов слабо развивались на питательных средах DN и Nfb, содержащих в качестве источника углерода яблочную кислоту в сочетании с глифосатом. Рост ризобактерий на обеих питательных средах DN и Nfb, содержащих глифосат в качестве единственного источником углерода, практически отсутство-

вал или был незначительным. По результатам скрининга можно заключить, что коллекционные калиймобилизующие бактерии практически не способны использовать гербицид глифосат как единственный источник углерода для собственного метаболизма. Относительно активный рост протестированных ризобактерий получен только на стандартных питательных средах DN и Nfb с яблочной кислотой в качестве источника углерода.

Скрининг зональных калиймобилизующих ризобактерий в жидкой питательной среде Дворкина-Фостера. На завершающем этапе проведен количественный скрининг способности ризобактерий метаболизировать глифосат как единственный источник углерода. Для этого бактерии культивировали в жидкой питательной среде Дворкина-Фостера [36]. Скрининг в жидких питательных средах позволяет количественно оценивать рост по плотности популяции микроорганизмов.

По результатам первичного этапа скрининга среди зональных калиймобилизующих бактерий были отобраны штаммы *Bacillus circulans* K-81, *Bacillus* spp. Kт, K-62 и *Bacillus* sp. K-65 для количественного тестирования в жидкой минеральной среде Дворкина-Фостера.

Проведено сравнение активности роста бактериальных культур в жидкой среде с разными источниками углерода: с глюкозой (ГЛ), с глифосатом (ГФ) и с двумя источниками углерода – глюкоза + глифосат (ГЛ + ГФ) на протяжении 9 суток эксперимента. Критерием активности роста бактерий служили показатели оптической плотности (OD_{590}) бактериальных суспензий, которые регистрировали в *in vitro* экспериментах каждые 24 часа. Плотность популяции ризобактерий рассчитывали по калибровочному графику.

Экспериментальные кривые роста, полученные для ризобактерий *Bacillus* sp. Kт, *Bacillus circulans* K-81, *Bacillus* sp. K-62 и *Bacillus* sp. K-65, подтвердили, что ризобактерии активно развивались только в полноценной среде Дворкина-Фостера с глюкозой (ГЛ) в качестве источника углерода. При наличии в питательной среде глифосата в сочетании с глюкозой (ГЛ+ГФ) происходило значительное снижение плотности популяций испытуемых ризобактерий. В жидкой среде Дворкина-Фостера с глифосатом в качестве единственного источника углерода (ГФ) калиймобилизующие бациллы развивались очень слабо, что практического значения не имеет (рис.).

Таким образом, проведена качественная оценка роста зональных калиймобилизующих ризобактерий на твердых питательных средах (DN и Nfb) и количественная оценка роста в жидкой минеральной среде Дворкина-Фостера в присутствии разных источников углерода. Анализ экспериментальных кривых роста, характеризующих зависимость плотности популяции от источника углерода в питательной среде и длительности эксперимента, показал, что зональные ризобактерии рода *Bacillus* практически не способны метаболизировать глифосат как единственный источник углерода. Активность их роста в присутствии глифосата в качестве единственного источника углерода практического интереса не представляет.

В соответствии с литературными данными абсолютное большинство известных к настоящему времени бактериальных деструкторов глифосата метаболизируют его как источник фосфора [3, 21, 22, 28, 29]. Ризобактерии, способные метаболизировать гербицид глифосат как источник углерода или азота [3] встречаются значительно реже.

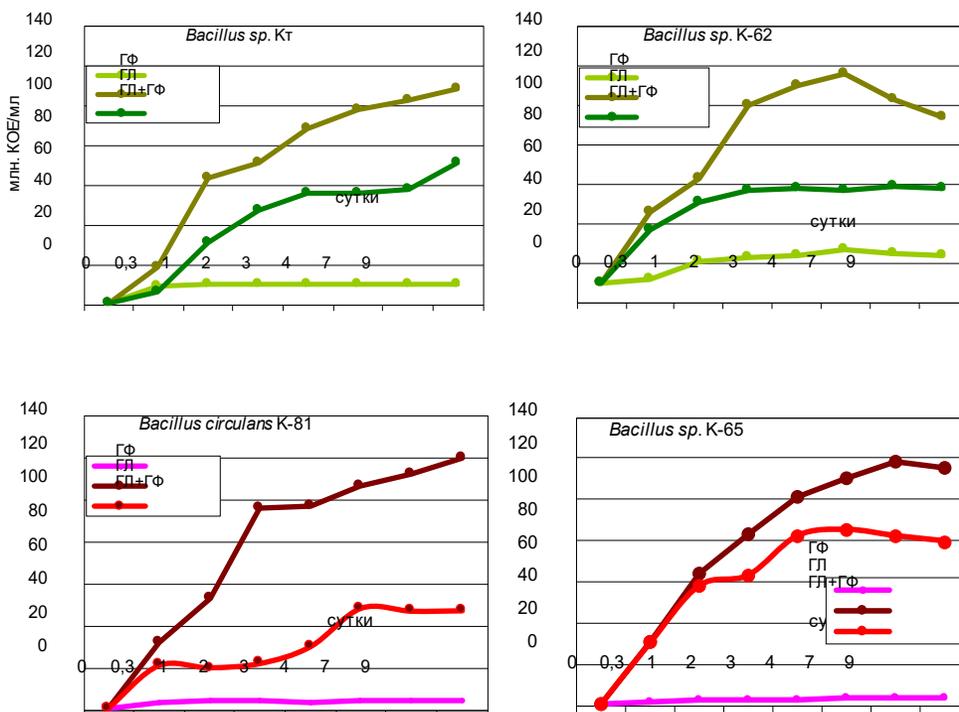


Рис. Влияние источника углерода (глюкоза – ГЛ, глифосат – ГФ, глюкоза + глифосат – ГЛ+ГФ) на плотность популяций калиймобилизующих ризобактерий в среде Дворкина-Фостера

Скрининг способности зональных ризобактерий рода *Bacillus* метаболизировать глифосат в качестве единственного источника фосфора. Ризосферные бактерии рода *Bacillus* представляют интерес как потенциальные биодеструкторы глифосата [3, 29]. Для оценки активности роста двухсуточные культуры штаммов калиймобилизующих бактерий культивировали на твердых питательных средах с разными источниками фосфора. В первом блоке *in vitro* экспериментов оценка роста проведена на питательной среде Муромцева, содержащей следующие источники фосфора для ризобактерий: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ + глифосат, а также глифосат как единственный источник фосфора. По аналогичной схеме был проведен второй блок *in vitro* экспериментов на твердой питательной среде Nfb, где источниками фосфора для ризобактерий служили K_2HPO_4 , глифосат + K_2HPO_4 и собственно глифосат. По результатам скрининга установлено, что протестированные штаммы калиймобилизующих бацилл относительно хорошо развивались на твердой питательной среде Nfb с глифосатом в присутствии дополнительного источника фосфора в форме K_2HPO_4 (табл. 2). При проведении скрининга на питательной среде Nfb с глифосатом как единственным источником фосфора относительно лучший рост отмечен у штаммов *Bacillus sp. Kт* и *Bacillus circulans K-81* (табл. 2).

Таблица 2

**Активность роста калиймобилизирующих бактерий на питательной среде Nfb
с разными источниками фосфора и концентрациями глифосата**

Наличие источника фосфора в среде	Штаммы бактерий	Концентрация глифосата в питательной среде						
		C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
K ₂ HPO ₄ + ГФ	<i>Bacillus</i> sp. Кт	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++
	<i>B. circulans</i> К-81	+++	+++	+++	+++	++	++	++
	<i>Bacillus</i> sp. К-62	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
	<i>Bacillus</i> sp. К-65	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
ГФ	<i>Bacillus</i> sp. Кт	+++	++	+	+	-	-	-
	<i>B. circulans</i> К-81	+++	++	-	-	-	-	-
	<i>Bacillus</i> sp. К-62	+++	+	-	-	-	-	-
	<i>Bacillus</i> sp. К-65	+++	+	-	-	-	-	-

+++ хороший рост, ++ средний рост, + слабый рост, - отсутствие роста.

При культивировании на плотной питательной среде Муромцева с глифосатом в сочетании с Ca₃(PO₄)₂ получены хорошие показатели роста для протестированных калиймобилизирующих бактерий (табл. 3). В экспериментах по культивированию слизистых бацилл на твердой среде Муромцева, содержащей глифосат как единственный источник фосфора (без ортофосфата кальция), более активный рост отмечен для штамма *Bacillus* sp. Кт. Ризобактерии *Bacillus circulans* К-81, *Bacillus* spp. К-62 и К-65 развивались в этих условиях менее активно (табл. 3).

Таблица 3

**Активность роста калиймобилизирующих бактерий на среде Муромцева
с разными источниками фосфора и концентрациями глифосата**

Наличие источника фосфора в среде	Штаммы бактерий	Концентрация глифосата в питательной среде						
		C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
Ca ₃ (PO ₄) ₂ + ГФ	<i>Bacillus</i> sp. Кт	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
	<i>B. circulans</i> К-81	+++	+++	+++	+++	++	++	++
	<i>Bacillus</i> sp. К-62	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
	<i>Bacillus</i> sp. К-65	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
ГФ	<i>Bacillus</i> sp. Кт	+++	+++	+	+	+	-	-
	<i>B. circulans</i> К-81	+++	++	+	-	-	-	-
	<i>Bacillus</i> sp. К-62	+++	++	+	-	-	-	-
	<i>Bacillus</i> sp. К-65	+++	++	+	-	-	-	-

+++ хороший рост, ++ средний рост, + слабый рост, - отсутствие роста.

Таким образом, по результатам скрининга калиймобилизирующих бактерий на твердых и в жидких питательных средах для дальнейших исследований отобраны перспективные целевые объекты.

По литературным данным общей физиологической особенностью процессов биодegradации фосфорорганических соединений является наличие латентного периода, то есть требуется определенный временной промежуток для адаптации микробных клеток к гербициду [20]. Замедление роста и более длинная lag-фаза были отмечены в работах многих исследователей – Moneke A. N., Okpala G. N., Anyanwu C. U. [36], Quinn J. P., Peden J. M., Dick R. E. [37].

Слизеобразующие бациллы широко распространены в почвах зоны умеренного климата, они проявляют высокую активность в отношении мобилизации калия из калийсодержащих минералов. Анализ литературных данных свидетельствует, что основным фактором их воздействия на минеральную часть почвы являются микробные слизи, которые очень богаты и разнообразны по своему составу. Они содержат сложный комплекс реакционноспособных химических соединений, способных взаимодействовать с элементами минералов, что приводит к их постепенному высвобождению из кристаллической решетки и переходу в растворимое состояние [35]. Слизеобразование является не только фактором воздействия на почвенные калийалюмосиликаты, но и служит существенным защитным фактором, обеспечивающим выживание *Bacillus* spp. в конкурентных условиях ризосферы и при неблагоприятных экологических условиях. Можно предположить, что микробные слизи представителей *Bacillus* spp. могут играть определенную роль в процессах разложения глифосата. Однако этот вопрос требует специальных исследований.

ВЫВОДЫ

Проведен поэтапный скрининг способности калиймобилизующих бактерий *Bacillus* spp. метаболизировать гербицид глифосат. Для этого ризобактерии культивировали на минеральных твердых и жидких питательных средах в присутствии глифосата. Этапы скрининга включали качественную (на твердых средах DN и Nfb) и количественную (в жидкой среде Дворкина-Фостера) оценку способности калиймобилизующих ризобактерий метаболизировать глифосат как источник углерода. Анализ экспериментальных кривых роста, характеризующих зависимость плотности популяции от источника углерода в питательной среде показал, что *Bacillus* spp. не используют глифосат как единственный источник углерода. На следующем этапе скрининга (на твердых средах Муромцева и Nfb), установлено, что некоторые коллекционные штаммы ризобактерий *Bacillus* spp. способны метаболизировать глифосат в качестве единственного источника фосфора. На текущем этапе скрининга отобранные штаммы можно расположить в следующий убывающий ряд по активности роста в присутствии глифосата как единственного источника фосфора: *Bacillus* sp. Кт, *Bacillus circulans* К-81, *Bacillus* sp. К-62 и *Bacillus* sp. К-65.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Duke, S. O. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. / S. O. Duke, S. B. Powles // Pest Manage Sci. – 2008. – Vol. 64(4). – P. 319–325.
2. Carlisle, S. M. Glyphosate in the Environment. / S. M. Carlisle, J. T. Trevors // Water, Air and Soil Poll. – 1988. – Vol. 39. – P. 409–420.
3. Recent advances in glyphosate biodegradation / Hui Zhan [et al.] // Applied Mi-

crobiol. Biotech. – 2018.– Vol. 102.– P. 5033–5043.

4. *Gimsing, A. L.* Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: a review. / A. L. Gimsing, O. K. Borggard // *Pest Manag. Sci.* – 2008. – Vol. 64(4). – P. 441–456.

5. *Bai, S. H.* Glyphosate: environmental contamination, toxicity and potential risks to human health via food contamination / S. H. Bai, S. M. Ogbourne // *Environ. Sci. Pollut. Res.* – 2016. – Vol. 23(19). – P. 18988–19001.

6. Glyphosate persistence in seawater / P. Mercurio [et al.] // *Mar Pollut Bull.* – 2014. – Vol. 85(2). – P. 385–390.

7. *Annett, R.* Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicides on the freshwater environment / R. Annett, H. R. Habibi, A. Hontela // *J. Appl. Toxicol.* – 2014. – Vol. 34(5). – P. 458–479.

