

ISSN 0130-8475

---

**Институт почвоведения и агрохимии**

---

# **ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

*Основан в 1961 г.*

**№ 1(76)  
Январь–июнь 2026 г.**

Минск  
2026

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: В. В. ЛАПА (зам. главного редактора)  
Т. М. СЕРАЯ (зам. главного редактора)  
Н. Ю. ЖАБРОВСКАЯ (ответственный секретарь)

Т. Н. АЗАРЕНОК, И. Г. АСЫЛБАЕВ, И. М. БОГДЕВИЧ, Д. Р. ИСЛАМГУЛОВ,  
С. А. КАСЬЯНЧИК, Е. Г. МЕЗЕНЦЕВА, Г. В. ПИРОГОВСКАЯ,  
Ю. В. ПУТЯТИН, М. В. РАК, В. Г. СЫЧЕВ, В. Б. ЦЫРИБКО

# ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

**1(76)**

***Январь – июнь 2026 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: [inform@brissa.by](mailto:inform@brissa.by)

Ответственная за выпуск *Н. Ю. Жабровская*

Редактор *Т. Н. Самосюк*  
Компьютерная верстка *Е. А. Титовой*

Подписано в печать 17.06.2026. Формат 70х100 1/16. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 11,70. Уч.-изд. л. 9,17. Тираж 50 экз. Заказ 305.

Республиканское унитарное предприятие «Информационно-вычислительный центр  
Министерства финансов Республики Беларусь».  
Свидетельства о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/161 от 27.01.2014, № 2/41 от 29.01.2014.  
Ул. Кальварийская, 17-1, 220004, г. Минск.

© Республиканское научное дочернее унитарное  
предприятие «Институт почвоведения и агрохимии», 2026  
© Оформление. УП «ИВЦ Минфина», 2026

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                           |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Шашко Ю. К., Жабровская Н. Ю., Серая Т. М. Институт почвоведения и агрохимии (к 95-летию со дня образования) .....</b> | <b>7</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|

|                                                                                               |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Виталий Витальевич Лапа (к 75-летию со дня рождения выдающегося ученого Беларуси).....</b> | <b>25</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

### 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

|                                                                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Азарёнок Т. Н., Матыченкова О. В., Дыдышко С. В. Усовершенствование шкалы оценочных баллов дерново-подзолистых почв для сои и проса .....</b> | <b>29</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

|                                                                                                                                                                                                                                            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Киндеев А. Л., Воробей М. В., Архипова Н. В., Давыдович Ю. С., Якушев А. А. Расчетная экономическая эффективность известкования пахотных дерново-подзолистых легкосуглинистых почв при переходе на системы точного земледелия .....</b> | <b>40</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

### 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

|                                                                                                                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Мезенцева Е. Г., Кулеш О. Г., Грачева А. А., Зенькова С. М. Системы удобрения озимой пшеницы в звеньях севооборотов с разным уровнем интенсификации .....</b> | <b>51</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Пироговская Г. В., Лапа В. В., Сороко В. И., Хмелевский С. С., Некрасова И. Н., Гарбузова Т. В., Соглаев С. Н., Купченко О. В. Эффективность использования сыромолотого доломита и гранулированной доломитовой муки для известкования кислых дерново-подзолистых почв в Беларуси .....</b> | <b>62</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Рак М. В., Пукалова Е. Н., Гузова Н. С., Кудласевич С. Г., Гук Л. Н. Влияние цинкового удобрения на урожайность и накопление цинка в продукции озимой пшеницы, кукурузы и бобовых культур при разных уровнях обеспеченности супесчаной почвы этим элементом .....</b> | <b>72</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

|                                                                                                                                                                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Путятин Ю. В., Богдевич И. М., Станилевич И. С. Прогноз снижения коллективной дозы населения Республики Беларусь за счет оптимизации кислотности почв загрязненных <sup>90</sup>Sr при возделывании зернофуражных культур.....</b> | <b>80</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

|                                                                                                                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Рак М. В., Пукалова Е. Н., Кудласевич С. Г. Применение макро- и микроудобрений в технологии возделывания озимого ячменя на дерново-подзолистых почвах .....</b> | <b>89</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

|                                                                                                                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Мезенцева Е. Г., Кулеш О. Г., Грачева А. А., Зенькова С. М. Система удобрения при возделывании озимого рапса и зерновых культур в звене севооборота .....</b> | <b>96</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

|                                                                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Кирдун Т. М., Симанкова Ю. А.</b> Рекомендации по применению удобрений под кормовые бобы на зерно на дерново-подзолистых почвах ..... | 110 |
| <b>Якимович Е. А.</b> Формирование ассортимента химических средств защиты растений с целью контроля сорных растений в XX–XXI веках .....                                | 125 |
| <b>Игорь Робертович Вильдфлуш</b> (памяти ученого) .....                                                                                                                | 137 |
| Рефераты .....                                                                                                                                                          | 139 |
| Правила для авторов .....                                                                                                                                               | 144 |

---

## CONTENTS

|                                                                                                         |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| <b>Institute of soil science and agrochemistry</b> (on the 95th anniversary of its establishment) ..... | 7 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Vitaliy Vitalievich Lapa</b> (on the 75th anniversary of the birth of an outstanding Belarusian scientist) ..... | 25 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### 1. SOIL RESOURCES AND THEIR RATIONAL USE

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Azaronak T. N., Matychenkova O. V., Dydyska S. V.</b> Improvement of the assessment scale of sod-podzolic soils for soybean and millet crops..... | 29 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Kindeev A. L., Vorobey M. V., Arkhipova N. V., Davydovich Yu. S., Yakushev A. A.</b> Estimated economic efficiency of liming of sod-podzolic sod-podzolic soils during transition to precision farming systems ..... | 40 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### 2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Mezentseva E. G., Kulesh O. G., Gracheva A. A., Zenkova S. M.</b> Winter wheat fertilization systems in crop rotation links with different intensification levels ... | 51 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Pirahouskaya H. V., Lapa V. V., Soroko V. I., Khmialeuski S. S., Nekrasova I. N., Garbuzova T. V., Soglaev S. N., Kupchenko O. V.</b> Efficiency of using raw ground dolomite and granulated dolomite flour for liming acid sod-podzolic soils in Belarus ..... | 62 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Rak M. V., Pukalova E. N., Kudlasevich S. G.</b> The use of macro- and micro fertilizers in winter barley cultivation technology on sod-podzolic soils ..... | 72 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Putyatin Y. V., Bogdevitch I. M., Stanilevich I. S.</b> The forecast of reducing the collective dose of irradiation of the population of the Republic of Belarus by optimizatон the acidity of soils contaminated with <sup>90</sup> Sr at the cultivation of grain feed crops..... | 80 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Rak M. V., Pukalova E. N., Kudlasevich S. G.</b> The use of macro- and micro fertilizers in winter barley cultivation technology on sod-podzolic soils ..... | 89 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Mezentseva E. G., Kulesh O. G., Gracheva A. A., Zenkova S. M.</b> Fertilizer system for the cultivation of winter rapeseed and grain crops in the crop rotation link... | 96 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Seraya T. M., Bogatyreva E. N., Kirdun T. M., Simankova Yu. A.</b> Recommendations for the use of fertilizers for feed beans for grain on sod-podzolic soils ..... | 110 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Yakimovich E. A.</b> The assortment formation of chemical means of weed control in the XX–XXI centuries..... | 125 |
| <b>Wildflush Igor Robertovich</b> (in memory of the scientist) .....                                            | 137 |
| Summaries .....                                                                                                 | 139 |
| Instructions for authors .....                                                                                  | 144 |

## ИНСТИТУТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ (к 95-летию со дня образования)

Ю. К. Шашко, Н. Ю. Жабровская, Т. М. Серая

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

Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси – один из старейших институтов Национальной академии наук Республики Беларусь, создан в 1931 году. На протяжении многих лет институт является ведущим в стране научно-исследовательским учреждением по проведению почвенных и агрохимических исследований, направленных на сохранение и повышение плодородия почв, защиту их от деградаций, рациональное и эффективное использование почвенных ресурсов и средств химизации в сельском хозяйстве.

Сведения о почвах Беларуси впервые были представлены в двухтомном труде академика Российской академии наук В. М. Севергина, который в ходе многочисленных путешествий особенно подробно исследовал и описывал природу и почвы, включая их сельскохозяйственное использование, в западной и северо-западной частях Европейской России. При полевом описании пахотного слоя почв он обращал внимание на их цвет, состав, механические и минералогические характеристики, карбонатность, уровень окультуренности, а также на взаимодействие с различными сельскохозяйственными культурами.

В 1851 г. К. С. Веселовским издана первая сводная почвенная карта Европейской части России (в масштабе 1:8 400 000), составленная опросно-статистическим методом, в 1857 г. издан второй вариант этой карты с учетом исправлений и дополнений. О почвах отдельных областей Беларуси упоминалось также в погубернских географо-экономических описаниях И. Зелинского «Материалы для географии и статистики России» (1864), А. Крылова «Подзол Могилевской губернии и происхождение его и растительных биолитов Эренберга вообще» (1873), Ф. Ястремского «Краткий очерк Минской губернии в физико-географическом и статистико-экономическом отношении» (1897) и «Почвы Минской губернии в связи с геологическим устройством и поверхностью» (1898), в работах географа А. С. Дембовецкого (1884) по Могилевской губернии с почвенной картой и В. М. Долгорукова «Витебская губерния» (1890). В этих работах приводится характеристика почв, дающая еще неточное представление о почвах нашей страны.

В результате работы образованной в 1872 г. Комиссии для исследования положения сельского хозяйства и сельской производительности в России под председательством П. А. Валуева были изучены почвы Минской, Могилевской и Гродненской губерний, отмечена необходимость осушения заболоченных земель и болот.