8. *Grandcoin, A.* Aminomethylphosphonic acid (AMPA) in nature waters: its sources, behavior and environmental fate / A. Grandcoin, S. Piel, E. Baur // *Water Research.* – 2017. – P. 187–197.

9. Occurrence of glyphosate and AMPA in an agricultural watershed from the southeastern region of Argentina / L. Lupi [et al.] // *Sci Total Environ.* – 2015. – Vol. 536. – P. 687–694.

10. *Veiga, F.* Dynamics of Glyphosat and aminomethylphosphonic acid in a forest soil in Galicia, north-west Spain / F. Veiga [et al.] // *Sci. Total Environ.* – 2001. – Vol. 271. № 1–3. – P. 135–144.

11. Newton, M. Dissipation of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in north American forests / M. Newton [et al.] // *J Agric Food Chem.* – 1994. – Vol. 42(8). – P. 12.

12. *Cessna, A. J.* Residues of glyphosate and its metabolite AMPA in strawberry fruit following spot and wiper applications. / A. J. Cessna, N. P. Cain // *Can. J. Plant Sci.* – 1992. – Vol. 72. – P. 1359–1365.

13. *Шувалова, Н. Е.* Биотехнологические аспекты определения токсичности пестицидов на клеточных и организменных тест-системах: автореф. дис. / Н. Е. Шувалова. – Тверь, 2021.

14. Жариков М. Г. Эколого-токсикологическая оценка многолетнего применения глифосата на дерново-подзолистой почве и биоремедиация загрязненных территорий: дис. ...канд биол. наук / М. Г. Жариков; ВАК РФ 03.01.06. – М., 2012.

15. *Al-Ragab, A. J.* Degradation of ¹⁴C-glyphosate and aminomethylphosphonic (AMPA) in three agricultural soils / A. J. Al-Ragab, M. Shiavon // *J. Environ. Sci.* – 2010. – Vol. 23. – P. 1374–1380.

16. Effects of repeated glyphosate applications on soil microbial community composition and the mineralization of glyphosate / S. H. Lancaster [et al.] // *Pest Management Science.* – 2010. – Vol. 66. – P. 59–64.

17. *Benachour, N.* Glyphosate formulations induce apoptosis and necrosis in human umbilical, embryonic, and placental cells / N. Benachour, G. Seralini, // *Chemical Research in Toxicology.* – 2009. – Vol. 22. – P. 97–105.

18. *Chaufan, G.* Glyphosate commercial formulation causes cytotoxicity, oxidative effects, and apoptosis on human cells: Differences with its active ingredient. / G. Chaufan, I. Coalova, M. Molina // *International Journal of Toxicology.* – 2014. – Vol. 33(1). – P. 29–38.

19. *DeRoos, A.* Cancer incidence among glyphosate-exposed pesticide applicators in the agricultural health study / A. DeRoos [et al.] // *Environmental Health Perspec-*

tives. – 2005. – Vol. 113. – P. 49–54.

20. Кононова, С. В. Фосфонаты и их деградация микроорганизмами / С. В. Кононова, М. А. Несмеянова // Биохимия. – 2002. – Т. 67. Вып. 2. – С. 220–233.

21. Шушкова, Т. В. Биодеструкция глифосата почвенными бактериями: дис. ... канд. биол. наук / Т. В. Шушкова; специальность ВАК РФ 03.01.06. – 2010.

22. Shushkova, T. Glyphosate bioavailability in soil / T. Shushkova, I. Ermakova, A. Leontievsky // Biodegradation. – 2010. – Vol. 21(3) – P. 403–410.

23. Микробная деградация гербицида глифосата (обзор) / А. В. Свиридов [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2015. – Т. 51. – Вып. 2. – С. 183–190.

24. Bioremediation of glyphosate contaminated soils / I. T. Ermakova [et.al.] // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2010. – Vol. 88(2). – P. 585–594.

25. Jacob, G. S. Metabolism of Glyphosate in *Pseudomonas* sp. strain LBr. / G. S. Jacob [et al.] // Appl. Environ. Chem. – 1988. – Vol. 260. – P. 5899–5905.

26. Solid state NMR determination of glyphosate metabolism in a *Pseudomonas* sp. / G. S. Jacob [et.al.] // J. Biol. Chem. – 1985. – Vol. 260. – P. 5899– 5905.

27. Degradation of the Herbicide Glyphosate by Members of the Family *Rhizobiaceae* / C. M. Liu [et al.] // Appl. Environ. – Microbiol. – 1991. – Vol. 57. – P. 1799–1800.

28. Pipke, R. Uptake of Glyphosate by an *Arthrobacter* sp. / R. Pipke, A. Schulz, N. Amrhein // Appl. Environ. Microbiol. – 1987. – Vol. 53. – P. 974–978.

29. Isolation, identification and characterization of a glyphosate-degrading bacterium, *Bacillus cereus* CB4, from soil / J. Fan [et al.] // Appl. Microbiol. – 2012. – Vol. 58(4). – P. 263–271.

30. Михайловская, Н. А. Количественная оценка активности калиймобилизующих бактерий и их эффективность на посевах озимой ржи / Н. А. Михайловская // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграрных наук. – 2006. – № 3. – С. 41–46.

31. Лапа, В. В. Эффективность бактериального удобрения калиплант на дерново-подзолистой супесчаной почве с разной обеспеченностью подвижным калием / В. В. Лапа, Н. А. Михайловская, Т. Б. Барашенко // Агрохимия. – 2016. – № 6. – С. 29–38.

32. Михайловская, Н. А. Влияние силикатных бактерий на развитие проростков ячменя и пшеницы / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвенные исследования и применение удобрений. – 2003. – Вып. 27. – С. 316–324.

33. Михайловская, Н. А. Влияние бактериального удобрения Калиплант на урожайность и качество яровой пшеницы на эродированных почвах / Н. А. Михайловская, А. Ф. Черныш, С. А. Касьянчик // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграрных наук. – 2010. – № 2. – С. 51–58.

34. Михайловская, Н. А. Антагонистическая активность ризобактерий *A. brasiliense* и *B. circulans* по отношению к фитопатогенным микромицетам pp. *Fusarium* и *Alternaria* / Н. А. Михайловская, Т. Б. Барашенко // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 234–244.

35. Аристовская, Т. В. Микробиология процессов почвообразования / Т. В. Аристовская. – Ленинград: Наука, 1980. – 187 с.

36. Moneke, A. N. Biodegradation of glyphosate herbicide in vitro using bacterial isolates from four rice fields / A. N. Moneke, G. N. Okpala, C. U. Anyanwu // Afr. J. Biotechnol. – 2010. – Vol. 9(26). – P. 4067–4074.

37. Quinn, J. P. Carbon-phosphorus bond cleavage by Gram-positive and Gram-neg-

ative soil bacteria / J. P. Quinn, J. M. Peden, R. E. Dick // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 1989. – Vol. 31(3). – P. 283–287.

SCREENING THE CAPABILITY OF POTASSIUM MOBILIZING RHIZOBACTERIA TO METABOLISE HERBICIDE GLYPHOSATE

N. A. Mikhailouskaya, T. B. Barashenko, T. V. Pogirnikskaya, S. V. Dyusova

Summary

Screening of zonal isolates *Bacillus* sp. By cultivation on solid and liquid nutrient media with different sources of carbon and phosphorus at background of increasing concentrations of glyphosate resulted in the determination of perspective target objects, which are capable of metabolization herbicide glyphosate as a sole P-source. Screening showed that potassium mobilizing rhizobacteria *Bacillus* sp. Virtually not capable of glyphosate utilization as sole carbon source for metabolism.

Поступила 10.05.2022

УДК 631.333

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-212-218](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-212-218)

ПРОЦЕССЫ ХИМИЧЕСКОГО ВЫВЕТРИВАНИЯ НОВЫХ ВИДОВ АГРОМЕЛИОРАНТОВ

В. Н. Босак, Т. В. Сачивко

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
г. Горки, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь в настоящее время планируется добыча и переработка нового силикатного сырья – базальтов вендской трапповой формации, промышленные залежи которых разведаны в юго-западной части Республики Беларусь. В геологическом разрезе им сопутствуют сапонитсодержащие вендские базальтовые туфы и туффиты, а также глауконитсодержащие породы палеогенового возраста, которые также будут извлекаться и накапливаться при добыче базальтового сырья. Глауконитсодержащие породы также широко распространены среди вскрышных пород в карьерах, где добывается мергельно-меловое сырье [1–3].

Учитывая минеральный и химический состав, существует несколько направлений использования сапонитсодержащих и глауконитсодержащих пород: производство портландцемента, керамических изделий, стекла и стеклокристаллических материалов, приготовление буровых промывочных жидкостей, в качестве природных сорбентов тяжелых металлов и радионуклидов и т. д. [4–8].

В сельском хозяйстве сапонитсодержащие базальтовые туфы и глауконитсодержащие породы могут использоваться в качестве магнийсодержащих (сапонит-

содержащий базальтовый туф) или калийсодержащих агромелиорантов (глауконитсодержащие породы) [1, 2, 9–20].

Значение магния в питании растений определяется главным образом тем, что он входит в состав зеленого пигмента листьев хлорофилла и непосредственно участвует в фотосинтезе. В хлорофилле содержится 2,7 % (по весу) магния, что составляет около 10 % общего его содержания в зеленых частях растений. Остальное количество магния необходимо для регулирования нормального протекания биологических процессов в протоплазме, а также построения самой протоплазмы и клеток [21–23].

Магний выполняет структурообразующую роль, входя в состав органелл, клеток, мембран, клеточных стенок, а также важную функциональную роль в составе около 300 ферментов. Устранение недостатка магния в питании растений улучшает азотный обмен в растениях, увеличивая содержание общего и белкового азота. Магний участвует в процессах трансформации фосфорных соединений.

Взрослому человеку рекомендуется потреблять 320–420 мг Mg в день. Рекомендованное диетологами содержание магния составляет от 6 мг Mg/kg массы тела/день.

Дозы внесения магния под различные сельскохозяйственные культуры зависят от биологических особенностей растений и их отзывчивости на магниевые удобрения, содержания магния в почве, а также от периодичности внесения других магнийсодержащих удобрений (в первую очередь доломитовой муки, которая содержит 18–20 % MgO).

Кроме доломитовой муки, магний содержится в органических удобрениях (подстильный навоз – 1,0–1,1 кг/т, компост – 0,6–1,0 кг/т, помет птичий – 5,0 кг/т, солома и зеленое удобрение – 1,0 кг/т MgO) и золе [24].

В качестве магнийсодержащих удобрений в Республике Беларусь применяют также сульфат магния (эпсомит, $MgSO_4 \times 7H_2O$), который содержит 16,2 % MgO и комплексные минеральные удобрения, в состав которых входит магний; в мировом земледелии – кизерит (25–30 % MgO), калимагнезию (8–10 % MgO, 28–30 % K_2O), каинит (6–7 % MgO, 10–12 % K_2O) и др. [21, 23].

Калий в растениях содержится в основном в цитоплазме и вакуолях в ионной форме и не входит в состав органических соединений, однако оказывает существенное влияние на обмен веществ в клетках, усиливает синтез органических соединений (крахмала, сахарозы, витаминов), позитивно влияет на интенсивность фотосинтеза и т. д. [22, 23].

Следует отметить, что питательные элементы, содержащиеся в сапонитсодержащих базальтовых туфах и глауконитсодержащих породах, доступными для растений могут быть только после выветривания порообразующих минералов, что делает весьма актуальным его изучение.

Цель исследований – изучить процессы выветривания новых видов агромелиорантов: сапонитсодержащих базальтовых туфов и глауконитсодержащей породы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение процессов выветривания сапонитсодержащих базальтовых туфов и глауконитсодержащей породы проводили в модельном лабораторном эксперименте в ходе совместных исследований УО «Белорусская государственная сель-

скохозяйственная академия» (г. Горки, Республика Беларусь) и Института общего и зонального почвоведения Университете Хоэнхайм (г. Штутгарт, Германия).

Изучаемый материал (10 г измельченных сапонитсодержащих базальтовых туфов и глауконитсодержащей породы согласно ТУ [25, 26]) помещали в раствор серной кислоты объемом 100 мл с различными показателями pH (pH 4, pH 5) на 10 дней при периодическом помешивании раствора. В качестве контроля аналогичное количество изучаемого материала сапонитсодержащих базальтовых туфов и глауконитсодержащей породы помещали в раствор H_2O . По окончании эксперимента в растворе измеряли концентрацию K, Ca (пламенный фотометр Elex 6361), Mg, Fe, Al, Si (атомный адсорбционный спектрометр AAS 3100). Модельный эксперимент проводили в 5-кратной повторности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основу сапонитсодержащих базальтовых туфов составляет сапонит $(Ca_{0,5}, Na)_{0,3}[(Mg, Fe)_3(Si, Al)_4O_{10}](OH)_2 \cdot 4H_2O$, глинистый минерал, слоистый силикат из группы монтмориллонита (смектитов) [2, 7, 26].

В составе сапонитсодержащих базальтовых туфов юга-запада Республики Беларусь присутствуют также такие минералы, как полевые шпаты (плагноклаз: альбит $Na[AlSi_3O_8]$ – анортит $Ca[Al_2Si_2O_8]$; ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$), гидрослюда $K_x(Al, Mg, Fe)_{2-3}(Si_{4-x}Al_xO_{10}) \cdot (OH)_2 \cdot nH_2O$, каолинит $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$, гематит $\alpha-Fe_2O_3$, анальцим $Na[AlSi_2O_6] \cdot H_2O$ и другие цеолиты, кварц SiO_2 и др. [1, 2].