В конце 1890 годов под руководством В. В. Докучаева с участием Н. М. Сибицева, Г. И. Танфильева и А. Ф. Ферхмина была составлена почвенная карта Европейской части России, на которой почвенный покров территории современной Беларуси получил более точное отражение. В 1900 г. данная карта демонстрировалась на Всемирной выставке в Париже и была издана в 1901 г.

В силу сложившихся исторических обстоятельств вопросам детального изучения почв Беларуси было уделено недостаточно внимания. Лишь после того, как



данная территория приобрела статус БССР и была создана отдельная инфраструктура, включая научно-исследовательскую, изучение почв республики начало активно развиваться.

В 1921 году Наркомзем БССР поднял вопрос о необходимости проведения комплексных почвенных исследований по всей республике. Осенью 1922 года в Минске был основан Белорусский институт сельского и лесного хозяйства, которому Наркомзем поручил осуществление почвенных исследований в республике. Кафедру почвоведения этого института возглавил профессор В. Г. Касаткин. В 1923 году кафедра провела полные рекогносцировочные исследования почв БССР в границах, установленных в 1923 году. В результате была создана первая

схематическая карта почвенных районов шести уездов бывшей Минской губернии, а также написан очерк под названием «О почвах Белоруссии». Сотрудники данной кафедры в период с 1923 по 1924 годы также провели обследование почв в нескольких опытных хозяйствах Института сельского и лесного хозяйства (Прилуки, Лошица, Семково), на Жорновской лесной опытной станции с лесничествами: Жорновским, Цельским, Лапичским, а также на полевом участке Минской опытной болотной станции (Марусино). В 1923 г. при Институте Белорусской культуры была создана почвенно-геологическая комиссия (председатель – профессор Н. Ф. Блюдоху, ученый секретарь – П. П. Роговой), которая осуществляла единое руководство геологическими и почвенными исследованиями в БССР.

В 1924 году Витебская и Могилевская области стали частью БССР, на территории которых кафедра почвоведения Горецкого сельскохозяйственного института проводила почвенные исследования. С 1921 года заведующим кафедрой являлся Я. Н. Афанасьев. В период его руководства были организованы и проведены рекогносцировочные почвенные обследования на базе опытных станций в Горецкой, Ивановской, Дрибинской, Туровской (в окрестностях Рогачева) и Подберезской (в окрестностях Витебска). Эти работы включали детальное изучение прилегающих районов в радиусе 20-40 км. Завершающим этапом стало составление карт обследованных территорий и сбор образцов почвенных пород по их генетическим горизонтам. В ходе осуществления запланированных работ был собран и проанализирован значительный объем информации. По итогам этого анализа Я. Н. Афанасьев разработал авторскую классификацию почв и пород. Кроме того, им была выдвинута гипотеза, объясняющая водно-ледниковое происхождение

белорусских лёссов и других покровных пород. Собранные в процессе исследований материалы легли в основу очерка «Этюды о покровных породах Белоруссии».

Важным событием для развития почвоведения в БССР стало проведение в Минске в апреле 1924 года первой почвенной конференции. На ней собрались ведущие специалисты республики и прилегающих территорий. Обсудив уже проделанную работу по изучению белорусских почв, участники сформулировали план и методику дальнейших исследований. Значительные достижения, достигнутые в сжатые сроки, вызвали большой научный и практический резонанс, что повлекло за собой существенное расширение научно-исследовательской деятельности.

В 1925 году Белорусская сельскохозяйственная академия была сформирована путем слияния Белорусского и Горецкого сельскохозяйственных институтов. Важным этапом в развитии почвоведения стало создание при кафедре почвоведения академии научно-исследовательской лаборатории Академии наук БССР, инициированное Я. Н. Афанасьевым. У истоков формирования почвенных и агрохимических исследований как особой, самостоятельной области знаний, а также создания специального научного учреждения, постоянно и целенаправленно ведущего разработку этого направления, стояли известные белорусские ученые О. К. Кедров-Зихман, Г. И. Протасеня, П. П. Роговой, А. Г. Медведев, С. Н. Иванов, В. М. Пилько, Н. П. Булгаков, В. Н. Четвериков, А. Н. Урсулов, Б. Б. Бельский, П. А. Кучинский, А. М. Галковский, В. И. Шемпель, И. М. Курбатов, В. И. Пашин и др.

В период с 1925 по 1931 гг. были организованы ежегодные экспедиционные мероприятия, направленные на проведение сплошных территориальных почвенных исследований. Данные работы осуществлялись на основе трехверстных топографических карт и охватили все 10 административных округов БССР. К 1930 году, в качестве завершающего этапа почвенно-исследовательской деятельности, коллективом специалистов-почвоведов был подготовлен ряд научных публикаций и составлена предварительная сводная почвенная карта республики, на которой впервые были систематизированы основные характеристики почвенного покрова. Эта карта демонстрировалась на первой Всебелорусской сельскохозяйственной выставке в Минске и в дальнейшем использовалась для установления специализации хозяйств отдельных округов и районов, разработки агротехнических мероприятий, направленных на повышение продуктивности сельскохозяйственных культур.

Значительное внимание в лаборатории было уделено изучению анаэробных и болотных процессов почвообразования, имеющих на территории современной Беларуси большое распространение. Сотрудниками в лабораторных условиях было проведено исследование болотных процессов в искусственно создаваемых анаэробных условиях, результаты отражены в работе Я. Н. Афанасьева «Из области анаэробных и болотных процессов». Изучение солончаковых процессов



Я. Н. Афанасьев, 1931 г.

проводилось под руководством П. П. Рогового. Лизиметрические наблюдения на основных почвенных разностях БССР были проведены А. Г. Медведевым.

Результаты работы сотрудников лаборатории использованы в составлении схематической карты покровных четвертичных образований на территории Европейской части СССР, составленной под руководством профессора Г. Ф. Мирчинка в 1927 г. В начале 30-х годов Я. Н. Афанасьев был одним из соавторов почвенной карты СССР в масштабе 1:1000000, вышедшей под редакцией академика Л. И. Прасолова.

Для методического сопровождения краеведческих организаций и лабораторий, проводящих почвенные и почвенно-агрохимические исследования, лабораторией были разработаны и изданы методические материалы и инструкции. В качестве учебного пособия вышла работа П. П. Рогового «Глебазнаўства і глебы БССР», в которой особым разделом охарактеризованы почвы БССР и приложена почвенная карта республики.

V Всесоюзный съезд почвоведов, состоявшийся в Москве 10–17 апреля 1926 года, стал важным событием, на котором были подведены итоги полувекового развития почвоведения. В рамках съезда участники высоко оценили вклад белорусской науки в эту область знаний. Было принято решение об участии белорусских ученых в составе советской делегации на I Международном конгрессе почвоведов в Вашингтоне. Сотрудники лаборатории были участниками II Международного конгресса почвоведов, проходившего в Москве и Ленинграде в 1930 г. Афанасьевым Я. Н. был прочитан доклад «К вопросу об организации в международном масштабе зональных почвенных станций».

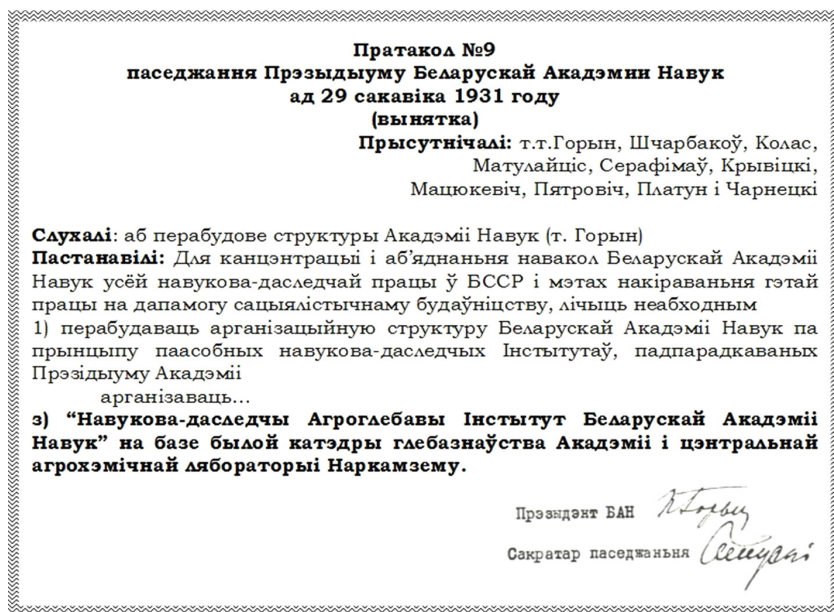
Как видно объем проведенной научно-исследовательской работы лаборатории был колоссален и охватывал множество направлений.

Эта лаборатория, взявшая на себя руководство всеми почвенными исследованиями в республике, по праву считается предшественницей современного Института почвоведения и агрохимии.

В ходе реорганизации Академии наук БССР Президиум БАН утвердил постановление о трансформации внутренней структуры организации, предусматривающей отказ от кафедральной системы в пользу сети специализированных институтов. В 1931 году лаборатория была реорганизована в Научно-исследовательский агропочвенный институт при Белорусской Академии наук и переведена из Горки в Минск. Работу по организации института возглавил академик АН БССР Яков Никитич Афанасьев, который стал первым директором института.

На первых этапах деятельность Института была направлена на изучение почвенного покрова страны, основных почвенных процессов и свойств. Постепенно появились новые области исследований, распространялась их география. Расширилось направление по изучению применения удобрений для повышения плодородия почвы, изучались вопросы хранения и использования органических удобрений. В ряде экспериментов изучалось влияние больших доз извести и минеральных удобрений на увеличение продуктивности основных сельскохозяйственных культур и изменение свойств почвы.