В усредненных пробах, отобранных в Пинском, Ивановском и Малоритском районах Брестской области, содержание MgO составило 6,53–9,87 %, K_2O – 0,79–3,46 %, $N_{общ}$ – 0,14–0,18 %, P_2O_5 – 0,22–0,24 %, Na_2O – 2,31–3,29 %, CaO – 0,04–1,94 %, FeO – 17,06–24,20 %, Al_2O_3 – 11,50–14,49 %, SiO_2 – 41,82–57,12 %.

Наряду с макроэлементами, в туфе обнаружены микроэлементы: содержание подвижных соединений марганца в среднем составило 162,39 мг/кг, кобальта – 4,45 мг/кг, цинка – 35,37 мг/кг, меди – 51,69 мг/кг.

Глауконитсодержащие породы представляют собой глауконит-кварцевые слюдястые алевриты, алевролиты и тонко-мелкозернистые пески. Минерал глауконит $K(Fe^{3+}, Al, Fe^{2+}, Mg)_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$ – водный алюмосиликат калия и железа непостоянного состава из группы гидрослюд, в котором дефицит калия может компенсироваться присутствием катионов Na^+ , Ca^{2+} или H_3O^+ .

Содержание глауконита в породах варьирует в пределах 10–25 масс. %; присутствуют также: кварц SiO_2 , полевые шпаты (плагноклаз: альбит $Na[AlSi_3O_8]$ – анортит $Ca[Al_2Si_2O_8]$; ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$), монтмориллонит $(Na, Ca)_{0,33}(Al, Mg)_2(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot nH_2O$, гидрослюда $K_x(Al, Mg, Fe)_{2-3}(Si_{4-x}Al_xO_{10}) \cdot (OH)_2 \cdot nH_2O$, мусковит $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$, сидерит $FeCO_3$, каолинит $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$, фосфаты $(CH_3O)_nP(O)(OH)_{3-n}$ и др.

В усредненной пробе глауконитсодержащей породы месторождения Новодворское содержание K_2O в среднем составило 1,33–3,10 %, MgO – 0,26–0,28 %, $N_{общ}$ – 0,06–0,07 %, P_2O_5 – 0,12–0,14 %, CaO – 0,91–0,97 %, подвижных соединений марганца – 12,4 мг/кг, кобальта – 4,5 мг/кг, цинка – 13,8 мг/кг, меди – 10,7 мг/кг [1, 9, 25].

В результате исследований в модельном эксперименте установлено, что уровень pH оказал существенное влияние на процессы выветривания сапонитсодержащих базальтовых туфов и глауконитсодержащей породы (табл. 1, 2).

Таблица 1

Процессы выветривания сапонитсодержащих базальтовых туфов

Раствор (начало)	K	Mg	Ca	Al	Fe	Si	Раствор (окончание)
	мг/кг						
pH 4	60,5	54,4	188,3	1,7	2,0	39,2	pH 7,23
pH 5	35,1	42,5	85,0	1,2	1,5	39,4	pH 7,28
H ₂ O	34,4	29,5	72,8	0,9	0,9	38,4	pH 7,30

Таблица 2

Процессы выветривания глауконитсодержащей породы

Раствор (начало)	K	Mg	Ca	Al	Fe	Si	Раствор (окончание)
	мг/кг						
pH 4	234,5	9,7	2146,5	93,9	304,8	84,3	pH 2,79
pH 5	223,0	7,1	1893,8	81,3	270,5	85,5	pH 2,80
H ₂ O	202,7	8,3	1686,3	74,7	211,0	80,7	pH 2,81

Исследования по выветриванию сапонитсодержащих базальтовых туфов показали, что в почвенный раствор активно переходили катионы калия, магния и кальция, а катионы алюминия и железа практически не вымывались. При этом более высокие показатели выветривания калия, магния и кальция получены в растворах серной кислоты с pH 4 (соответственно 60,5, 54,4 и 188,3 мг/кг), наименьшие – при использовании H₂O (34,4 – K, 29,5 – Mg и 72,8 мг/кг – Ca).

Как показали результаты аналогичных исследований с гранитом по выветриванию почвообразующих минералов, при pH > 4 вымывание катионов алюминия и кремния, которые находятся в плотной решетке Al-O-Si-O, а также железа практически не происходило. В данных условиях с протонами H⁺ в первую очередь реагировали менее связанные щелочные и щелочноземельные катионы K, Ca, Na, Mg [27–30].

В процессе выветривания сапонитсодержащих базальтовых туфов происходило некоторое подщелачивание раствора, что позволяет рекомендовать внесение сапонитсодержащих туфов в первую очередь на почвах с повышенной кислотностью; на почвах, с учетом высокого содержания в сапонитсодержащих базальтовых туфах магния, где известкование проводится дефекатом или карбонатным сапропелем, а также на почвах легкого гранулометрического состава с низким и средним содержанием магния.

В Республике Беларусь средневзвешенная величина pH_{KCl} пахотных почв составляет 5,84, улучшенных луговых угодий – 5,87 [31], что позволяет применять сапонитсодержащие базальтовые туфы в качестве магнийсодержащих мелиорантов практически повсеместно. При этом, однако, следует учитывать не только агрономическую, но и экономическую эффективность их применения [1, 2, 11–14].

Наиболее отзывчивы на внесение сапонитсодержащих базальтовых туфов бобовые и зернобобовые культуры [1, 2, 13], а также культуры-кальциефилы, которые требуют для своего роста и развития нейтральные или близкие к нейтральным почвы [32].

В исследованиях по изучению процессов выветривания глауконитсодержащей породы в раствор активно переходили как щелочные и щелочноземельные

катионы К, Са и Mg, так и кислотные катионы Al и Fe, что связано, в первую очередь, с достаточно «рыхлым» строением глауконитсодержащих пород. Активное вымывание кислотных катионов приводило также к существенному подкислению изучаемых растворов с pH 4–5 до pH 2,79–2,80.

Поэтому внесение глауконитсодержащих пород более целесообразно на нейтральных и слабощелочных почвах, а также под культуры-кальциефобы, которые требуют для своего роста и развития более кислую реакцию почвенного раствора [32].

Рекомендуется также ограничить дозы внесения глауконитсодержащих пород, что связано как с их агрохимической, так и экономической эффективностью [1, 9].

ВЫВОДЫ

В исследованиях по изучению процессов химического выветривания сапонитсодержащих базальтовых туфов установлено, что в раствор переходили в основном щелочные и щелочноземельные катионы К, Са и Mg с более высокими показателями при pH 4, а также происходило некоторое подщелачивание раствора. Кислотные катионы Al и Fe при pH > 4 практически не вымывались.

При выветривании глауконитсодержащих пород на всех уровнях pH в раствор активно переходили как щелочные и щелочноземельные катионы К, Са и Mg, так и кислотные катионы Al и Fe, что приводило к подкислению раствора.

При использовании сапонитсодержащих базальтовых туфов и глауконитсодержащих пород в качестве мелиорантов в агробиоценозах следует учитывать отличия в процессах их выветривания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение агроmeliорантов при возделывании сельскохозяйственных культур / В. Н. Босак [и др.]. – Горки: БГСХА, 2020. – 18 с.
2. Применение сапонитсодержащих базальтовых туфов в земледелии / В. Н. Босак [и др.]. – Минск: БГТУ, 2016. – 14 с.
3. Hydrothermal alteration of the Ediacaran Volyn-Brest volcanics on the western margin of the East European Craton / J. Środoń [et al.] // *Precambrian Research*. – 2019. – № 325. – P. 217–235.
4. Кольненков, В. П. Сорбционные свойства сапонитсодержащих туфов Беларуси / В. П. Кольненков, Г. Д. Стрельцова, О. В. Мурашко // *Природные ресурсы*. – 2015. – № 2. – С. 5–12.
5. Левченко, Е. Н. Глауконит России: состояние, перспективы освоения и развития минерально-сырьевой базы / Е. Н. Левченко, Л. П. Тигунов. – М.: ВИМС, 2011. – 65 с.
6. Ecological sorbent which is mainly consist of saponite mineral from Ukrainian clay-field / V. Spivak [et al.] // *Chemistry & Chemical Technology*. – 2012. – Vol. 6, № 4 – P. 451–457.
7. *Numitor*, G. Saponite / G. Numitor. – Fly Press, 2012. – 60 p.
8. Poznyak, A. I. Basaltic and granitic rocks as components of ceramic mixes for interior wall tiles / A. I. Poznyak, I. A. Levitskii, S. E. Barantseva // *Glass and Ceramics*. – 2012. – Nr. 7–8. – P. 262–266.
9. Агрономическая эффективность применения глауконита при возделывании

сельскохозяйственных культур / В. Н. Босак [и др.] // Вестник БГСХА. – 2021. – № 1. – С. 63–66.

10. Акулич, М. П. Урожайность и качество укропа пахучего в зависимости от применения минеральных удобрений, агроmeliорантов и биопрепаратов / М. П. Акулич, В. Н. Босак // Овощеводство. – 2019. – Т. 27. – С. 6–11.

11. Босак, В. Н. Агроэкономическая эффективность применения агроmeliорантов и биопрепаратов при возделывании укропа пахучего / В. Н. Босак, М. П. Акулич // Овощеводство. – 2020. – Т. 28. – С. 6–12.

12. Босак, В. Н. Применение сапонитсодержащего базальтового туфа при возделывании овощных культур / В. Н. Босак, Т. В. Сачивко // Вестник БарГУ. Серия: Биологические науки. Сельскохозяйственные науки. – 2017. – № 5. – С. 83–88.

13. Босак, В. Н. Применение сапонитсодержащих базальтовых туфов при возделывании зерновых и зернобобовых культур / В. Н. Босак, Т. В. Сачивко // Агрохимия. – 2017. – № 9. – С. 58–62.

14. Влияние сапонитсодержащих базальтовых туфов на продуктивность сельскохозяйственных культур / В. Н. Босак [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2016. – № 5. – С. 6–9.

15. Влияние сапонитсодержащих материалов на плодородие почв и урожайность однолетних полевых трав после первого года внесения / Е. М. Романов [и др.] // Агрохимический вестник. – 2019. – № 6. – С. 42–46.

16. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / А. В. Пискун [и др.]. – Минск: Промкомплекс, 2020. – 742 с.

17. О возможностях использования в сельском хозяйстве глауконита из пород Бакчарского месторождения (Западная Сибирь) / М. А. Рудмин [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327, № 11. – С. 6–16.

18. Применение сапонитсодержащих материалов в качестве минерального удобрения при выращивании картофеля в Архангельской области / Е. Н. Наквасина [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 1. – С. 60–68.

19. Романов, Е. М. Применение водной суспензии сапонита на дерново-слабоподзолистой супесчаной окультуренной почве в качестве мелиоранта / Е. М. Романов, Е. Н. Наквасина, Е. Н. Косарева // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 8. – С. 9–17.

20. Franzosi, C. Technical Evaluation of Glauconies as Alternative Potassium Fertilizer from the Salamanca Formation, Patagonia, Southwest Argentina / C. Franzosi, L. N. Castro, A. M. Celeda // Natural Resources Research – 2014. – Vol. 23 (3). – P. 311–320.

21. Богдевич, И. М. Магниевые удобрения на дерново-подзолистых почвах / И. М. Богдевич, О. В. Ломонос; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2009. – 39 с.

22. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 120 с.

23. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Белорусская наука, 2007. – 390 с.

24. Босак, В. Н. Органические удобрения / В. Н. Босак. – Пинск: ПолесГУ, 2009. – 256 с.

25. Порода глауконитсодержащая: технические условия ТУ ВУ 192018546.017-

2020 / О. Ф. Кузьменкова [и др.]. – Минск: БелГИСС, 2020. – 11 с.

26. Туф базальтовый сапонитсодержащий измельченный: технические условия ТУ ВУ 192018546.015-2017 / Г. Д. Стрельцова [и др.]. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2017. – 12 с.

27. *Босак, В. М.* Выветриванне пародаўтваральных мінералаў праз антрапагеннаўносімыя кіслоты / В. М. Босак, М. Царай, К. Штар // Весці ААН Рэспублікі Беларусь. – 1996. – № 2. – С. 37–40.

28. *Босак, В. Н.* Влияние антропогенноносимых кислот на процессы выветривания гранита / В. Н. Босак, К. Штар // Труды БГТУ: Лесное хозяйство. – 2012. – № 1. – С. 218–220.

29. *Босак, В. Н.* Воздействие антропогенного подкисления почв на процессы выветривания породообразующих минералов / В. Н. Босак, М. Царай, К. Штар // Почвоведение и агрохимия. – 1996. – Вып. 29. – С. 46–51.

30. *Bosak, V.* Einfluß verschiedener Säurestärken und Anionen auf die Verwitterungswerte von Granit im Modellexperiment / V. Bosak, K. Stahr, M. Zarei // Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. – 2007. – № 110/2. – S. 639–640.

31. 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.

32. Известкование почв в севооборотах с кальциефобными культурами / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: БелНИВНФХ в АПК, 2006. – 24 с.

PROCESSES OF CHEMICAL WEATHERING OF NEW TYPES OF AGROMELIORANTS

V. M. Bosak, T. U. Sachyuka

Summary

In studies in a model experiment, it was found that in the process of weathering saponite-containing basaltic tuffs, mainly cations K, Ca and Mg are washed out and some alkalization of the solution occurs.

In the process of weathering of glauconite, both alkaline and alkaline earth cations K, Ca and Mg, and acid cations Al and Fe actively pass into the solution, which leads to acidification of the solution.

Differences in the weathering processes of saponite-containing basalt tuffs and glauconite should be taken into account when they are used as agromeliorants in biocenoses.

Поступила 23.02.2022

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ПРЕПАРАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ (ОБЗОР НАУЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ)

В. В. Матыченков¹, Е. А. Бочарникова¹, Г. В. Пироговская², И. Е. Ермолович²

*¹Институт фундаментальных проблем биологии,
г. Пущино, Россия*

*²Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Сельское хозяйство является важнейшей областью экономики любого государства, обеспечивая его фактическую независимость и устойчивое развитие. Климатические изменения в последние десятилетия, процессы деградации почв, обусловленные интенсивными технологиями возделывания сельскохозяйственных культур, а также политические события существенно повысили роль сельского хозяйства в безопасности населения каждой республики.

Кремний по распространенности в земной коре является вторым элементом после кислорода. В агрохимии рассматривается как условно необходимый растениям элемент, не входящий в двадцатку наиболее нужных. Однако, несмотря на высокое содержание кремния в почвах, его доступность для растений очень низкая. Вместе с тем имеются данные, свидетельствующие о важной роли этого элемента в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур, в процессах формирования устойчивости растений к различным неблагоприятным факторам окружающей среды, положительном его влиянии на качество продукции и, в конечном итоге, на участие кремния в процессах жизнеобеспечения сельскохозяйственных животных и человека. Известно также, что в организме человека кремний восьмикратно участвует в процессах жизнеобеспечения, а в ежедневных продуктах, выделенных здоровым организмом человека, содержание кремния составляет 4,7 %, скрытый процент участия кремния в процессах жизнеобеспечения человека составляет около 38 % [1–3].

Положительное влияние кремниевых препаратов (почвенных мелиорантов, удобрений и биостимуляторов) было установлено на различных почвах и для многих культур: риса, сахарного тростника, ячменя, пшеницы, овса, ржи, сорго, кукурузы, подсолнечника, бобов, сои, клевера, люцерны, проса, томатов, огурцов, кабачков, салата, табака, сахарной свеклы, лимонов, мандаринов, винограда, яблок, дынь [4–10]. Эффективность кремнийсодержащих препаратов, по данным литературных источников, находилась в пределах от 5 до 15 % и выше. В мировой литературе в последнее время появились многочисленные работы, указывающие на возможность снижения негативного воздействия абиогенных и биогенных стрессоров на растения, обработанных препаратами на основе кремния [11, 12]. Во многих работах показано, что при совместном использовании минеральных

удобрений с кремниевыми препаратами наблюдается повышение эффективности азота, фосфора и калия [13, 14]. Указывается, что внесение активных форм кремния способствует повышению уровня почвенного плодородия [15].

Однако применение кремниевых препаратов до сих пор является нетрадиционным, и они используются весьма ограничено. Существует ошибочное убеждение о необходимости их применения только под культуру риса [16]. Распространено также мнение о специфичности почв, нуждающихся в кремниевых удобрениях [17]. Во многом это связано с низким уровнем информации о роли и функции кремния в системе «почва–растения», низкой методологической основе изучения этого элемента в природе. Цель настоящей работы – продемонстрировать перспективы использования препаратов на основе кремния в сельском хозяйстве.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ПРЕПАРАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Впервые кремний, как важный элемент в питании растений указывается в трудах Дэви (Davey) в 1814 г. [18]. Им было сделано предположение, что кремний, аккумулируясь в эпидермальных тканях растений, создает защитный барьер против насекомых-вредителей и болезней. В 1840 г., опираясь на данные по элементному составу растений, Ю. Либих [19] пришел к выводу о необходимости применения кремниевых удобрений. Он провел первый эксперимент с силикатом натрия на сахарной свекле. Кроме увеличения массы корнеплода Ю. Либих зафиксировал повышение содержания сахара при внесении кремниевого удобрения.

Полученные Ю. Либихом результаты способствовали началу полевых испытаний кремниевых удобрений. В 1856 г. Lowes закладывает эксперимент «Grass Park» на Ротамстедской станции в Англии с использованием силиката натрия. Этот эксперимент продолжается до сих пор, и вариант с кремниевым удобрением позволяет получить самые высокие прибавки урожая [20].

Таблица 1

Содержание кремния в некоторых растениях [45]

Растения	% кремния от сухого веса	Растения	% кремния от сухого веса
Equisetum	0,7–8,99	Avena sativa	0,65–3,74
Picea excelsa	0,31–1,75	Nicotina tabacum	0,16–0,65
Beta vulgaris	0,70	Theobroma cacao	2,08–2,90
Helianthus annuus, hulls	1,23–2,27	Gossypium barbadence	0,28–0,71
Lactuca sativa	1,32	Hordeum vulgare	0,42–4,70
Oryza sativa	2,72–8,40	Secale cereale	0,46–1,23
Triticum aestivum	0,16–3,11	Zea mays	0,32–0,78

В 1870 г. великий русский химик Д. И. Менделеев [21] предложил использовать в качестве кремниевого удобрения аморфный диоксид кремния. Он рекомендовал провести первые в России полевые агрохимические опыты с этим соединением. В 1881 г. в США было запатентовано первое коммерческое кремниевое удобрение

[22]. А несколькими годами позже американский почвовед-агрохимик Maxwell [23] проводит первые исследования по обеспеченности различных почв доступным растениям кремния.

В конце девятнадцатого века активно изучается роль кремния в физиологии растений во Франции и Германии Pierre (1866), Jodin (1883), Kreuzhage and Wilf (1884) [24, 25]. Grob (1896) изучил анатомию эпидермальных тканей и подтвердил предположение Davey о роли кремния в защите растений от болезней и насекомых-вредителей [26].

В 1915–1917 г. японский исследователь Onodera [27] после посещения Кенигсбергского и Кембриджского университетов начинает работать с кремниевыми удобрениями. Итогом многочисленных испытаний, проведенных в Японии [28, 29], явилось обязательное использование кремниевых удобрений при выращивании риса.

В первой четверти XX века в США большое внимание было уделено возможности использования кремниевых удобрений на кислых почвах. В качестве кремниевых удобрений в то время применяли промышленные отходы – шлаки и золу [30, 31]. В 1936 г. Ayres [32] провел на Гавайях первые полевые испытания кремниевых удобрений на сахарном тростнике. Затем эти работы были продолжены во Флориде, где в настоящее время кремниевые удобрения успешно применяют для риса, сахарного тростника и на пастбищах [17, 33].

В Советском Союзе уделялось большое внимание изучению кремниевых удобрений и роли кремния для растений. Так, академик В. И. Вернадский указывал на общую роль кремния в природе [34]. Теоретическими исследованиями роли Si в системе «почва–растение» занимались Д. Л. Аскинази [35], И. В. Тюрин [36], В. А. Ковда [37]. С. В. Литкевич [38] установил положительное влияние кремниевых удобрений на фосфорное питание растений. Большое количество работ было посвящено использованию кремнийсодержащих отходов промышленности в сельском хозяйстве [6, 39, 40, 41].

В 70–80-х годах в СССР было как минимум 4 научных центра по изучению теории и практики кремниевых удобрений: в МГУ им. Ломоносова [42], Тимирязевской академии [43], Институте риса [44], Свердловском СХИ [45]. Итогами этих исследований явилось применение в сельском хозяйстве некоторых отходов промышленности (цементной пыли, шлаков) и кремнийсодержащих минеральных удобрений (цеолитов).

ВЛИНИЕ КРЕМНИЯ НА РАСТЕНИЯ

Кремний является неотъемлемым компонентом растений. Его содержание в золе составляет от 0,16 до 8,4 % и выше [46]. Наибольшее количество кремния содержится в злаках, где зольность достигает 8–16 % [37]. Установлено, что у более продуктивных и устойчивых сортов злаков содержание кремния выше [47, 48]; растения поглощают кремний в форме монокремниевой кислоты в виде гидрата $\text{Si}(\text{OH})_4$. В растении монокремниевая кислота аккумулируется и полимеризуется в эпидермальных тканях (коре, листьях, корнях), а также трансформируется в различные виды фитолитов [4, 37]. В эпидермальных тканях образуется двойной кутикулярный слой, который механически защищает и укрепляет растения [24, 49]. Этот же слой во многом предотвращает избыточное испарение влаги из

листьев растений [50]. Доказано, что устойчивость растений к заболеваниям и насекомым-вредителям при использовании кремниевых препаратов обеспечивается именно этим механизмом [17, 51].

Внесение кремниевых препаратов приводит к увеличению веса корней растений [7, 52] и их объема [5, 53]. Улучшение кремниевого питания растений приводит к увеличению количества вторичных и третичных корешков [54, 55].

Присутствие высоких концентраций монокремниевой кислоты (свыше 1 мМ) повышает всхожесть семян, ускоряет формирование плодов томата, огурцов, риса, созревание кукурузы, рост цитрусовых, увеличивает содержание сахара в сахарной свекле и сахарном тростнике [56, 57, 58]. Было доказано, что оптимизация кремниевого питания приводит к увеличению стабильности молекул ДНК и РНК растений [4, 59]. Установлено наличие кремния в рибосомах, митохондриях, хлоропластах, микросомах и других органеллах [60, 61]. Многочисленные исследования показывают, что внесение кремниевых препаратов существенно повышает содержание хлорофилла (а), хлорофилла (б) и каротиноидов [62, 63].

В последнее время резко увеличилось количество работ посвященных влиянию кремния на устойчивость растений к абиотическим стрессам холодоустойчивости, жароустойчивости, устойчивости растений к дефициту влаги, питательных элементов, высоким концентрациям соли, тяжелым металлам, нефтяному загрязнению [64–67]. Современные исследования показали способность кремнийсодержащих биостимуляторов повышать активность антиоксидантных ферментов, таких как: аскорбатпероксидазы, глутатионредуктазы, гваякол-пероксидазы и других ферментов, что позволяет снижать уровень перекисного окисления липидов [68, 69].

Механизмы воздействия кремния на растения изучены недостаточно. Существует мнение о том, что кремний способен стимулировать естественные защитные реакции растений на различные стрессы, тем самым выполняя биологически активную роль в растении [70, 71].

В настоящее время известно несколько кремний-опосредованных механизмов, обеспечивающих защиту растений в условиях стресса: 1) механическая защита благодаря аккумуляции кремния в эпидермальных тканях [17]; 2) физиологическая защита за счет улучшения развития корневой системы и усиления фотосинтеза [7]; 3) химическая защита посредством химического взаимодействия между монокремниевой кислотой и токсичными соединениями в тканях растений [65]; 4) оптимизация транспорта микро- и макроэлементов [72], 5) кремниевые соединения могут участвовать либо непосредственно, либо опосредованно через сигнальную систему растений в синтезе стресс-белков и ферментов или их фрагментов [68, 69]. Разнообразие испытываемых растений свидетельствует об универсальности данных механизмов как для Si аккумулятивных, так и для Si не аккумулятивных растений.

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ НА ПЛОДОРИДИЕ ПОЧВ

Растения поглощают только монокремниевые кислоты. Расчеты показывают, что интенсивность этого процесса достигает 100–300 кг/га кремния в бореальной климатической зоне и 500–1000 и выше в тропиках в год [65, 66, 67]. В то же время содержание монокремниевых кислот в почвах редко превышает 20 кг/га кремния [77, 78, 79]. Таким образом, для удовлетворения потребности растений в кремнии необходимо дополнительное растворение минералов почвы. Большая

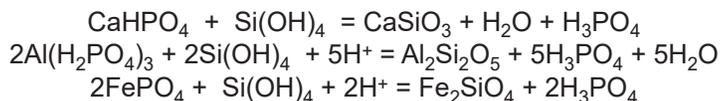
часть поглощенных растением мономеров полимеризуется и трансформируется в фитолиты (аморфный кремнезем) [80, 81]. После отмирания растений этот аморфный кремнезем попадает в почву, где служит основным источником монокремниевых кислот [81, 82].

Периодичность биологического круговорота, связанная с сезонными колебаниями температуры и влажности, как правило, приводит к накоплению кремнийсодержащих фитолитов и, следовательно, к увеличению концентрации монокремниевых кислот в естественных почвах [80, 82]. Наиболее активно этот процесс протекает под луговыми и травянистыми системами [74, 75]. Для экосистем с высокой круглогодичной биологической активностью, а также для почв с ярко выраженным процессом лессиважа (например дерново-подзолистыми почвами) не характерно накопление доступного растениям кремния [83]. Эти экосистемы постоянно испытывают дефицит доступного кремния.

Использование почв в сельском хозяйстве нарушает баланс питательных элементов, поскольку значительная их часть безвозвратно отчуждается с урожаем. Обычно растения выносят кремния больше, чем азота, фосфора и калия [17, 73, 74, 88]. Так, например, картофель выносит от 50 до 70 кг/га кремния, зерновые – от 100 до 300 кг/га [73, 88]. На основе литературных данных по выносу кремния различными культурами, а также справочных данных по урожайности было подсчитано, что ежегодно в мире 210–224 млн т кремния безвозвратно выносятся с урожаем [76].