Об эффективности использования удобрений в сельском хозяйстве СССР в начале тридцатых годов свидетельствуют следующие расчеты: прирост урожая сахарной свеклы, льна, чая и хлопка от применения промышленных удобрений оценен в 4 млрд руб. при стоимости использованных удобрений в 600 млн руб.



Сельское хозяйство остро нуждалось в разработке мероприятий по подъему земледелия, в активизации изучения природных ресурсов республики и изыскания приемов эффективного их использования. Это вызвало необходимость объединения усилий всех существующих к тому времени научно-исследовательских учреждений.

По предложению Комиссариата земледелия БССР Постановлением Совета Народных Комиссаров в 1933 году Институт агропочвоведения АН БССР и Институт удобрений и агропочвоведения Наркомзема БССР были объединены в Институт агропочвоведения и удобрений АН БССР, директором которого был назначен Я. Н. Афанасьев. В институте работали сектор агропочвоведения (руководитель – Я. Н. Афанасьев), сектор химизации (руководитель – Г. И. Протасеня), агрохимическая лаборатория, почвенно-ботанический музей и вегетационный павильон.

Рост объемов выпуска минеральных удобрений вынудил планирующие и земельные ведомства республики поставить перед институтом задачу по оптимальному распределению и использованию этих средств. В период с 1932 по 1937 гг. были развернуты масштабные почвенно-агрохимические исследования на ряде хозяйств. Полевые эксперименты осуществлялись на опорных пунктах «Матюты» (Горецкий район), «Орешковичи» (Пуховичский район) и «Полесье» (Мозырский район). Итогом этой деятельности стало создание к 1936 году почвенных карт всего БССР в масштабах 1:10 000 и 1:30 000, а также свыше 400 агропочвенных планов для колхозов и совхозов.



Г. И. Протасеня, 1933 г.

Под руководством профессора Г. И. Протасени сектор химизации провел масштабные исследования химического состава почв. В рамках этих исследований были организованы полевые опыты, направленные на оценку эффективности минеральных и местных удобрений. Исследователи также углубленно изучали вопросы потребности почв в известковании, используя местные известковые породы. В результате были созданы карты кислотности почв для различных регионов республики, что стало первым шагом в этом направлении. Были также исследованы вопросы освоения новых территорий и увеличения плодородного слоя дерново-подзолистых почв.

В агрохимических лабораториях при МТС сотрудники института агропочвоведения и удобрений вели научные работы, направленные на изучение почв. Результаты этих исследований оформлялись в виде подробных почвенно-агрохимических карт, охватывающих территории колхозов, входящих в зону деятельности МТС.

В 1933 г. издан первый сборник научных трудов института «Працы аграглевава інстытуту».



П. П. Роговой в лаборатории, 1934 г.

В 1936 г. коллектив Института агропочвоведения и удобрений АН БССР состоял из 32 научных и 26 научно-технических сотрудников, которые ежегодно проводили более 350 опытов.

По предложению Я. Н. Афанасьева в Белорусском государственном университете им. В. И. Ленина организована кафедра почвоведения, где много внимания уделено подготовке кадров почвоведов.

С целью увеличения объема и углубления исследований в сфере земледелия, растениеводства и животноводства, в начале 1938 года по решению бюро ЦК КПБ, Правительства республики и постановлению Президиума АН БССР был создан Институт социалистического сельского хозяйства на базе института агропочвоведения и удобрений АН БССР с отделами: агропочвенный, агротехники, удобрения; группами:

организации социалистического сельского хозяйства, животноводства, сельскохозяйственного использования торфа, по борьбе с сорняками. Директором института назначен кандидат химических наук С. Н. Иванов, в 1939 г. директором был назначен кандидат сельскохозяйственных наук А. Н. Урсулов. Дополнительно была основана опытная станция «Устье» на базе совхоза «Устье», расположенного в Оршанском районе Витебской области.

В Институте социалистического сельского хозяйства АН БССР проведена серия опытов с сахарной свёклой. В результате были подобраны оптимальные почвы для возделывания этой культуры и описаны 8 зон пригодных для свеклопосева. Продолжались работы по изучению кислотности дерново-подзолистых почв. Разработан метод и прибор для определения потребности почв в изве-

стковании (О. К. Кедров-Зихман, Н. П. Булгаков, В. И. Шемпель и др.). Изучены новые известковые породы, определены дозы и периодичность известкования, изучена роль кальция и магния при известковании почв. Теоретические разработки ученых послужили основой для строительства Витебского промышленного объединения «Доломит», обеспечивающего республику известковым удобрением и сегодня. В процессе известкования дерново-подзолистых почв возникла необходимость изучения роли микроэлементов. В биохимической лаборатории под руководством И. М. Курбатова изучалась микробиология подзолистых почв и органических удобрений. Под руководством А. Н. Урсулова в институте были организованы лизиметрические наблюдения с целью изучения динамики водного и воздушного режимов на основных почвенных разностях, выноса лизиметрическими водами различных веществ при внесении в почву извести и разных доз удобрений. Была построена лизиметрическая станция.



А. Н. Урсулов, 1938 г.

В первые дни войны многие сотрудники института ушли на фронт и там отчаянно сражались с немецко-фашистскими захватчиками. Директор Института социалистического сельского хозяйства, кандидат сельскохозяйственных наук А. Н. Урсулов был призван в ряды Красной армии в 1941 году. Гвардии майор А. Н. Урсулов погиб в бою при освобождении Венгрии в марте 1945 г. Заведующие лабораториями А. М. Галковский, В. И. Витковский погибли в 1941 г. при обороне Москвы. Сотрудники В. А. Петруша и И. Я. Таратута погибли в 1941 г. в боях за Беларусь. В партизанских отрядах воевали А. А. Езубчик, А. П. Абрамчук, А. К. Чуланская, Я. Н. Свирский. Заведующий отделом агротехники Д. И. Ладысев за помощь партизанам расстрелян в 1944 г. в концлагере «Тростенец».

В условиях войны ученые института продолжали проводить свои исследования. П. П. Роговой, совместно с лесотехническим институтом, был эвакуирован в город Свердловск, где на протяжении трех лет участвовал в экспедиции по изучению лесов Среднего Урала. Б. Б. Бельский занимал должность главного агронома в совхозе «Пешинский», расположенном в Земическом районе Пензенской области. Н. П. Ковалевская трудилась научным сотрудником на Яранском опытном поле в Кировской области, а Т. И. Зенкевич работал в Башкирии. А. Е. Кочергин был эвакуирован в Омск, где в течение многих лет вел тематику по известкованию кислых почв. В. И. Шемпель работал в должности старшего научного сотрудника Кировской лугоболотной



А. А. Езубчик, 1946 г.

опытной станции, затем был направлен в Москву для работы по возобновлению деятельности АН БССР.

Институт социалистического сельского хозяйства был восстановлен в 1943 году в структуре Академии наук БССР, в отделении естественных и сельскохозяйственных наук. Исследования проводились в Самарканде и Москве. В состав института входило шесть лабораторий. Главной задачей сотрудников являлось восстановление народного хозяйства республики в послевоенный период. Во второй половине 1944 года Академия наук БССР, включая Институт социалистического сельского хозяйства, была переведена в Минск. С этого времени по 1945 г. обязанности директора Института социалистического сельского хозяйства исполняла А. А. Езубчик.

Институт понес катастрофические убытки: здание было полностью уничтожено, значительная часть ценных научных материалов утрачена, а кадровые потери оказались непоправимыми. К окончанию 1945 года штат учреждения насчитывал лишь 65 человек. Тем не менее, в этот период институт охватывал широкий спектр научных дисциплин, включая агрохимию и почвоведение, полеводство, селекцию и семеноводство, защиту растений, животноводство и ветеринарию, механизацию, а также метеорологию. В начале 1949 года учреждение было переведено в отреставрированный лабораторный корпус Академии наук. Были созданы 23 новые лаборатории и кабинеты, а также закуплено современное оборудование.

В 1952 г. издана монография «Почвы БССР», в которой подытожены результаты исследований за тридцать лет (П. П. Роговой, А. Г. Медведев, Н. П. Булгаков, В. М. Пилько, В. Н. Четвериков) под общей редакцией действительного члена АН БССР И. С. Лупиновича и члена-корреспондента АН БССР П. П. Рогового. В монографии даны характеристики почв, их первая классификация и рекомендации по наиболее эффективному использованию в сельскохозяйственном производстве.

Процесс реорганизации научных учреждений в сфере сельского хозяйства привел к следующим изменениям: в 1956 году Институт социалистического сельского хозяйства был переименован в Белорусский научно-исследовательский институт земледелия. В 1958 году на базе ряда структурных подразделений Института земледелия был вновь образован Научно-исследовательский институт почвоведения. В 1969 году данный институт был переименован в НИИ почвоведения и агрохимии. В настоящее время он функционирует как ведущий научно-исследовательский центр в своей области в рамках Национальной академии наук.

Директором вновь созданного института был назначен академик АН БССР Павел Прокофьевич Роговой (1958–1962), затем его сменил член-корреспондент АН БССР Сергей Нестерович Иванов (1962–1969). С 1969 по 1980 гг. возглавляла институт член-корреспондент АН БССР, академик ВАСХНИЛ Тамара Никандровна Кулаковская, с 1980 по 2005 гг. – академик Иосиф Михайлович Богдевич, с 2006 по 2022 гг. – академик Виталий Витальевич Лапа. С 2022 года институтом руководит доктор сельскохозяйственных наук, профессор Юрий Константинович Шашко.

Значительный вклад в становление института внесло проведение крупномасштабных почвенных обследований всех хозяйств республики. В период с 1957 по 1964 годы, по инициативе правительства, почвенные отряды, организованные при институте, успешно реализовали эту масштабную задачу. В результате этой деятельности каждое хозяйство страны было обеспечено комплектом ценных материалов: почвенными картами масштаба 1:10000, агрохимическими картограммами, а также картограммами агропроизводственных групп почв и рекомен-

дациями по рациональному землепользованию. Эти работы стали наиболее важным и крупным этапом в истории изучения почв республики, так как исследования приняли планомерный характер, охватили все сельскохозяйственные угодья, а с 1976 г. и почвы лесных земель. Это дало государству научную базу для агрохимического и мелиоративного мониторинга, бонитировки почв, повышения их плодородия, эффективного использования сельскохозяйственных земель. На основе этих исследований в последующем были составлены районные и областные почвенные карты, а в 1977 г. – Почвенная карта Белорусской ССР (Н. И. Смеян, И. И. Соловей) в масштабе 1:600 000.



И. И. Соловей, Н. И. Смеян, Т. А. Романова,  
1965 г.

На сегодняшний день под методическим руководством института в Беларуси проведено пять туров оценки сельскохозяйственных земель по основными показателями, характеризующими качество земель – общий балл кадастровой оценки, балл плодородия почв, нормативный чистый доход, дифференциальный доход, кадастровая стоимость земель. Большой вклад в развитие исследований в области генезиса, географии, классификации и картографии почв, структуры почвенного покрова в разные годы внесли академик Н. И. Смеян, доктора наук: В. В. Жилко, Т. А. Романова, Г. С. Цытрон, П. С. Самодуров; кандидаты наук: Н. П. Булгаков, И. Н. Соловей, Л. Н. Суровый, С. А. Тихонов, В. Д. Лисица, В. Т. Сергеенко, Т. Н. Пучкарева, Г. А. Ржеутская, Ю. П. Качков, А. А. Лепешев, Л. И. Шибут, А. Ф. Черныш, Д. В. Матыченков, С. В. Шульгина, О. В. Матыченкова, В. А. Калюк, Т. Н. Азаренок, С. В. Дыдышко; сотрудники: В. Ф. Клебанович, Г. С. Кулеш, Л. С. Сандович, Л. К. Сташкевич, А. П. Шарай, Т. Х. Демидович. Исследования генезиса включают также разработки по минералогии и микроморфологии почв (П. С. Самодуров, С. А. Тихонов, В. Д. Лисица, В. Т. Сергеенко, Н. А. Матусевич и др.).



А. Ф. Черныш, В. Ф. Клебанович

Исследования по изучению почв избыточного увлажнения позволило создать крупное научное направление по преобразованию торфяно-болотных почв в высокоплодородные мелиорированные земли. Весомый вклад в это научное направление внесли академик И. С. Лупинович; доктора наук: Т. А. Романова, А. С. Мееровский, Н. И. Афанасьев; кандидаты наук: С. А. Касьянчик, Т. Ф. Голуб,

В. И. Якушева, З. А. Хапкина, Л. А. Шиман, Л. В. Круглов, А. М. Котович, Л. Н. Лазовская, И. Д. Шмигельская, А. М. Устинова и др.



Л. М. Ярошевич, Н. И. Смеян,  
В. Д. Лисица, 1985 г.

Согласно результатам масштабных почвенных исследований, легкие по гранулометрическому составу почвы занимают существенную долю пашни – около 36 %. Это обстоятельство стало и остается ключевым фактором, определяющим приоритетность разработки в институте комплексных мер по повышению их плодородия (И. П. Островой, И. А. Юшкевич, В. А. Тикавый, В. Г. Шныриков, М. В. Рак, И. А. Богомаз, Г. С. Король, Г. В. Пироговская, А. М. Русалович, В. И. Сороко, и др.).

В республике водной и ветровой эрозии подвержено 556,5 тыс. га сельскохозяйственных земель, что составляет 7,2 % от общей их площади. Из общей площади эродированных почв водной эрозии подвержено 473,3 тыс. га, или 85 %, ветровой эрозии – 83,2 тыс. га, или 15 %. Большой вклад в развитие исследований по эрозиоведению и почвозащитному земледелию внесли доктора наук: В. В. Жилко, О. В. Чистик, Н. Н. Цыбулько; кандидаты наук: А. И. Паярскайте, Л. М. Ярошевич, Н. Я. Хох, Г. И. Казаков, А. Ф. Черныш, Л. А. Тишук, А. А. Лепешев, В. С. Болдышев, Ю. П. Качков, С. М. Зайко, И. И. Жукова, А. В. Юхновец, И. И. Касьяненко, А. М. Устинова, А. Н. Червань, В. Б. Цырибко, И. А. Логачев, С. С. Романенко и др. Полученные сотрудниками института данные впервые позволили оценить масштабы проявления эрозионных процессов и наносимый ими экономический и экологический ущерб. Разработаны почвозащитные адаптивно-ландшафтные системы земледелия для различных почвенно-экологических провинций Беларуси на основе ГИС-технологий.

На протяжении ряда лет сотрудники института посвятили значительные усилия изучению специфических процессов и режимов, протекающих в дерново-подзолистых пылевато-суглинистых почвах. Эти исследования принесли ценные результаты, которые стали фундаментом для разработки эффективных методов повышения плодородия данных почв (П. П. Роговой, Н. И. Туренков, И. А. Юшкевич, П. И. Шкуринов и др.).



Л. А. Шиман, С. Н. Иванов, Л. И. Качкова, 1967 г.

Ведущие исследования были сосредоточены на изучении физико-химических характеристик почв и радиоактивных изотопов (С. Н. Иванов, С. Ф. Шидловский, Э. Д. Шагалова, Н. Н. Семененко и др.), а также исследования агрофизических свойств

пахотных почв (Н. И. Афанасьев, Н. И. Янович, Л. В. Круглов, **А. М. Русалович**, Л. Н. Лазовская, А. М. Устинова, А. Н. Червань, В. Б. Цырибко, И. А. Логачев и др.).

Начиная с 1980 годов научные исследования в области почвоведения были направлены на углубленное изучение и развитие теоретических основ классификации почв, разработку систем агропроизводственной группировки, создание методологий почвенно-экологического районирования, а также на определение оптимальной пригодности почв для возделывания ключевых сельскохозяйственных культур. Целью данных работ являлась оптимизация структуры посевных площадей (Н. И. Сменян, Г. С. Цытрон, В. Д. Лисица, В. Т. Сергеев, Л. И. Шибут, Д. В. Матыченков, С. В. Шульгина, О. В. Матыченкова, В. А. Калюк, Т. Н. Азаренок, С. В. Дыдышко и др.).



Т. Н. Азаренок, Г. С. Цытрон, 2011 г.

Институт добился значительных успехов в микробиологических исследованиях. В течение продолжительного периода времени в рамках институциональных исследований проводилось изучение биологической активности ключевых типов почв республики, а также разработка микробиологических методик для оценки их плодородия (А. А. Езубчик, Ф. П. Вавуло, Л. А. Карягина, В. А. Величко, Т. И. Коляда, В. Н. Нестеренко, Е. Н. Воробьева, Н. А. Михайловская, Т. Б. Барашенко, С. В. Дюсова и др.). Была создана методика оценки влияния антропогенных факторов на процессы разложения органического вещества, образования гумуса и круговорот биогенных элементов, основанная на анализе биохимических показателей. В партнерстве с Институтом защиты растений была разработана уникальная микробиологическая композиция. Она содержит штаммы бактерий, способствующих фиксации азота и мобилизации калия, а также гриб-антагонист. Этот продукт сочетает в себе функции удобрения, стимулятора роста и фунгицида. Эти разработки дважды, в 2015 и 2018 годах, были отмечены как одни из десяти лучших достижений Национальной академии наук Беларуси.

В 1974 г. под редакцией П. П. Рогового, Т. Н. Кулаковской, Н. И. Сменяна издана монография «Почвы Белорусской ССР». В работе обобщен большой фактический материал, собранный при проведении крупномасштабных почвенно-геоботанических исследований в республике, а также обширный материал по изучению условий, влияющих на формирование почв республики. Приведенные в работе данные широко используются проектными, планирующими органами, практиками почвоведения и сельскохозяйственного производства. Опубликованная авторами монография служит учебным пособием для преподавателей и студентов высших и средних специальных и общеобразовательных учебных заведений. За цикл научно-исследовательских работ в области почвоведения сотрудники института были удостоены Государственной премии Республики Беларусь в об-



Т. Н. Кулаковская, 1977 г.

ласти науки и техники (С. Н. Иванов, В. Ф. Клебанович, Т. Н. Кулаковская, А. Г. Медведев, А. С. Мееровский, П. П. Роговой, Т. А. Романова, Н. И. Смеян, И. Н. Соловей, Н. И. Туренков).

В 2019 году издана монография «Почвы Республики Беларусь» под редакцией В. В. Лапы. В которой изложена систематизированная информация о современном состоянии почв и почвенного покрова страны, полученная в результате научных исследований, почвенно-картографических и землеоценочных работ.

Акцентируется внимание на особенностях трансформации строения, состава и свойств почв сельскохозяйственных земель страны под влиянием антропогенного фактора за более чем 40-летний период со времени опубликования коллективного труда «Почвы Белорусской ССР» (авторы: В. В. Лапа, Т. Н. Азаренок, С. В. Шульгина, Л. И. Шибут, Д. В. Матыченков, О. В. Матыченкова, С. В. Дыдышко, Н. Н. Цыбулько, А. М. Устинова, В. Б. Цырибко).