Нарастающий дефицит кремния в сельскохозяйственных почвах вызывает ряд негативных последствий, так как он является не только питательным, но и конструктивным элементом. Дефицит монокремниевой кислоты и уменьшение содержания аморфного кремнезема приводят к разрушению органоминерального комплекса, ускоряют деградацию органического вещества, ухудшают минералогический состав [85, 86]. Таким образом, внесение кремнийсодержащих препаратов необходимо для обеспечения достаточного питания растений кремнием и предотвращения деградации почв. Однако существует еще ряд специфических механизмов влияния кремниевых удобрений на плодородие почв.

Наиболее изученным эффектом кремниевых удобрений на свойства почв является их влияние на содержание доступного для растений фосфора [42, 87]. Термодинамические расчеты показывают возможность реакции вытеснения фосфат-аниона силикат-анионом из труднорастворимых фосфатов с образованием соответствующих силикатов [35, 88].



Для ряда почв была выявлена линейная зависимость между повышением количества монокремниевой кислоты при внесении кремниевых удобрений и увеличением доступного растениям фосфора. Коэффициент корреляции между содержанием монокремниевой кислоты и подвижных фосфатов для обыкновенного чернозема и каштановой почвы составил 0,63 и 0,75 соответственно [89].

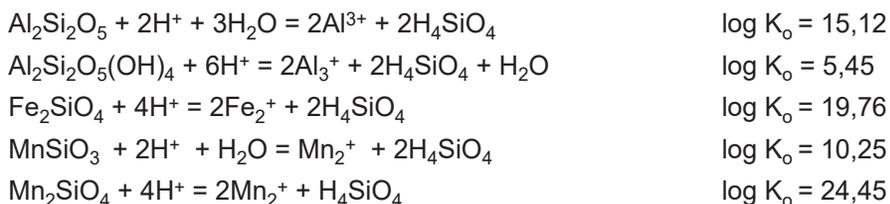
Таким образом, кремниевые удобрения способствуют переходу не доступных растениям почвенных фосфатов в доступные формы, а также препятствуют трансформации фосфорных удобрений в не доступные для растений соединения.

Расчеты показывают, что кремниевые удобрения могут позволить снизить расход фосфорных удобрений на 30–50 % [90, 91].

Для легких почв с промывным водным режимом весьма актуальна проблема выноса фосфора из корнеобитаемого слоя и загрязнение им примесями, содержащимися в фосфорных удобрениях, природных вод [92]. Для этих регионов более важна возможность адсорбции фосфора на поверхности кремнезема или кремнийсодержащих минералов. Как показывают исследования, внесение кремниевых удобрений или почвенных мелиорантов позволяет существенно снизить вынос фосфора и сохранить его в доступной для растений форме [93].

В последнее время было замечено, что внесение кремниевых препаратов повышает эффективность азотных удобрений [94, 95]. Полевые испытания показали, что совместное применение кремниевых и азотных удобрений позволяет снизить дозы последних на 30 % и выше без снижения урожайности выращиваемых растений [96]. Предполагается несколько механизмов, объясняющих этот эффект: 1) снижение выноса аммонийного и нитратного азота вниз по почвенному профилю [93]; 2) увеличение популяции азотфиксирующих микроорганизмов [97]; 3) обеспечение более полого процесса нитрификации и денитрификации [98].

Другим наиболее изученным аспектом влияния кремниевых удобрений на плодородие почв является снижение токсичности алюминия и повышение уровня pH в кислых почвах [6, 7, 99]. Многочисленные лабораторные и полевые эксперименты показали, что использование кремниевых удобрений или почвенных мелиорантов для снижения алюминиевой токсичности более эффективно, чем применение извести или доломита [100, 101]. Предполагается существование нескольких механизмов снижения токсичного действия Al, а также Mn и Fe с помощью кремнийсодержащих препаратов. Во-первых, растворимый кремнезем адсорбируется на гидроокислах Al и Fe, снижая их растворимость [102]. Во-вторых, монокремниевые кислоты могут образовывать с ионами Al, Fe и Mn труднорастворимые соединения [88]:



Уменьшение алюминиевой токсичности кремниевыми удобрениями также может быть обусловлено прочной адсорбцией анионов Al на аморфном кремнеземе. При этом возможна модификация поверхности диоксида кремния, приводящая к более прочной хемосорбции Al [103].

Необходимо также учитывать, что кремниевые удобрения обычно имеют нейтральную или слегка щелочную реакцию, так как в качестве кремниевых препаратов используют силикат кальция. Поэтому такие препараты могут повышать pH кислых почв [104, 105].

Степень и направленность влияния кремниевых удобрений и почвенных мелиорантов на физические свойства почв зависит как от свойств почв, так и от вносимых удобрений. Munk [106] сообщает об улучшении физических свойств почвы

при дозе кремнезема 200–800 кг/га в год. Поликремниевые кислоты, образующиеся при внесении кремниевых препаратов способны связывать почвенные частицы и способствовать улучшению структуры почв за счет образования кремниевых мостиков между зернами ила [102, 107]. При этом повышаются агрегированность, влагоемкость, емкость обмена и буферность легких почв [93].

ТИПЫ КРЕМНИЕВЫХ ПРЕПАРАТОВ

Особенность кремнийсодержащих препаратов заключается в их многофункциональности. В настоящее время можно выделить три группы кремниевых препаратов, используемых в сельском хозяйстве.

1. Кремниевые почвенные мелиоранты в основном воздействуют на свойства почвы, такие как адсорбционная способность, структура, pH и другие. Их обычно вносят в дозах более 500 кг/га. К ним относятся силикат кальция, цеолит, диатомит и другие. Эти препараты влияют как на свойства почв, так и на кремниевое питание растений. Однако они обладают низкой эффективностью, требуют очень высоких доз внесения, перевозить их на большие расстояния экономически невыгодно. Для их внесения требуется специальная техника. В то же время большинство исследований посвящено именно этому классу кремниевых препаратов [93, 108]

2. Кремниевые удобрения применяют для обеспечения питания растений кремнием. Их вносят в дозах от 50 до 500 кг/га. К данной группе можно отнести аморфный диоксид кремния (микросилика, пирогенная двуокись кремния), кремниевый гель, силикаты натрия и калия [59, 91]. Эти препараты влияют в основном на кремниевое питание возделываемых растений. Они обладают высокой эффективностью, перевозить их можно на большие расстояния. Однако таким препаратам уделяется меньше внимания в научной литературе, так как наиболее часто эти кремниевые удобрения представлены аморфным диоксидом кремния, представляющим собой тонкодисперсный пылеватый порошок, который трудно вносить существующей техникой. Возможно их смешивание с традиционными минеральными удобрениями на этапе их производства (гранулирования), что позволило бы решить эту задачу. Установлено, что с экономической точки зрения именно эти препараты должны преобладать в практическом сельском хозяйстве и им необходимо уделять большее внимание.

3. Кремниевые биостимуляторы – новый класс кремниевых агрохимикатов. Их применяют для опрыскивания растений в дозах менее 10 кг/га [109, 110]. К данной группе относятся вещества, которые способны улучшать рост и продуктивность растений, качество урожая, устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам [69]. В отличие от гормонов и биорегуляторов, биостимуляторы влияют на скорость процессов метаболизма растений, не изменяя при этом конечные продукты биохимических реакций [111]. Важно, что эффективность биостимуляторов проявляется при малых дозах. Дозы биостимуляторов в среднем составляют от нескольких сотен граммов на гектар и не превышают нескольких килограммов на гектар. Кремниевые биостимуляторы уже активно применяются в США, Китае, Индии, Японии, Франции и других странах. Низкие дозы позволяют получить наибольший экономический эффект как для производителей таких биостимуляторов, так и для их потребителей.

КРЕМНИЕВЫЙ СТАТУС ПОЧВ

Несомненно, что общее содержание кремния в почве не позволяет оценивать его активность. Поэтому для определения уровня дефицита активных форм кремния в почве важно знать содержание его растворимых форм, а именно мономеров и полимеров кремниевой кислоты [79]. При растворении кремнийсодержащих минералов образуются только ортокремниевая кислота (монокремниевая кислота). Часть мономеров в присутствии тонкодисперсной твердой фазы может формировать полимерные формы кремниевой кислоты [77]. Равновесие между моно- и поликремневыми кислотами в почвенном растворе достигается в течение 2–3 недель после увлажнения сухой почвы [79]. Содержание этих форм кремния, определенное в водной вытяжке из сырой почвы, характеризует актуальное содержание растворимого кремния [79].

Скорость растворения минералов по кремнию довольно значительна при условии постоянного удаления монокремниевой кислоты из системы (например, при поглощении растениями или почвенными микроорганизмами). Поэтому важно знать потенциальное количество активных форм кремния, которое может быть растворено в процессе онтогенеза растений. Данный параметр лучше характеризуется концентрацией кремниевой кислоты в почвенной 0,1 н HCl вытяжке [42, 79]. Таким образом кремниевое состояние почв может быть оценено совокупностью параметров актуального и потенциального кремния. Было показано, что существует тесная взаимосвязь между содержанием актуального и потенциального Si. Для оценки уровня дефицита доступного для растений кремния (Si) в почвах необходимо иметь информацию об обеих его формах, однако на практике более удобно пользоваться одним параметром. Таким комплексным параметром может быть содержание **активного Si**. Была предложена следующая формула определения активного Si в почве:

Активный Si = 10 x Актуальный Si + Потенциальный Si

Анализ данных о содержании различных форм кремния в почвах позволил предложить следующую градацию почв по дефициту доступного для растений Si (табл. 2).

Отсутствие дефицита кремния характерно для почв с высоким уровнем плодородия (пойменные, вулканические, некультивируемые черноземы). Кремниевые удобрения или почвенные мелиоранты на этих почвах могут быть использованы для оптимизации фосфорного и азотного питания растений.

Низкий уровень дефицита кремния характерен для некультивируемых почв с высоким и средним уровнем плодородия (серая лесная, бурая лесная, серая почвы). К почвам, имеющим низкий уровень дефицита кремния, относятся также черноземы и другие почвы с высоким уровнем плодородия, но интенсивно используемые в сельском хозяйстве. Кремниевые удобрения и мелиоранты на этих почвах позволяют увеличить обеспеченность растений кремнием и повысить эффективность применяемых минеральных и органических удобрений, а также средств защиты растений.

Дефицит кремния характерен для деградированных сельскохозяйственных земель, почв с низким уровнем плодородия (дерново-подзолистые почвы). Кремниевые удобрения и мелиоранты обеспечивают снижение скорости деградации и эрозии сельскохозяйственных почв, а также необходимый уровень кремниевого питания растений.

Высокий уровень дефицита кремния характерен для сильно деградированных почв, песчаных почв. Недостаток активных форм Si существенно снижает урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность вносимых агрохимикатов.

Таблица 2

Градации почв по дефициту доступного для растений кремния

Уровень дефицита Si в почве	Формы кремния, Si мг/кг		
	Актуальный Si	Потенциальный Si	Активный Si
Отсутствие дефицита	>40	>600	>1000
Низкий уровень дефицита	20–40	300–600	500–1000
Дефицит	10–20	100–300	200–500
Высокий уровень дефицита	0–10	0–100	0–200

ВЫВОДЫ

1. Кремний – важный элемент, активно участвующий в биологическом круговороте элементов системы «почва–микроорганизмы–растение».

2. Кремний влияет на ряд физиологических и биохимических процессов растений, в основном обеспечивая максимальную эффективность защиты от биотических и абиотических стрессов различной природы.

3. Внесение кремнийсодержащих препаратов положительно влияет на микробную активность почв, что способствует повышению почвенного плодородия.

4. Активные и инертные формы кремния участвуют в формировании почвенного плодородия, влияя и контролируя многие почвенные процессы, включая подвижность и активность таких элементов как фосфор, азот, алюминий, железо, тяжелые металлы.

5. Оценки объемов и интенсивности кремниевого цикла в природных и антропогенных системах позволяют сделать вывод, что во многих случаях нехватка доступного для растений кремния является лимитирующим фактором продуктивности экосистемы и ее экологической устойчивости.

6. Кремнийсодержащие почвенные мелиоранты, кремниевые удобрения и кремнийсодержащие биостимуляторы повышают урожайность сельскохозяйственных культур на 5–15 %, при одновременном улучшении качества продукции.

7. Применение кремниевых препаратов может существенно улучшить биодоступность фосфора и азота в почве, повысить эффективность фосфорных и азотных удобрений и снизить дозы их внесения (на 30–40 %), без уменьшения урожайности сельскохозяйственных культур.

8. Кремниевые препараты не являются специфическими. Их целесообразно использовать совместно с традиционными удобрениями. Многообразие фиксируемых эффектов кремниевых соединений на растения и почвенное плодородие показывает, что во многих случаях именно дефицит подвижного Si является основным лимитирующим фактором получения урожая.