Раз в четыре года, начиная с 1967 г., в соответствии с планом, утвержденным Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь под руководством института проведено 15 туров крупномасштабного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий республики, а после аварии на Чернобыльской АЭС институт стал методическим разработчиком и радиологического обследования почв загрязненных радионуклидами территорий (И. М. Богдевич, В. В. Барашенко, Л. В. Очковская, С. Е. Головатый, Р. В. Шаталова, В. А. Дорошкевич, О. Л. Ломонос, И. С. Станилевич и др.). На основе мониторинга проводится расчет потребности в минеральных удобрениях, разработка планов применения удобрений и проектно-сметной документации по известкованию кислых почв; оценка эффективности применения средств химизации и ведения сельскохозяйственного производства. Цель агрохимического и радиационного обследования – получение достоверной информации об уровне плодородия почв по комплексу агрохимических показателей и плотности загрязнения их радионуклидами, расчет потребности в минеральных удобрениях, разработка планов применения удобрений и проектно-сметной документации по известкованию кислых почв.

В 1964 году были созданы зональные агрохимические лаборатории (ЗАЛ), которые зарекомендовали себя как мощные научно-производственные структуры. Их деятельность была направлена на активное внедрение достижений почвенно-агрохимической науки в практическую работу хозяйств, а также на сбор ценной статистической информации о химическом составе почв и закономерностях влияния удобрений. Сеть опытов с удобрениями, которая на тот момент включала 35–40 ежегодных испытаний, была существенно дополнена 150–170 серийными опытами, проводимыми ЗАЛ непосредственно в полях колхозов и совхозов. Исследования в сфере агрохимии достигли значительных успехов, прояснив фун-

даментальные взаимосвязи между урожайностью сельскохозяйственных культур, эффективностью применения удобрений и такими факторами, как состояние почвенного поглощающего комплекса, уровень содержания гумуса и доступность питательных веществ. Полученные данные впервые открыли возможность для разработки дифференцированных норм внесения удобрений, учитывающих совокупность почвенных характеристик, биологические особенности возделываемых растений и целевые показатели урожайности. Одним из ключевых направлений исследований института стало формирование научной базы для прогнозирования и управления урожайностью сельскохозяйственных культур. Теоретические концепции программирования урожая нашли свое воплощение в передовых технологиях выращивания, в частности, в методах оптимизации минерального питания растений (Т. Н. Кулаковская, С. Н. Иванов, Л. П. Детковская, И. М. Богдевич, В. В. Лапа, Н. Н. Семененко, В. Д. Судаков, С. Ф. Шидловский, Г. В. Василюк, Л. В. Круглов, Э. Д. Шагалова, А. И. Ворошилова, А. С. Шиман, И. Н. Марцуль и др.).

С 1980 года в институте активно ведется научно-исследовательская работа по формированию методической базы и созданию в республике автоматизированной системы управления (АСУ) плодородием почв. Центральным звеном данной системы является автоматизированный банк данных, агрегирующий агрохимические характеристики почв республики, полученные в результате четвертого тура агрохимического обследования (1981–1985 гг.). С момента внедрения АСУ, всем сельскохозяйственным субъектам республики, наряду с агрохимическими картограммами, предоставляются агрохимические паспорта полей и сводные аналитические материалы по агрохимической оценке почвенного покрова. Функционал АСУ плодородием почв включает решение комплекса задач агрохимического обеспечения сельского хозяйства посредством вычислительной техники, в том числе: оптимизацию распределения фондов минеральных удобрений по территориальным единицам и хозяйственным субъектам, разработку научно обоснованных планов применения удобрений под сельскохозяйственные культуры с учетом прогнозируемой урожайности и агрохимических параметров поля, количественную оценку эффективности использова-



1-й ряд – Е. А. Омельчук, О. М. Лашукевич, Е. В. Баранникова; 2-й ряд – Л. П. Детковская, И. М. Богдевич, Т. В. Позняк, Н. Н. Алексейчик, 1968 г.



В. В. Лапа, 2022 г.



Н. Н. Ивахненко, Е. С. Малей, 2008 г.



О. И. Исаева, Г. В. Пироговская, 2008 г.

ния минеральных удобрений и подготовку проектно-сметной документации для проведения мероприятий по известкованию кислых почв. В настоящее время много внимания уделяется исследованиям по разработке систем удобрений и питанию растений (Т. Н. Кулаковская, Л. П. Детковская, А. М. Демьянович, И. М. Богдевич, Н. Н. Семеновко, В. В. Лапа, Г. В. Пироговская, Н. Н. Алексейчик, М. К. Рахубо, Е. М. Лимантова, Т. В. Позняк, О. Ф. Рыбик, М. Ф. Дембицкий, Н. Н. Ивахненко, В. А. Тикавый, М. М. Ломонос, Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш и др.).

В рамках научных исследований в институте ведется работа по созданию систем, основанных на глубоком понимании процессов, для восстановления и поддержания органического вещества в дерново-подзолистых почвах. Эти системы призваны обеспечить устойчиво высокую урожайность, минимизировать негативное воздействие на

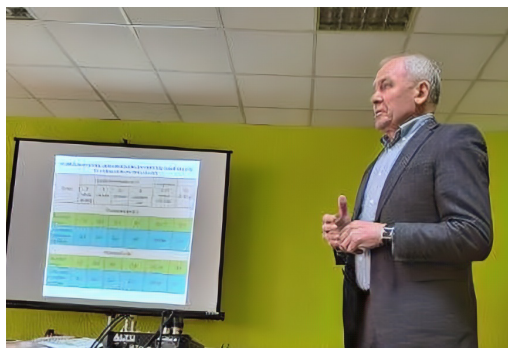
окружающую среду и повысить экономическую целесообразность аграрного сектора. Большой вклад в развитие исследований по изучению органического вещества почвы внесли ученые, в разное время работавшие в этом направлении: Л. В. Круглов, В. И. Матвеева, В. А. Тикавый, Е. В. Зенюк, А. К. Малько, Е. В. Кирдун, Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, Т. М. Кирдун и др.

Разработан весь необходимый ассортимент (84 марки) комплексных минеральных удобрений со сбалансированным соотношением элементов питания для основных сельскохозяйственных культур для основного внесения в почву и некорневых подкормок по вегетирующим растениям (Г. В. Пироговская, И. М. Богдевич, В. В. Лапа, А. М. Русалович, В. И. Сороко, и др.). Разработка включает технические условия на промышленное производство удобрений, регистрацию в Госхимкомиссии Республики Беларусь, рекомендации по их применению. Разработанные составы удобрений защищены патентами Национального центра интеллектуальной собственности Республики Беларусь и Евразийской патентной организации.

В институте постоянно проводятся исследования по известкованию почв и разработке нормативов для определения экономической эффективности удобрений. (А. М. Демьянович, М. К. Рахуба, Г. В. Василюк, Н. В. Клебанович, Т. П. Шапшеева, Т. Н. Германович, Г. В. Пироговская и др.).

Комплексное лизиметрическое исследование, охватывающее период с 1981 по настоящее время, позволило всесторонне изучить процессы, связанные

с атмосферными осадками и почвенным питанием на территории страны. Были количественно оценены поступление питательных веществ с осадками, инфильтрация влаги в почву (на глубине 1,0–1,5 м), а также потери минеральных элементов и водорастворимого органического вещества с лизиметрическими водами в наиболее распространенных почвах. Параллельно исследовалась продуктивность различных систем земледелия, включая севообороты и монокультуру многолетних бобово-злаковых травосмесей (И. А. Юшкевич, И. А. Богомаз, Г. В. Пироговская).



М. В. Рак, 2024 г.

Большой вклад в исследования, направленные на разработку и совершенствование научных основ питания растений микроэлементами и повышения эффективности использования микроудобрений в агротехнологиях внесли доктор с.-х. наук Г. П. Дубиковский; кандидаты с.-х. наук: М. В. Рак, В. И. Матвеева, В. Н. Лебедев, И. А. Кожуро, Л. И. Лазовский, Л. С. Микулович, М. Ф. Дембицкий, С. А. Титова, Г. М. Сафроновская, Т. Г. Николаева, Е. Н. Пукалова и др. Под руководством М. В. Рака разработан ряд жидких комплексных форм микроудобрений МикроСтим и МикроСил, приготовленных на основе хелатов металлоэлементов и бора в органо-минеральной форме. Кроме микроэлементов, жидкие комплексные микроудобрения содержат регуляторы роста растений Гидрогумат и Экосил, что повышает их эффективность и отличает от других аналогичных форм микроудобрений. По лицензионным договорам освоено и начато производство микроудобрений на предприятиях страны, что во многом решает проблему потребности республики в хелатных формах микроудобрений.

Деятельность лаборатории почвенно-агрохимических анализов направлена на совершенствование аналитических работ. Мы исследуем и внедряем перспективные методики анализа почв, растений, удобрений и вод, используя такие современные подходы, как ионометрия, эмиссионная и атомно-абсорбционная спектрометрия, газовая и жидкостная хроматография, а также инфракрасная спектрометрия. Вклад академика И. М. Богдевича и кандидата сельскохозяйственных наук А. Г. Корзуна был неocenim для развития лаборатории. В 1994 году, опираясь на достижения лаборатории, был создан лабораторно-аналитический исследовательский центр, призванный выполнять аналитические работы в сфере агрохимии. В разное время работали в этом направлении С. Е. Головатый, Г. В. Слободницкая, З. К. Ковалевич, Г. Г. Карпович, Е. Н. Богатырева и др.

Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси с самого начала ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы сосредоточил свои усилия на аграрном секторе. На начальном этапе были предприняты экстренные меры, такие как эвакуация населения из зон с высоким уровнем радиоактивного загрязнения. Пятилетний период работы сотрудников института (среди которых Н. И. Смеян, Э. Д. Шагалова, И. Н. Марцуль, А. А. Шмигельский и др.) в партнерстве с радиологами областных станций химизации был посвящен изучению радиоактивного за-



Д. В. Маркевич, Т. М. Серая, 2008 г.



О. В. Матыченкова, В. В. Лапа,  
Ю. В. Путятин, 2018 г.



И. М. Богдевич, А. Е. Гучок, 2026 г.

грязнения. В рамках этой работы были составлены карты гамма-фона и собраны образцы почв по ключевым точкам для анализа на содержание цезия-137 и стронция-90. Затем, для получения полной картины, было проведено картографирование почв на содержание радионуклидов в масштабе 1:25000 по всей республике. Это позволило точно определить, как распределяются загрязненные территории. С целью минимизации производства продукции, содержащей радионуклиды, около 265 тысяч гектаров сельскохозяйственных земель были выведены из эксплуатации. Научные сотрудники предложили эффективные методы и приемы для уменьшения поступления радионуклидов в растения, что позволило бы получать продукцию, соответствующую нормативным требованиям. Среди этих методов – внесение увеличенных доз фосфорных и калийных удобрений, известкование кислых почв и исключение из севооборота культур, склонных к накоплению радиоактивных веществ. Проводились исследования по изучению поведения и форм нахождения цезия-137 и стронция-90 в различных типах почв, а также факторов, влияющих на их переход в урожай. По результатам полевых экспериментов и маршрутных обследований были установлены объемы поступления радионуклидов в сельскохозяйственные культуры и разработаны нормативные показатели для прогнозирования уровня загрязнения пищевых продуктов, сырья и кормов. Значительный вклад в исследования лаборатории и разработку сельскохозяйственных защитных мер внесли И. М. Богдевич, Ю. В. Путятин, Н. Н. Цыбулько, И. Д. Шмигельская, Т. М. Серая, И. А. Ефимова, И. С. Станилевич, В. А. Довнар, И. Н. Карпович, Е. С. Третьяков, И. А. Добровольская и др.

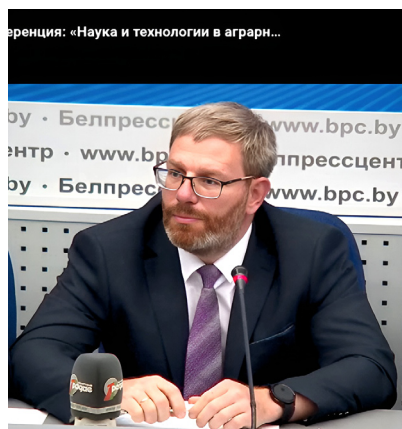
Благодаря целенаправленной деятельности по подготовке высококвалифицированных специалистов, в институте сложились авторитетные научные школы в области агропочвоведения и агрохимии, основанные выдающимися учеными – Я. Н. Афанасьевым, И. С. Лупиновичем, П. П. Роговым, Т. Н. Кулаковской, С. И. Ивановым, А. Г. Медведевым и продолжены И. М. Богдевичем, Н. И. Смеяном, Т. А. Романовой и В. В. Лапой.

Институт почвоведения и агрохимии по праву гордится своими достижениями, которые были многократно отмечены на государственном уровне. Значительным событием стало награждение Института орденом Трудового Красного Знамени в 1981 году за выдающиеся заслуги в развитии сельскохозяйственной науки и практическое применение научных разработок.

Высокое признание получили и отдельные сотрудники. Т. Н. Кулаковская, за свой неоценимый вклад в агрохимическую науку и подготовку нового поколения ученых, была удостоена звания Героя Социалистического Труда, а также награждена орденами Ленина, Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени, золотой медалью им. Д. Н. Прянишникова и медалью им. С. И. Вавилова. П. П. Роговой был награжден орденом Ленина и двумя орденами «Знак почета». А. Г. Медведев получил золотую медаль В. Р. Вильямса, Н. Н. Смеян – орден «Знак почета» и медаль «За доблестный труд», В. В. Лапа – орден Ф. Скорины, а Г. В. Пироговская – медаль «За трудовые заслуги». Почетные звания также были присвоены: «Заслуженный деятель науки БССР» – П. П. Роговому, Т. Н. Кулаковской, Н. Н. Смеяну и Т. А. Романовой; «Заслуженный деятель науки Республики Беларусь» – В. В. Лапе; «Заслуженный работник сельского хозяйства Республики Беларусь» – И. М. Богдевичу.

Важным подтверждением научной значимости работы института стало присуждение Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники 13 сотрудникам за цикл исследований в области почвоведения и агрохимии, а также за разработку учебной литературы для высших сельскохозяйственных учебных заведений.

В ближайшие годы белорусская агропочвенная наука будет играть ключевую роль в развитии сельского хозяйства страны. Основные задачи включают совершенствование учета почвенных ресурсов, оптимизацию систем земледелия, повышение эффективности использования удобре-



Ю. К. Шашко, 2025 г.



С. И. Гордей, Т. М. Серая, Е. А. Якимович, 2022 г.

ний и минерального питания растений, а также разработку мер по предотвращению деградации почв. Для этого ученые сосредоточатся на создании устойчивых и экологически безопасных систем землепользования. Это предполагает оценку пригодности почв для различных культур, внедрение почво- и водоохраных технологий, особенно в зонах с риском эрозии. Также продолжатся исследования по разработке системы воспроизводства плодородия почв, направленной на поддержание баланса гумуса и улучшение агрофизических и агрохимических показателей для стабильного земледелия. Особое внимание уделяется созданию интенсивных систем удобрения, включающих органические, минеральные и микроудобрения, регуляторы роста и средства защиты растений для новых сортов и гибридов культур. Цель – обеспечить рациональное использование питательных веществ, высокую отдачу от удобрений (1 кг NPK на 10–12 кормовых единиц) и высокое качество продукции.

Перед Институтом почвоведения и агрохимии стоит амбициозная и многогранная исследовательская задача. Полученные в ходе их выполнения результаты будут иметь важное значение для определения путей дальнейшего повышения плодородия почв и их защиты от деградации. Реализация Программы мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв в Республике Беларусь, разработанной учеными института, гарантирует значительное улучшение почвенного плодородия и, соответственно, повышение продуктивности земель. Институт также играет ключевую роль в координации научных исследований по данным направлениям всех белорусских научных и учебных заведений, а также в методическом обеспечении Государственной почвенной и агрохимической служб.

Институт осуществляет целенаправленную работу по продвижению своих научных разработок и их внедрению в агропромышленный комплекс Республики Беларусь, обеспечивая специалистов своевременной научной информацией. В рамках своей деятельности институт регулярно представляет свои инновации на международных и республиканских выставках, а также организует международные научно-практические конференции, способствующие обмену знаниями и опытом с учеными из ведущих научных учреждений ближнего и дальнего зарубежья.

**ВИТАЛИЙ ВИТАЛЬЕВИЧ ЛАПА**  
**(к 75-летию со дня рождения выдающегося ученого Беларуси)**



Виталий Витальевич Лапа – известный белорусский ученый в области агрохимии и почвоведения. Родился 21 июня 1951 г. в деревне Сугаки Волковысского района Гродненской области. После окончания средней школы в г. п. Россь в 1967 г. поступил на агрономический факультет Гродненского сельскохозяйственного института, который с отличием окончил в 1972 г. После окончания института работал агрономом в совхозе «Кохановичи» Верхнедвинского района Витебской области, где получил опыт практической работы. С 1972 по 1973 гг. служил в Советской армии. С 1974 по 1976 гг. учился в аспирантуре Белорусского НИИ почвоведения и агрохимии под руководством члена-корреспондента АН БССР, доктора сельскохозяйственных наук, профессора С. Н. Иванова в лаборатории физико-химии почв и радиоактивных изотопов. В процессе работы над диссертацией освоил методы работы с радиоактивными и стабильными изотопами, используемые в качестве метки азота, фосфора и калия в минеральном питании растений. Первые результаты научных исследований по теме диссертации были опубликованы в журналах «Доклады Академии наук Беларуси» и «Вести Академии наук Беларуси». В 1977 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности «агрохимия». После окончания аспирантуры с 1977 г. работал младшим научным сотрудником, затем старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией, с 1989 по 2005 гг. – заместитель директора института по научной работе, а с 2006 по 2022 гг. – директор Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. В 1995 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук по специальности «агрохимия». Научным консультантом по теме докторской диссертации был академик РАСХН В. Н. Ефимов. В 1997 г. Виталию Витальевичу Лапа присвоено ученое звание профессора по специальности «агрономия». В 2009 г. избран членом-корреспондентом, а в 2014 г. – действительным



IV съезд Белорусского общества почвоведов, 2010 г. Пленарное заседание.

1-й ряд – А. В. Литреев, В. К. Павловский, В. Г. Гусаков, В. В. Лапа, А. Ф. Черныш, Н. Н. Цыбулько; 2-й ряд – Г. М. Мамедов, В. В. Чербарь, А. Карклиньш



М. М. Ломонос, В. В. Лапа, Н. Н. Ивахненко, 2011 г.



Депутат Палаты представителей В. С. Цыдик, В. В. Лапа, 2015 г.

членом (академиком) Национальной академии наук Беларуси.

В. В. Лапа внес большой вклад в развитие фундаментальных и прикладных вопросов по совершенствованию агрохимического обслуживания сельского хозяйства, сохранения и повышения плодородия почв, минерального питания растений, развитие научного направления по разработке новых форм комплексных минеральных удобрений, комплексного применения макро- и микроудобрений, регуляторов роста и средств химической защиты растений под сельскохозяйственные культуры.

За период научной деятельности им разработано и внедрено в Агрохимической службе республики 135 рекомендаций, методик и инструкций по вопросам сохранения и повышения плодородия почв, эффективному использованию средств химизации.

В 1980 г. В. В. Лапой с участием И. М. Богдевича и ученых БелПТи АСУ Н. Г. Хлопенюка и В. С. Логункова была разработана методика формирования первого в СССР банка данных агрохимических свойств почв БССР, а в 1985 г. по данным крупномасштабного агрохимического обследования был сформирован «Банк данных агрохимических свойств Беларуси», который периодически обновляется и функционирует и в настоящее время.