Работа выполнена:

– при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, темы № 117030110139-9 и 121040800103–6;

– в рамках ГПНИ (РБ) «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность», подпрограмме «Плодородие почв и защита растений», заданию 1.2.6 «Изучение миграции и трансформации кремния в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава в системе «почва–удобрение–растение» (по данным лизиметрических исследований), 2021–2023 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронков, М. Г.* Кремний и жизнь. Биохимия, фармакология и токсикология соединений кремния / М. Г. Воронков. – Рига: ЗИНАТНЕ, 1987. – 587 с.
2. *Ермолаев, А. А.* Кремний в сельском хозяйстве / А. А. Ермолаев. – М., 1992. – 253 с.
3. *Куликова, А. Х.* Кремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур / А. Х. Куликова, А.В. Карпов, Е.А. Яшин; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина». – Ульяновск, 2020. – 174 с.
4. *Алешин, Н. Е.* Содержание кремния в РНК риса / Н. Е. Алешин // Доклады ВАСХНИЛ. – 1982. – № 6. – С. 6–7.
5. *Кудинова, Л. И.* Влияние кремния на вес растений ячменя / Л. И. Кудинова // Агрохимия. – 1974. – № 1. – С. 142–144.
6. *Тарановская, В. Г.* Силикатирование субтропических питомников и плантаций / В. Г. Тарановская // Советские субтропики. – 1939. – № 7. – С. 32–37.
7. *Adatia, M. H.* The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution / M. H. Adatia, R. T. Besford // Ann.Bot. – 1986. – Vol.58. – P.343–351.
8. *Artyszak, A.* Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality – A literature review in Europe / A. Artyszak // Plants. – 2018. – Vol. 7(3). – P. 54.
9. *Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves / P. Bowen [et al.] // J. Am. Soc. Hortic. Sc. – 1992. – Vol. 117(6). – P. 906–912.*
10. *A review of silicon in soils and plants and its role in US agriculture: history and future perspectives / B. S. Tubana [et al.] // Soil Science. – 2016. – Vol. 181(9/10). – P. 393–411.*
11. *Enhancing drought tolerance in wheat through improving morpho-physiological and antioxidants activities of plants by the supplementation of foliar silicon / Z. Ahmad [et al.] // Phyton Int. J. Exp. Bot. – 2020. – Vol. 89. – P. 529.*
12. *Silicon and nano-silicon: New frontiers of biostimulants for plant growth and stress amelioration / M. M. Sarkar [et al.] // Silicon and Nano-silicon in Environmental Stress Management and Crop Quality Improvement. – Academic Press, 2022. – С. 17–36.*
13. *Combined silicon-phosphorus fertilization affects the biomass and phytolith stock of rice plants / Z. Li [et al.] // Frontiers in plant science. – 2020. – Vol. 11. – P. 67.*
14. *Silicon promotes agronomic performance in Brassica napus cultivated under field conditions with two nitrogen fertilizer inputs / P. Laîné [et al.] // Plants. – 2019. – Vol. 8. – №. 5. – P. 137.*
15. *Effects of silicon and phosphatic fertilization on rice yield and soil fertility /*

L. Wang [et al.] // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. – 2020. – Vol. 20. – № 2. – P. 557–565.

16. International Fertilizer Association (IFA). Rice. IFA World Fertilizer Use Manual. Paris. France. 1992.

17. Silicon management and sustainable rice production / N.K. Savant [et al.] // Advan. Agron. Acad. Press. San Diego, CA, USA. – 1997. – Vol. 58. – P. 151–199.

18. Davey, H. The Elements of Agricultural Chemistry / H. Davey. – New York: Estburn, Kirk & C, 1814.

19. Liebig, J. Organic Chemistry in Its Application to Agriculture and Physiology. 1840.

20. Rothamsted Experimental Station Guide the Classical Experiment, Lawes Agricultural Trust, Rapide Printing, Watton, Norfolk, 1991.

21. Менделеев, Д. И. Основы химии / Д. И. Менделеев. – Вып. 3. – С.-Петербург: Типография тов. «Общественная польза», 1870. – 392с.

22. Zippicotte, J., Zippicotte. J. Fertilizer. USA. Pat. №238240. 1881.

23. Maxwell, W. (Ed). Lavas and Soils of the Hawaiian Islands // Hawaii. Honolulu: Hawaiian Sugar Planters' Association. – 1898. – 186 p.

24. Epstein, E. Silicon / E. Epstein // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. – 1999. – № 50. – P. 641–664.

25. Sommer, A. L. Studies concerning the essential nature of aluminum and silicon for plant growth / A. L. Sommer // Agric. Sci. Univ. of Calif. Pub. – 1926. – № 5. – P. 57–81.

26. Grob, A. Beitrage zur anatomie der epidermis der gramineenblätter / A. Grob // Bibl. Bot., Bd, Ht. – 1896. – Vol. 36. – P. 1–96.

27. Onodera, I. Chemical studies on rice blast. J. of the Scientific Agric. Soc. – 1917. – № 180. – P. 606.

28. Miyake, K. Chemische untersuchungen uber die widerstands fahigkeit der reisarten gegen die «Imochi krankheit» / K. Miyake, M. Adachi // J. Biochemistry. Tokyo. – 1922. – Vol. 1. – № 2. – P. 223–229.

29. Suzuki, H. Studies on the Influence of some environmental factors on the susceptibility of the rice plant to blast and hemlminthosporim diseases, and on the anatomical characters of the plant / H. Suzuki // J. Coll. Agric. – 1934. – Vol. 13. – №1. – P. 45–108.

30. Ames, J. W. Liming and lime requirement of soil / J. W. Ames, C. J. Schollenberger // Ohio Agr.Exp. Sta. – 1916. – Bul. 306.

31. Cowles, A. H. Calcium silicates as fertilizers / A. H. Cowles // Metal. Chem. Engin. – 1917. – № 17. – P. 664–665.

32. Ayres, A. S. Calcium silicate slag as a growth stimulator for sugarcane on low silicon soils / A. S. Ayres // Soil Sci. –1966. – Vol. 101. – № 3. – P. 216–227.

33. Anderson, D. L. Soil and leaf nutrient interactions following application of calcium silicate slag to sugarcane / D. L. Anderson // Fertilizer Research. – 1991. – № 30. – P.9–18.

34. Вернадский, В. И. Биогеохимическая роль Al и Si в почвах / В. И. Вернадский // Докл. АН СССР. – 1938. – Т. 21. – № 3. – С. 127–130.

35. Аскинази, Д. Л. Фосфатный режим почвы и известкование почв с кислой реакцией / Д. Л. Аскинази. – М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1949. 216с.

36. Тюрин, И. В. О биологическом накоплении кремнекислоты в почвах / И. В. Тюрин // Проблемы советского почвоведения. – 1937. – Т. 3. – С. 29–35.

37. Ковда, В. А. Минеральный состав растений и почвообразование / В. А. Ковда // Почвоведение. – 1956. – № 1. – С. 6–38.
38. Литкевич, С. В. Влияние кремнекислоты на развитие растений. Сообщение второе / С. В. Литкевич // По вопросам фосфатных и калийных удобрений, и известкования. – Л., 1936. – С.29–53.
39. Клечковский, В. М. Применение силикатов в земледелии / В. М. Клечковский, А. В. Владимиров // Химизация социалистического земледелия. – 1934. – № 7. – С. 55.
40. Ратнер, Е. И. Применение природных силикатов-отходов горнорудной промышленности и некоторых металлургических шлаков в качестве удобрений. Новое в удобрении / Е. И. Ратнер. – М.: Сельхозгиз., 1937. – Вып. 2. – С. 110–128.
41. Кошельков, П. Н. Влияние золя гуминовой кислоты, гумата Na и коллоидной кремнекислоты на подвижность P₂O₅ почв и фосфорных удобрений / П. Н. Кошельков // Почвоведение. – 1938. – № 2. – С. 163–180.
42. Матыченков, В. В. Влияние аморфного кремнезема на некоторые свойства дерново-подзолистых почв / В. В. Матыченков, Я. М. Аммосова // Почвоведение. – 1994. – № 7. – С.52–61.
43. Васильева, М. В. Отзывчивость растений ячменя и кукурузы на удобрение кремнием // Проблемы повышения плодородия почв в условиях интенсивного земледелия: тез. докл. Всес. науч. конф. – М., 1988. – С. 38–39.
44. Содержание и вынос элементов минерального питания риса / Е. П. Алешин [и др.] // Агрохимия. –1986. – № 9. – С. 82–87.
45. Роль аморфной кремниевой кислоты в явлениях солонцеватости почв / Н. П. Панов [и др.] // Вестн. с.-х. науки. – 1982. – № 11. – С. 18–27.
46. Кремний и жизнь / М. Г. Воронков [и др.]. – Рига: Zinatne, 1978. – 578 с.
47. Климашевский, Э. Л. Реакция различных сортов злаковых культур на уровень корневого питания и содержание в растениях кремния / Э. Л. Климашевский, Н. Ф. Чернышева // Доклады ВАСХНИЛ. – 1981. – № 3. – С. 5–7.
48. Silicon concentration, disease response and yield components of rice genotypes grown on flooded organic Histosols / C. W. Deren [et al.] // Crop Sci. – 1994. – Vol. 34. – P. 733–737.
49. Yoshida, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. Bull. Nat. Inst. Agric. Sci. –1965. – Ser.B. – № 15.
50. Ефимова, Г. В. Анатомо-морфологическое строение эпидермиса листьев риса и повышение его защитной функции под влиянием кремния / Г. В. Ефимова, С. А. Докучан // Сельскохозяйственная биология. – 1986. – № 3. – С. 57–61.
51. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida / L. E. Datnoff [et al.] // Crop Protec. –1997. – Vol. 16. – № 6. – P. 525–531.
52. Emadian, S. F. Growth enhancement of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings by silicon / S. F. Emadian, R. J. Newton // J. Plant Physiol. – 1989. – Vol. 134. – № 1. – P. 98–103.
53. Relationship between root respiration and silica:calcium ratio and ammonium concentration in bleeding sap from stem in rice plants during the ripening stage / T. Yamaguchi [et al.] // Japan J. Crop Sci. – 1995. –Vol. 64. – № 3. – P. 529–536.
54. Silicon fertilizers for citrus in Florida / V. V. Matichenkov [et al.] // Proc. Flo. State Hort. Soc. – 1999. – Vol. 112. – P. 5–8.
55. Prospective of silicon fertilization for citrus in Florida / V. V. Matichenkov [et al.]

// Soil Crop Sci. Florida Proc. – 1999. – Vol. 59.

56. Effect of biostimulant and silica application on sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) production / L. W. Anggraeni [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2022. – Vol. 974. – №. 1. – P. 012077.

57. Effects of intercropping with peanut and silicon application on sugarcane growth, yield and quality / X. F. Shen [et al.] // Sugar Tech. – 2019. – Vol. 21. – №. 3. – P. 437–443.

58. Effect of silicon and nitrogen on *Diatraea tabernella* Dyar in sugarcane in Panama / R. Atencio [et al.] // Sugar Tech. – 2019. – Vol. 21. – №. 1. – P. 113–121.

59. The effect of optimization of silicon nutrition on the stability of barley DNA / Bocharnikova E. A. [et al.] // Moscow Univ Soil Sci Bull. – 2014. – Vol. 69(2). – P. 84–87.

60. *Воронков, М. Г.* Удивительный элемент жизни / *М. Г. Воронков, И. Г. Кузнецов.* – Иркутск: Восточно-Сибирское изд., 1983. – 107 с.

61. Root silicon treatment modulates the shoot transcriptome in *Brassica napus* L. and in particular upregulates genes related to ribosomes and photosynthesis / P. Etienne [et al.] // Silicon. – 2021. – Vol. 13. – № 11. – С. 4047–4055.

62. Silicon nanoparticles mitigate oxidative stress of in vitro-derived banana (*Musa acuminata* 'Grand Nain') under simulated water deficit or salinity stress / L. M. Mahmoud [et al.] // South African Journal of Botany. – 2020. – Vol. 132. – P. 155–163.

63. Silicon increases leaf chlorophyll content and iron nutritional efficiency and reduces iron deficiency in sorghum plants / G. C. M. Teixeira [et al.] // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. – 2020. – Vol. 20. – № 3. – P. 1311–1320.

64. *Etesami, H.* Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants / H. Etesami, B. R. Jeong // Ecotoxicology and environmental safety. – 2018. – Vol. 147. – P. 881–896.

65. Role of silicon in mitigation of heavy metal stresses in crop plants / J. A. Bhat [et al.] // Plants. – 2019. – Vol. 8. – № 3. – P. 71.

66. Mechanisms of silicon-mediated amelioration of salt stress in plants / B. Liu [et al.] // Plants. – 2019. – Vol. 8. – № 9. – P. 307.

67. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system / S. M. Zargar [et al.] // 3 Biotech. – 2019. – Vol. 9. – № 3. – P. 1–16.

68. Silicon modulates nitro-oxidative homeostasis along with the antioxidant metabolism to promote drought stress tolerance in lentil plants / S. Biju [et al.] // Physiologia Plantarum. – 2021. – Vol. 172. – № 2. – P. 1382–1398.

69. Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress: a review / Y. H. Kim [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2017. – Vol. 8. – P. 510.

70. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives / M. Luyckx [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2017. – Vol. 8. – P. 411.

71. Silicon and plants: current knowledge and future prospects / Z. Souiri [et al.] // Journal of Plant Growth Regulation. – 2021. – Vol. 40. – № 3. – P. 906–925.

72. Silicon improves chilling tolerance during early growth of maize by effects on micronutrient homeostasis and hormonal balances / N. Moradtalab [et al.] // Frontiers in plant science. – 2018. – Vol. 9. – P. 420.

73. *Bocharnikova, E. A.* Influence of plant associations on the silicon cycle in the soil-plant ecosystem / E. A. Bocharnikova, V. V. Matichenkov // Applied Ecology and Environmental Research. – 2012. – Vol. 10. – № 4. – P. 547–560.