Под руководством В. В. Лапа была разработана и внедрена во всех хозяйствах республики компьютерная система по расчету планов применения удобрений под сельскохозяйственные культуры, определена перспективная потребность и ассортимент минеральных удобрения для сельскохозяйственного производства, выполнен большой цикл работ по зональным системам применения

удобрений с учетом почвенных и агрохимических факторов.

Научные работы по комплексному применению минеральных удобрений и средств химической защиты растений в исследованиях В. В. Лапы всегда сочетались с оценкой качества получаемой растениеводческой продукции.

Впервые в Республике Беларусь совместно с учеными медицинского профиля определил коэффициенты эффективности белка в зерне озимой пшеницы и ярового ячменя при применении различных доз азотных удобрений и микроэлементов, провел комплексную оценку качества зерна этих культур с использованием биологических тест-объектов и предложил экологические регламенты на применение азотных удобрений в технологиях их возделывания.

В 1986 г. В. В. Лапа являлся одним из разработчиков агрохимического раздела интенсивной технологии возделывания зерновых колосовых культур, которая включала новейшие результаты исследований по комплексному применению азотных удобрений, микроудобрений и средств химической защиты растений от сорняков, болезней и вредителей, а также дробное внесение азотных удобрений в основные фазы развития растений. Применение интенсивной технологии возделывания зерновых культур в сельском хозяйстве позволило в то время обеспечить существенное повышение урожайности зерновых культур.

Под руководством В. В. Лапы в 2006–2022 гг. были начаты и успешно реализованы два новые научные направления по разработке комплексных форм минеральных удобрений со сбалансированным соотношением макро- и микроэлементов с учетом биологических особенностей сельскохозяйственных культур для основного внесения в почву и жидких хелатных микроудобрений для некорневых подкормок сельскохозяйственных культур в период вегетации. Был разработан полный ассортимент комплексных минеральных удобрений для всех возделываемых в республике сельскохозяйственных культур. Новизна этих удобрений защищена патентами Республики Беларусь, а на химических заводах республики освоено их производство. Научные результаты этих исследований были опубликованы в совместной монографии с Г. В. Пироговской.

На основе проведенных экспериментальных и теоретических научных исследований им разработана ресурсосберегающая система применения удобрений, основанная на принципах получения их максимальной окупаемости при условии сохранения или повышения достигнутого уровня плодородия почв. В настоящее время она широко используется для расчетов потребности в минеральных удобрениях, а также реализована в планах применения удобрений по полям севооборотов, разрабатываемых для хозяйств республики.

Под руководством В. В. Лапы разработана и внедряется в АПК Республики Беларусь программа мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв на 2021–2025 гг., а ранее такие программы разрабатывались на пятилетние периоды с 2006 по 2020 гг.



Приемка опытов в Институте защиты растений, В. В. Лапа (в центре), 2022 г.

В. В. Лапа – автор более 1000 научных работ, в том числе 58 книг, из которых 19 монографий, 22 учебников и учебных пособий, 50 авторских свидетельств, европейских и белорусских патентов. Среди его научных работ такие совместные монографии как «Почвы Республики Беларусь», «Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь», «Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика» и ряд других работ. Он является научным руководителем по подготовке раздела о почвах Республики Беларусь в «Национальный атлас Республики Беларусь».

В. В. Лапа внес большой вклад в подготовку научных кадров высшей квалификации. Им сформирована научная школа по ресурсосберегающим системам удобрения сельскохозяйственных культур и воспроизводству плодородия почв – одному из важнейших вопросов в агрохимии. Под его руководством подготовлено и защищено 3 докторских и 21 кандидатских диссертаций.

За разработку и внедрение методических рекомендаций по совершенствованию Агрохимической службы Республики Беларусь награжден серебряной и двумя бронзовыми медалями ВДНХ СССР. В 1979 г. В. В. Лапа стал победителем Всесоюзного конкурса молодых ученых по агрохимическому обслуживанию сельского хозяйства и был награжден Почетной грамотой ЦК ВЛКСМ. За свои научные достижения награждался Почетной грамотой МСХ СССР, МСХ Республики Беларусь, Национальной академии наук Беларуси, Национального собрания Республики Беларусь, ВАК Республики Беларусь, Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь.

За большой вклад в развитие агрохимических исследований, внедрение их в сельскохозяйственное производство, создание научной школы и подготовку научных кадров высшей квалификации в 2002 г. награжден орденом Франциска Скорины. В этом же году ему была присуждена Государственная премия Республики Беларусь в области науки и техники, в 2005 и 2019 гг. – премия Национальной Академии наук Республики Беларусь. В 2011 г. Указом Президента Республики Беларусь ему было присвоено звание «Заслуженный деятель науки Республики Беларусь». В 2017 г. получил Благодарность Президента Республики Беларусь.

В. В. Лапа ведет активную научно-организационную и общественную работу. С 2004 по 2006 гг. он возглавлял Экспертный совет ВАК Республики Беларусь по аграрным наукам, с 2006 г. является председателем Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций по специальностям «агрохимия» и «агропочвоведение и агрофизика». В настоящее время входит в состав Экспертного совета ГНТ и Бюро Экспертного совета ГНТ по научно-производственным программам. Является заместителем главного редактора журнала «Почвоведение и агрохимия», издаваемого Институтом почвоведения и агрохимии, членом редколлегий журналов «Доклады НАН Беларуси», «Аграрная экономика», «Земледелие и растениеводство», «Земля Белоруссии», «Природные ресурсы», а также 3 российских научных журналов «Плодородие», «Агрофизика», «Земледелие».

Поздравляем с Юбилеем и желаем новых научных достижений на благо нашей Родины – Республики Беларусь!

*Директор Института почвоведения и агрохимии,  
доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор Ю. К. Шашко*

# 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.47

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ШКАЛЫ ОЦЕНОЧНЫХ БАЛЛОВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ДЛЯ СОИ И ПРОСА

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

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

### ВВЕДЕНИЕ

Оценка плодородия почв в рамках кадастровой оценки земель является первой и наиболее важной частью комплексной кадастровой оценки сельскохозяйственных земель. Она заключается в определении пригодности почв по совокупности их природных свойств, отражающих уровень плодородия и имеющих наиболее важное значение для роста и развития культурных растений, т. е. направлена на выявление влияния основных свойств и диагностических показателей почв на плодородие и установление их производительной способности по урожайности сельскохозяйственных культур. Выполнение бонитировочных работ предусматривает получение количественных показателей баллов бонитета (исходных баллов), с помощью которых устанавливается разница в плодородии почв. Бонитировка почв является инвентаризацией почвенного плодородия в баллах, полученных на основе корреляционных зависимостей основных свойств почв со средней многолетней урожайностью сельскохозяйственных культур. Главное значение бонитировки заключается в том, что она позволяет выявить степень различия в производительной способности почв и за счет каких основных мероприятий может быть повышено их плодородие. В ходе бонитировочных работ учитываются качество почвы при оптимальном состоянии природных условий оцениваемого земельного участка. В этом случае, для каждой почвенной разновидности, входящей в данный оцениваемый участок земли, определяется ее относительное качество в баллах. Качественная оценка земель – это бонитировка почв с учетом природных условий данного земельного участка. При качественной оценке земель учитываются свойства почв в баллах, а природные условия оцениваемой территории – в виде поправочных коэффициентов. Основой оценки плодородия почв является шкала оценочных баллов, которая представляет собой список почв, распространенных на территории республики, с установленными для них количественными показателями (баллами), объективно отражающими их плодородие при возделывании различных сельскохозяйственных культур и в среднем для вида земель. Во всех трех турах бонитировочных работ в республике оценка проводилась по принципу замкнутой 100-балльной шкалы: лучшие по качеству почвы получают 100 баллов, по мере ухудшения качества почв их балльность уменьшается. Оценка

почв основывается на принятой в Беларуси классификации для крупномасштабного картографирования.

В Беларуси на протяжении всего периода проведения землеоценочных работ (с 1964 г.) шкала оценочных баллов постоянно совершенствовалась и уточнялась. Последняя наиболее масштабная исследовательская работа была проведена с целью уточнения и расширения шкалы оценочных баллов для II тура кадастровой оценки земель, необходимость которого обуславливалась новыми *научными разработками по совершенствованию научно-методических основ оценки земель*, получением новейших данных почвенных и агрохимических обследований и изменениями границ землепользований, обновлением агроклиматических данных, получением новых данных по пригодности почв для возделывания различных сельскохозяйственных культур, произошедшими после проведения предыдущего тура кадастровой оценки земель.

Анализ литературных данных показал, что исследования по совершенствованию оценочной шкалы проводились *в двух направлениях*:

- расширение перечня почв шкалы оценочных баллов, совершенствование структуры его построения с учетом номенклатурного списка почв для почвенного картографирования и новой классификации почв Беларуси; установление баллов для новых почвенных разновидностей, включенных в шкалу, уточнение балльной оценки некоторых разновидностей, которые уже были в шкале в предыдущем туре кадастровой оценки и по которым были получены новые данные об их производительной способности;
- расширение перечня сельскохозяйственных культур для шкалы и установление их балльной оценки, корректировка оценочных баллов по некоторым культурам на основании результатов проведенных исследований [1].