74. *Базилевич, Н. И.* Биологическая продуктивность экосистем северной Евразии / Н. И. Базилевич; РАН Институт географии. – М.: Наука, 1993.
75. Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах / Н. И. Базилевич [и др.] / Ресурсы биосферы. – 1975. – Вып. 1. – С. 5–33.
76. *Bocharnikova, E. A.* Silicon soil state and biogeochemical balance in forest and grass ecosystems / E. A. Bocharnikova, V. V. Matichenkov // Sustainable Development: the View from the Less Industrialized Countries. San Jose, Costa Rica: UNED. – 1994. – P.453–466.
77. Влияние механической плотности почв на состояние и формы доступного кремния / В. В. Матыченков [и др.] // Почвоведение. – 1994. – № 11. – С. 71–76.
78. Подвижность силикатов, показатели плодородия дерново-подзолистой почвы, биоаккумуляция кремния и продуктивность сельскохозяйственных культур под действием цеолита / А. В. Козлов [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Т. 56. – № 1. – С. 183–198.
79. Подвижные кремниевые соединения в системе почва–растение и методы их определения / И. В. Матыченков [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 17. – Почвоведение. – 2016. – № 3. – С. 37–46.
80. Опаловые фитолиты таежного биогеоценоза средней тайги / Г. В. Добровольский [и др.] // Биологические науки. – 1988. – № 2. – С. 96–101.
81. *Кутузова, Р. С.* Освобождение растительного кремнезема и SiO₂ минералов при минерализации растительного опада / Р. С. Кутузова // Почвоведение. – 1969. – № 5. – С. 56–66.
82. *Ковда, В. А.* Основы учения о почвах / В. А. Ковда. – М.: Наука, 1973. – Т. 2. – 915 с.
83. *Матыченков, В. В.* Подвижные соединения кремния в некоторых почвах юга Флориды / В. В. Матыченков, Г. С. Шнайдер // Почвоведение. – 1996. – № 12. – С. 1448–1453.
84. *Anderson, D. L.* Soil and leaf nutrient interactions following application of calcium silicate slag to sugarcane / D. L. Anderson // Fertilizer Research. – 1991. – № 30. – P. 9–18.
85. *Karmin, Z.* Formation of ferric drite by inhibition of grun rust structures in the presence of silicon / Z. Karmin // Soil Sci. Soc. Amer. J. – 1986. – Vol. 50. – Vol. 1. – P. 247–254.
86. *Marsan, F. A.* Fragipan bonding by silica and iron oxides in a soil from north-westren Italy / F. A. Marsan, J. Torrent // Soil Sci. Soc. Amer. J. – 1989. – Vol. 53. – № 4. – P. 1140–1145.
87. *Schaller, J.* et al. Silicon increases the phosphorus availability of Arctic soils // Scientific reports. – 2019. – Vol. 9. – № 1. – P. 1–11.
88. *Lindsay, W.L.* Chemical Equilibria in Soil. New York: John Wiley & Sons. 1979.
89. *Matichenkov, V. V.* The using of silicon metal-industry wastes in environment friendly agrotechnologies. XVI World Congress on Soil Science / В. В. Матыченков. – Acapulco, Mexico. – 1994. – Vol. 9. – P. 345–346.
90. *Матыченков, В.В.* и др. Комплексное кремний-фосфорное удобрение. №97121543. 1997. Россия.
91. *Матыченков, И. В.* Изменение содержания подвижных фосфатов почвы при внесении активных форм кремния / И. В. Матыченков, Е. П. Пахненко // Вест-

ник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 6.

92. Minimizing phosphorus release from newly flooded organic soils amended with calcium silicate slag: a pilot study / M. J. Chimney [et al.] // *Wetlands ecology and management*. – 2007. – Vol. 15. – № 5. – P. 385–390.

93. Reduction in nutrient leaching from sandy soils by Si-rich materials: Laboratory, greenhouse and filed studies / V. Matichenkov [et al.] // *Soil and Tillage Research*. – 2020. – Vol. 196. – С. 104–450.

94. Silicon promotes agronomic performance in Brassica napus cultivated under field conditions with two nitrogen fertilizer inputs / P. Laîné [et al.] // *Plants*. – 2019. – Vol. 8. – № 5. – С. 137.

95. *Malav, J. K.* Effect of silicon on nitrogen use efficiency, yield and nitrogen and silicon contents in rice under loamy sand soil / J. K. Malav, V. Ramani // *Res J Chem Environ*. – 2017. – Vol. 21. – № 4.

96. *Matichenkov, V., Xiao, W.* (2019) Reduction Cd in soil-rice by Si: theory and practice. Nova Publisher, New York

97. *Etesami, H.* Can interaction between silicon and non-rhizobial bacteria help in improving nodulation and nitrogen fixation in salinity-stressed legumes? A review / H. Etesami, S. M. Adl // *Rhizosphere*. – 2020. – Vol. 15. – С. 100–229.

98. Effect of silicon on barley growth and N₂O emission under flooding / T. Włodarczyk [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2019. – Vol. 685. – С. 1–9.

99. *Кинтаналья, М.Г.* Влияние разового внесения кремнийсодержащего шлама на свойства темно-каштановых почв под рисом на юге Украины: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / М. Г. Кинтаналья; Университет дружбы народов. – М., 1987. – 17с.

100. Silicon amelioration of aluminum toxicity in teosinte (*Zea mays L. ssp. mexicana*) / J. Barcelo [et al.] // *Plant Soil*. – 1993. – Vol. 154. – № 1. – P. 249–255.

101. *Foy, C.D.* Soil chemical factors limiting plant root growth / C.D. Foy // *Advances in Soil Sci*. – 1992. – Vol. 19. – P. 97–149.

102. Роль аморфной кремниевой кислоты в явлениях солонцеватости почв / Н. П. Панов [и др.] // *Вестн. с.-х. науки*. – 1982. – № 11. – С. 18–27.

103. *Zuciuk, G. M.* Effect of monosilicic acid on hydrolytic reactions of aluminum / G. M Zuciuk., P. M. Huang // *Soil Sci. Soc. Amer. Proc*. – 1974. – Vol. 38. – № 2. – P. 235–244.

104. Ameliorative effects of silicon fertilizer on soil bacterial community and pakchoi (*Brassica chinensis L.*) grown on soil contaminated with multiple heavy metals / B. Wang [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2020. – Vol. 267. – С. 115–411.

105. *Sreenivasan, S. T.* Evaluation of Calcium Silicate, Rice Hull and Rice Hull Ash as Silicon Sources in Wetland Rice on Acidic and Alkaline Soils / S. T. Sreenivasan, N. B. Prakash // *Journal of the Indian Society of Soil Science*. – 2017. – Vol. 65. – № 4. – P. 428–434.

106. *Munk, H.* Zur bedeutung silikatisher stoffe bei der oungeung landwirtschaftflecker rulturpflanzen / H. Munk // *Landwirt Forsch*. – 1982. – Vol. 34. – № 38. – P. 264–277.

107. Влияние механической плотности почв на состояние и формы доступного кремния / В. В. Матыченков [и др.] // *Почвоведение*. – 1994. – № 11. – С. 71–76.

108. Роль и значение кремния и кремнийсодержащих веществ в агроэкосистемах / А. В. Козлов [и др.] // *Вестник Мининского университета*. – 2015. – № 2(10). – С. 23.

109. Effect of silica ions and nano silica on rice plants under salinity stress/

- M. E. F. Abdel-Haliem [et al.] // Ecological Engineering. – 2017. – Vol. 99. – С. 282–289.
110. The effect of silicon application on growth of spring wheat under organic farming / J. Kowalska [et al.] // Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. – 2018. – Vol. 63. – № 3.
111. Biostimulants and crop responses: a review / R. Bulgari [et al.] // Biological Agriculture & Horticulture. – 2015. – Vol. 31. – № 1. – С. 1–17.

**PROSPECTS FOR THE USE OF SILICON
PREPARATIONS IN AGRICULTURE
(REVIEW OF SCIENTIFIC LITERATURE)**

V. V. Matichenkov, E. A. Bocharnikova, G. V. Pirogovskaja

Summary

The article provides a review of the scientific literature on the use of silicon-containing preparations in agriculture, including: a brief history of the use of silicon-containing preparations in agriculture, the effect of silicon on plants, soil fertility, silicon status of soils. The types of silicon preparations are given, conclusions are drawn from the review of scientific literature.

Поступила 16.05.2022

РЕФЕРАТЫ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.474:631.452

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-7-20](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-7-20)

Дыдышко С. В., Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В. Агроэкологическая оценка пригодности почв пахотных земель Мстиславского района для возделывания зерновых культур // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 7.

На основании усовершенствованной общей агропроизводственной группировки, оценки плодородия почв Мстиславского района и их эродированности установлена степень пригодности почв пахотных земель района для возделывания зерновых культур (озимая рожь, озимая и яровая пшеница, озимая тритикале, ячмень яровой и овес) – наиболее пригодные, пригодные, малопригодные, непригодные. Выявлены площади пригодных почв для возделывания зерновых культур, а также возможные площади их посева с учетом чередования в севооборотах и установлен резерв посевных площадей зерновых культур на территории района. Результаты исследований могут быть использованы при разработке мероприятий по рациональному использованию земельных ресурсов и для усовершенствования структуры посевных площадей зерновых культур с учетом современного состояния почвенного покрова.

Табл. 5. Библиогр. 30.

УДК 528.873.041.3:631.4

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-21-31](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-21-31)

Курьянович М. Ф., Давидович Ю. С., Шалькевич Ф. Е. Использование инфракрасных тепловых космических снимков для изучения почвенного покрова // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 21.

Показаны возможности использования инфракрасных тепловых снимков пространственного разрешения 100 м, полученных съемочной системой Landsat 8, для дешифрирования почв. На примере ключевых участков пахотных и лесных земель продемонстрировано влияние на формирование теплового поля почв пахотных земель их гранулометрического состава, степени увлажненности и содержания органического вещества, для лесных земель – типов лесной растительности и ее проективного покрытия.

Рис. 11. Табл. 16.

УДК 633.2:631.459:631.445.2

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-31-39](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-31-39)

Цыбулько Н. Н., Устинова А. М., Юхновец А. В., Цырибко В. Б., Касьяненко И. И., Воронович С. Д. Продуктивность однолетних и многолетних трав на дерново-подзолистых почвах разной степени эродированности (результаты длительных полевых опытов) // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 31.

Многолетние бобовые травосмеси снижают урожайность на дерново-подзолистых слабосмытых почвах в среднем на 14 % по сравнению с неэродированными почвами, на средне- и сильносмытых почвах – на 20 и 25 % соответственно. В зависимости от складывающихся гидротермических условий вегетационного периода уменьшение может достигать 30 %. При одинаковых почвенно-геоморфологических условиях люцерна посевная в большей степени снижает урожайность по сравнению с галегой восточной и клевером луговым.

Многолетние бобово-злаковые травосмеси снижают урожайность на дерново-подзолистых среднесмытых почвах в среднем на 11 %, на сильносмытых почвах – на 19 %. Однолетние бобово-злаковые травы снижают урожайность на дерново-подзолистых слабосмытых почвах в среднем на 10 % по сравнению с неэродированными почвами, на средне- и сильносмытых почвах – на 18 и 25 % соответственно. Однолетние травы в большей степени снижает урожайность на дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках по сравнению с почвами на лессовидных суглинках.

Табл. 4. Библиогр. 9.

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.8:631.89.631.445.2

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-40-49](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-40-49)

Мезенцева Е. Г., Кулеш О. Г., Грачёва А. А. Влияние дефицитных систем удобрения на динамику содержания фосфатов и калия, их баланс в длительном опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 40.

В статье представлены результаты многолетних исследований по оценке влияния систем удобрения, а также последствия остаточных количеств фосфора и калия, вносимых с минеральными и органическими удобрениями в предшествующий период, на баланс элементов питания и плодородие среднекультурной дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Установлено, что при высокой продуктивности возделываемых культур (59,6 ц к. ед./га) применение $N_{80}P_{37}K_{95}$ было недостаточным для сохранения достигнутого уровня плодородия почвы при отрицательных балансах подвижных форм фосфора (–14 кг/га) и калия (–50 кг/га).

Исключение из системы удобрения того или иного элемента питания в течение длительного периода способствует усилению деграционных процессов в почве, обуславливая потери гумуса на 0,19–0,53 % за 20-и летний период исследования

при ежегодных потерях подвижных соединений фосфора на 1,0–3,6 и калия на 2,6–8,3 мг/кг почвы.

Табл. 3. Рис. 3. Библиогр. 17

УДК 631.84:633

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-49-64](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-49-64)

Пироговская Г. В. Новые формы жидких азотсодержащих удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур в Беларуси // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 49.

В статье приводятся данные по эффективности жидких азотно-серосодержащих удобрений (1999–2000, 2010–2011, 2016, 2018–2020 гг.) на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава (легкосуглинистых, рыхло-супесчаных) в Гомельской, Минской и Гродненской областях при возделывании сельскохозяйственных и овощных культур. Показано, что применение жидких азотно-серосодержащих удобрений, под культуры, требовательные к сере, обеспечивает повышение урожайности, при одновременном улучшении качества продукции.

Табл. 6. Библиограф. 16.

УДК:632.118.3:633

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-64-72](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-64-72)

Путятин Ю. В. Оценка доступности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr сельскохозяйственным растениям в изменяющихся климатических условиях // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 64.

В полевых экспериментах, проведенных на дерново-подзолистых почвах установлено, что спустя 35 лет после аварии на Чернобыльской АЭС основная доля ^{137}Cs находится в прочно связанной форме, что определяет низкие переходы ^{137}Cs в продукцию растениеводства. Доля легкодоступных форм радиоцезия (водорастворимая + обменная) для растений составляет в дерново-подзолистых песчаных почвах 10,9 %, в супесчаных – 5,1 % и в суглинистой – 3,9 % от валового содержания в почве. Доля ^{90}Sr легкодоступных форм (водорастворимая + обменная) составляет в дерново-подзолистых песчаных почвах 67,2 %, супесчаных – 59,5 % и суглинистых – 75,5 % соответственно. Данный факт определяет высокие переходы радиостронция в продукцию растениеводства. Результаты исследований показывают, что для исследуемых сельскохозяйственных культур отмечается существенное увеличение переходов ^{90}Sr в растения из дерново-подзолистой супесчаной почвы в более теплые и сухие вегетационные периоды. Можно отметить, что с потеплением климата на территории радиоактивного загрязнения проблемы с высокими переходами ^{90}Sr в растениеводческую продукцию будут усугубляться.

Табл. 3. Библиогр. 23.

УДК 631.859:633.112.9:631.445.2

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-73-85](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-73-85)

Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Симанков О. В. Фосфорное питание яровой пшеницы на высокообеспеченной фосфатами дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 73.

Представлены результаты изучения фосфорного питания яровой пшеницы на высокообеспеченной фосфатами почве. Установлена высокая способность почвы удовлетворять потребность растений в фосфоре. Основным фактором, определяющим доступность почвенных фосфатов, накопление фосфора в растениях и продуктивность зерна, являлась влагообеспеченность. Наиболее тесная криволинейная корреляционная связь ($R^2 0,36$) содержания доступных фосфатов в почве обнаружена с запасами продуктивной влаги в 0–20 см слое почвы, концентрация общего и минерального фосфора в растениях имела достоверную криволинейную зависимость с запасами влаги в слое 0–50 см почвы – $R^2 0,72$ и $0,37$ соответственно.

Табл. 4. Рис. 5. Библиогр. 21.

УДК 631.8:633.11:631.445

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-85-94](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-85-94)

Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Кирдун Т. М., Мачок Т. В., Бирюкова О. М., Белявская Ю. А., Торчило М. М., Жабровская Н. Ю. Агроэкономическая эффективность систем удобрения озимой пшеницы на высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 85.

В полевом технологическом опыте на высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве изучена агроэкономическая эффективность разных систем удобрения озимой пшеницы в зависимости от способа основной обработки почвы. Установлено, что заделка соломы без компенсирующей дозы азота, как при традиционной, так и при поверхностной обработке почвы не оказала негативного влияния на равномерность всходов и развитие растений озимой пшеницы. За счет применения удобрений в блоке с традиционной обработкой почвы урожайность зерна озимой пшеницы в среднем выросла на 31 % и существенно увеличилось содержание белка и клейковины, т. е. удобрения обеспечили наряду с ростом урожайности получение продовольственного зерна. В блоке с поверхностной обработкой почвы урожайность в среднем была на 4,6 ц/га выше по сравнению с аналогичными вариантами в блоке с традиционной обработкой почвы.

Табл. 5. Библиогр. 8.

УДК 633.11:631.89

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-94-103](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-94-103)

Вафоева М. Б., Абдуазимов А. М. Влияние различных систем удобрения на качество зерна озимой пшеницы (в условиях Кашкадарьинской области Республики Узбекистан) // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 94.

В проведенных исследованиях установлено влияние различных сроков и норм внесения комплексных удобрений на качество зерна озимой мягкой пшеницы. Отмечено положительное влияние листовые подкормки комплексными удобрениями на массу 1000 зерен, содержание общего белка и сырой клейковины. Несмотря на то, что наибольшие показатели наблюдались при внесении $N_{180}P_{90}K_{60}$ и подкормки в каждой фазе развития растений, оптимального уровня по всем вышеперечисленным показателям можно достичь и при однократной подкормке до появления флагового листа IFO-COMBI FE + EntoGumin + IFO UAN 32 при снижении дозы минеральных удобрений в 2 раза до $N_{90}P_{45}K_{30}$.

В условиях светлых сероземных почв Республики Узбекистан при внесении удобрений под озимую пшеницу в количестве 50 % от традиционной нормы ($N_{90}P_{45}K_{30}$), а так же при использовании жидких комплексных удобрений выявлен эффект улучшения качества зерна. Подкормка озимой пшеницы суспензиями различных компонентов в фазу осеннего кушения, в период образования флагового листа и после колошения увеличило натуральный вес зерна на 42,9; 43,7; 36,8 г/л и количество белка в зерне – на 1,2; 1,2; 1,1 % в сравнении с контролем в зависимости от уровня NPK.

Табл. Библиогр. 16.

УДК 631.82:633.112.9:631.445.2

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-103-114](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-103-114)

Станилевич И. С., Богдевич И. М., Путятин Ю. В., Довнар В. А., Третьяков Е. С. Диагностика минерального питания озимой тритикале серой и магнием на дерново-подзолистой суглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 103.

В стационарном полевом опыте, на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве создано четыре уровня содержания обменного магния, отражающие различия его содержания в пахотных почвах Беларуси (45–240 мг Mg на кг почвы). Разработаны параметры почвенной и растительной диагностики питания озимой тритикале серой и магнием, позволяющие определить обеспеченность ими растений на каждом поле и участке, а также выявить необходимость проведения некорневых подкормок сульфатом магния на ранней стадии развития растений. Установлен диапазон оптимального содержания обменного магния Mg 140–155 мг/кг почвы и эквивалентное соотношение в почве катионов ($Ca^{2+} : Mg^{2+} = 4-5$ и $K^+ : Mg^{2+} = 0,6-0,7$) для формирования урожайности тритикале 70 ц/га и более с хорошим качеством зерна.

Табл. 5. Рис.4. Библиогр. 17.

УДК 633.15:631.874:631.445.2

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-114-129](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-114-129)

Мезенцева Е. Г., Кулеш О. Г., Грачёва А. А., Симанков О. В., Зенькова С. М. Эффективность агротехнологических приёмов возделывания кукурузы на зелёную массу на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 114.

В технологическом опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве наиболее эффективным приёмом при возделывании кукурузы на зелёную массу явилось применение $N_{60+30+30}P_{60}K_{120}B_{0,10}Zn_{0,15}$ в комплексе с двукратными некорневыми подкормками стимуляторами роста растений на фоне внесения 60 т/га навоза КРС. Такая система удобрения при экономии 90 кг/га д. в минеральных удобрениях обеспечивает получение: 14,7 т к. ед. продукции, 36,3 ц/га выхода белка, 14,6 USD/га условной прибыли и 4 % рентабельности. При этом каждый килограмм минеральных удобрений окупается 45 ц зелёной массой кукурузы, себестоимость прибавки 1 т к. ед. составляет 77 USD, поддерживается достигнутый уровень содержания подвижных фосфатов и сдерживаются темпы потерь подвижных соединений калия почвы.

Табл. 3. Рис. 7. Библиогр. 11.

УДК 631.821:631.445.2:633.15

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-129-138](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-129-138)

Иовик Л. Н. Влияние известкования дерново-подзолистой супесчаной почвы на вынос и баланс основных элементов питания при возделывании кукурузы // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 129.

Представлены результаты исследований по влиянию известкования дерново-подзолистой супесчаной почвы на урожайность и накопление питательных веществ в зелёной массе кукурузы. Приведены данные выноса питательных веществ с урожаем кукурузы. Рассчитан баланс питательных веществ и его интенсивность при применении доломитовой муки, дефеката и мелиоранта на основе карбидной извести. Установлена возможность использования кальцийсодержащих промышленных отходов для известкования кислых почв, что снижает затраты на производство и транспортировку мелиорантов.

Табл. 4. Библиогр. 10.

УДК 631.81:[631.559:633.853.494]:631.445.2

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-138-155](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-138-155)

Пироговская Г. В., Сороко В. И., Хмелевский С. С. Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и жирнокислотный состав масла озимого и ярового рапса при возделывании на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве. // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 138.

В статье представлены результаты исследований влияния разных форм серосодержащих минеральных удобрений на урожайность семян озимого и ярового рапса, масличность, сбор масла, его качество по показателям жирнокислотного состава при возделывании на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве. Установлено, что серосодержащие удобрения оказывают положительное влияние на урожайность рапса, состав жирных кислот и выход масла с 1 га.

Табл. 6. Библиогр. 27.

УДК 631.833.3:633.854.78

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-155-162](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-155-162)

Гончарук В. А., Зимина М. В., Синевич Т. Г. Эффективность применения сульфата магния в посевах подсолнечника // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 155.

В статье изложены результаты полевых исследований по изучению эффективности сульфата магния в посевах подсолнечника. Установлено, что совместное внесение борного удобрения Интермаг Бор и сульфата магния в три некорневые подкормки и фунгицида Пиктор однократно на фоне $N_{126}P_{60}K_{210}$ увеличивает урожайность семян подсолнечника на 11,8 ц/га. Масличность семян увеличилась на 2,3 %.

Табл. 2. Библиогр. 14.

УДК 631.416.9:633

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-163-174](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-163-174)

Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Белявская Ю. А., Кирдун Т. М., Бирюкова О. М., Торчило М. М. Микроэлементный состав сельскохозяйственных культур, произрастающих на территории Республики Беларусь // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 163.

В результате обобщения полевых опытов и анализа данных, полученных при проведении маршрутных обследований по областям Республики Беларусь, определено среднее содержание микроэлементов в основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур в различных местах произрастания, установлены пределы варьирования в зависимости от их видового состава.

Табл. 4. Библиогр. 18.

УДК 631.812.2:633:631.445.2

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-174-183](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-174-183)

Рак М. В., Пукалова Е. Н. Эффективность микроудобрений МикроСтим при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 174.

В полевых опытах на дерново-подзолистых почвах низко- и среднеобеспеченных микроэлементами установлена высокая эффективность и технологичность применения жидких микроудобрений МикроСтим со стимулирующим эффектом при возделывании сельскохозяйственных культур. Получены существенные прибавки урожайности зерновых и овощных культур, рапса, гречихи, картофеля и земляники садовой.

Табл. 7. Библиогр. 10.

УДК 631.81:633.11:631.445

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-183-192](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-183-192)

Рак М. В., Гузова Н. С. Действие микроудобрений на накопление меди, марганца и цинка в растениях озимой пшеницы на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С.183.

В полевом опыте на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве установлено действие некорневых подкормок озимой пшеницы микроудобрениями АДОБ на накопление микроэлементов в растениях по фазам роста и развития при разных уровнях минерального питания. Установлено, что некорневые подкормки микроудобрениями АДОБ оказывают положительное влияние на накопление микроэлементов в растениях и структурных частях озимой пшеницы.

Табл. 6. Библиогр. 9.

УДК 631.81.095.337:633.853.494:631.445

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-192-200](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-192-200)

Рак М. В., Пукалова Е. Н., Гузова Н. С., Гук Л. Н. Эффективность микроудобрений при возделывании озимого рапса на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 192.

В статье представлены результаты исследований по эффективности применения жидких микроудобрений МикроСтим при возделывании озимого рапса на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве. Установлено, что некорневая подкормка растений различными марками микроудобрений МикроСтим повышает урожайность и масличность семян озимого рапса и является экономически оправданным приемом.

Табл. 4. Библиогр.16.

УДК 632.15:579.64

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-200-212](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-200-212)

Михайловская Н. А., Барашенко Т. Б., Погирницкая Т. В., Дюсова С. В. Скрининг способности калиймобилизующих ризобактерий метаболизировать гербицид глифосат // Почвоведение. – 2022. – № 1(68). – С. 200.

Скрининг зональных калиймобилизующих ризобактерий *Bacillus* spp. при культивировании на твердых и жидкой питательных средах с разными источниками углерода и фосфора на фоне возрастающих концентраций глифосата позволил определить перспективные целевые объекты, способные метаболизировать гербицид глифосат как источник фосфора. Результаты скрининга показали, что зональные калиймобилизующие бактерии не используют глифосат как единственный источник углерода для метаболизма.

Табл. 3. Рис. Библиогр. 37.

УДК 631.333

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-212-218](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-212-218)

Босак В. Н., Сачивко Т. В. Процессы химического выветривания новых видов агромелиорантов // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 212.

В исследованиях в модельном эксперименте установлено, что в процессе выветривания сапонитсодержащих базальтовых туфов вымываются в основном катионы К, Са и Mg и происходит некоторое подщелачивание раствора. В процессе выветривания глауконитсодержащих пород в раствор активно переходят как щелочные и щелочноземельные катионы К, Са и Mg, так и кислотные катионы Al и Fe, что ведет к подкислению раствора.

Отличия в процессах выветривания сапонитсодержащих базальтовых туфов и глауконитсодержащей породы следует учитывать при их применении в качестве агромелиорантов в биоценозах.

Табл. 2. Библиогр. 32.

УДК 631.4

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-219-234](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-219-234)

Матыченков В. В., Бочарникова Е. А., Пироговская Г. В., Ермолович И. Е. Перспективы использования кремниевых препаратов в сельском хозяйстве (обзор научной литературы) // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68) – С. 219.

В статье приводятся обзор научной литературы по использованию кремнийсодержащих препаратов в сельском хозяйстве, включающий: краткую историю использования этих препаратов в сельском хозяйстве, влияние кремния на растения, плодородие почв, кремниевый статус почв. Приводятся типы кремниевых препаратов, сделаны выводы по обзору научной литературы.

Табл. 2. Библиограф. 111.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия», согласно приказу Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь 01.04.2014 № 94 (в редакции приказа Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь 28.01.2022 № 14), 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 исследований, 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.