В настоящее время шкала значительно дополнена и расширена за счет новых почвенных объектов (дерново-карбонатные типичные, выщелоченные, оглеенные; дерново-подзолистые, дерново-подзолистые и дерновые заболоченные со сложным (трехчленным) строением почвенного профиля; антропогенно-преобразованные почвы овражно-балочного комплекса, выгоревшие торфяные, нарушенные почвы на мелах и доломитах) и сельскохозяйственных культур, которые ранее не оценивались (озимое тритикале), или для которых получены новые данные по их производительной способности (яровая пшеница, ячмень, кукуруза). С учетом всех дополнений шкала включает балльную оценку для 336 разновидностей по 16 культурам, возделываемым на пахотных землях, и оценку луговых угодий с разделением их на улучшенные и естественные. Оценка пахотных земель проведена для следующих культур или их групп, возделываемых в республике: 1) озимая рожь; 2) озимая пшеница; 3) озимое тритикале; 4) яровая пшеница; 5) ячмень; 6) овес; 7) кормовой люпин; 8) горох, вика, пелюшка; 9) лен; 10) сахарная свекла, корнеплоды; 11) рапс; 12) картофель; 13) кукуруза; 14) многолетние бобовые травы; 15) многолетние злаковые травы; 16) бобово-злаковые травосмеси. В предыдущем списке (I тур кадастровой оценки) было 266 разновидностей, и оценка приводилась по 13 культурам [1–3].

Происходящие на территории республики за последние десятилетия климатические изменения свидетельствуют о повышенной годовой и сезонной изменчивости условий сельскохозяйственного производства с тенденцией в направле-

нии ухудшения агроклиматического потенциала для ведения сельского хозяйства (повышение суммы активных температур в вегетационный период, перераспределение количества и интенсивности осадков в холодный и теплый период, рост повторяемости засух и засушливых явлений и др.) [4–6]. Прогрессирующее развитие термоаридного тренда потребует расширения ареала возделывания теплолюбивых культур. Следовательно, исследования по оценке плодородия дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава, строения почвообразующих и подстилающих пород, занимающих более 47,0 % пахотных земель, установление баллов бонитета этих почв для новых теплолюбивых культур в особенности, таких как соя и просо, обладающих высокой питательной и кормовой ценностью, являются актуальными.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований явились дерново-подзолистые автоморфные почвы легкосуглинистого, связно- и рыхлосупесчаного, связнопесчаного гранулометрического состава, подстилаемые связными и рыхлыми породами с глубины до 1,0 м. Результаты физико-химических и агрохимических анализов изучаемых почв, показали, что пахотные горизонты характеризуются оптимальными или близкими к оптимальным параметрами. В пределах одного опытного поля или учетной площадки почвы характеризуются одинаковой степенью окультуренности (индекс окультуренности находится в диапазоне 0,8–1,0) и различаются между собой гранулометрическим составом.

Исследования выполнены на основе сравнительно-профильно-катенарного метода.

Для установления баллов бонитета дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава и строения почвенного профиля создан Банк данных показателей плодородия и урожайности культур сои и проса на зерно, полученных на опытных участках и в производственных посевах, с использованием литературных, фондовых материалов, данных крупномасштабного почвенного и агрохимического обследований сельскохозяйственных земель за 20-летний период в количестве 3884 и 3758 записей соответственно (рис. 1, 2).

|     | Источник      | Год      | Область    | Район       | Хозяйство    | Тип почвы           | Гранулометрический состав | Подстиление       | pH   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг | K <sub>2</sub> O, мг/кг | Гумус, % | Урожайность, ц/га |
|-----|---------------|----------|------------|-------------|--------------|---------------------|---------------------------|-------------------|------|---------------------------------------|-------------------------|----------|-------------------|
| 1   | Отчет 1.12    | 2023     | Минская    | Минский     | ОАО "Игнат"  | дерново-подзолистая | легкосуглинистая          | развивающаяся на  | 6,06 | 404                                   | 372                     | 2,38     | 33,2              |
| 3   | Отчет 1.12    | 2023     | Минская    | Минский     | ОАО "Игнат"  | дерново-подзолистая | легкосуглинистая          | развивающаяся на  | 5,96 | 488                                   | 337                     | 2,70     | 34,3              |
| 4   | Отчет 1.12    | 2023     | Минская    | Минский     | ОАО "Игнат"  | дерново-подзолистая | легкосуглинистая          | развивающаяся на  | 6,17 | 473                                   | 322                     | 2,62     | 32,1              |
| 5   | Отчет 1.12    | 2023     | Минская    | Минский     | ОАО "Игнат"  | дерново-подзолистая | легкосуглинистая          | развивающаяся на  | 5,95 | 493                                   | 339                     | 2,58     | 34,1              |
| 268 | В. И. Кочурки | 2009-2   | Брестская  | Ляховичский | Опытное поле | дерново-подзолистая | рыхлосупесчаная           | подстилаяемая мор | 5,96 | 366                                   | 282                     | 2,13     | 16,8              |
| 269 | В. И. Кочурки | 2009-2   | Брестская  | Ляховичский | Опытное поле | дерново-подзолистая | рыхлосупесчаная           | подстилаяемая мор | 5,98 | 390                                   | 311                     | 2,18     | 24,3              |
| 270 | В. И. Кочурки | 2009-2   | Брестская  | Ляховичский | Опытное поле | дерново-подзолистая | рыхлосупесчаная           | подстилаяемая мор | 5,94 | 365                                   | 273                     | 2,08     | 22,9              |
| 271 | В. И. Кочурки | 2009-2   | Брестская  | Ляховичский | Опытное поле | дерново-подзолистая | рыхлосупесчаная           | подстилаяемая мор | 6,00 | 362                                   | 296                     | 2,19     | 24,4              |
| 433 | Г. З. Гуцева  | 2004-2   | Гомельская | Добрушский  | КСУП "Дубо"  | дерново-подзолистая | супесчаная                | развивающаяся на  | 5,78 | 376                                   | 175                     | 2,90     | 16,0              |
| 434 | Г. З. Гуцева  | 2004-2   | Гомельская | Добрушский  | КСУП "Дубо"  | дерново-подзолистая | супесчаная                | развивающаяся на  | 5,97 | 383                                   | 164                     | 2,75     | 21,5              |
| 435 | Г. З. Гуцева  | 2004-2   | Гомельская | Добрушский  | КСУП "Дубо"  | дерново-подзолистая | супесчаная                | развивающаяся на  | 5,82 | 388                                   | 178                     | 2,86     | 24,3              |
| 436 | Г. З. Гуцева  | 2004-2   | Гомельская | Добрушский  | КСУП "Дубо"  | дерново-подзолистая | супесчаная                | развивающаяся на  | 5,95 | 364                                   | 169                     | 2,88     | 18,4              |
| 643 | В. Н. Босак   | [2008-2] | Брестская  | Пинский     | полевой опыт | дерново-подзолистая | супесчаная                | развивающаяся на  | 6,07 | 175                                   | 238                     | 1,86     | 12,4              |
| 644 | В. Н. Босак   | [2008-2] | Брестская  | Пинский     | полевой опыт | дерново-подзолистая | супесчаная                | развивающаяся на  | 6,17 | 178                                   | 239                     | 1,93     | 25,4              |
| 645 | В. Н. Босак   | [2008-2] | Брестская  | Пинский     | полевой опыт | дерново-подзолистая | супесчаная                | развивающаяся на  | 6,19 | 179                                   | 240                     | 1,98     | 30,2              |
| 646 | В. Н. Босак   | [2008-2] | Брестская  | Пинский     | полевой опыт | дерново-подзолистая | супесчаная                | развивающаяся на  | 6,16 | 178                                   | 229                     | 1,87     | 11,6              |

Рис. 1. Фрагмент банка данных урожайности сои (на зерно) на дерново-подзолистых почвах республики различного гранулометрического состава

| 1   | Источник   | Год  | Область     | Район       | Хозяйство    | Тип почвы           | Гранулометрический состав | Подстиление          | pH   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> мг/кг | K <sub>2</sub> O мг/кг | Гумус, % | Урожайность, ц/га |
|-----|------------|------|-------------|-------------|--------------|---------------------|---------------------------|----------------------|------|-------------------------------------|------------------------|----------|-------------------|
| 2   | М.М. Ломо  | 2005 | Минская     | Узденский   | РУП "Экспер" | дерново-подзолистая | рыхлосупесчаная           | моренный суглинок    | 6,23 | 225                                 | 162                    | 2,4      | 20,0              |
| 3   | М.М. Ломо  | 2005 | Минская     | Узденский   | РУП "Экспер" | дерново-подзолистая | рыхлосупесчаная           | моренный суглинок    | 6,28 | 237                                 | 177                    | 2,45     | 28,8              |
| 4   | М.М. Ломо  | 2005 | Минская     | Узденский   | РУП "Экспер" | дерново-подзолистая | рыхлосупесчаная           | моренный суглинок    | 6,37 | 242                                 | 186                    | 2,56     | 32,2              |
| 5   | М.М. Ломо  | 2005 | Минская     | Узденский   | РУП "Экспер" | дерново-подзолистая | рыхлосупесчаная           | моренный суглинок    | 6,39 | 231                                 | 192                    | 2,52     | 31,3              |
| 195 | Э.М. Баты  | 2010 | Гомельская  | Добрушский  | КСУП "Дубов" | дерново-подзолистая | супесчаная                | подстилаяемая морен  | 5,87 | 251                                 | 121                    | 1,99     | 43,1              |
| 196 | Э.М. Баты  | 2010 | Гомельская  | Добрушский  | КСУП "Дубов" | дерново-подзолистая | супесчаная                | подстилаяемая морен  | 5,76 | 248                                 | 118                    | 1,87     | 31,7              |
| 197 | Э.М. Баты  | 2010 | Гомельская  | Добрушский  | КСУП "Дубов" | дерново-подзолистая | супесчаная                | подстилаяемая морен  | 5,70 | 253                                 | 131                    | 1,91     | 32,7              |
| 198 | Э.М. Баты  | 2010 | Гомельская  | Добрушский  | КСУП "Дубов" | дерново-подзолистая | супесчаная                | подстилаяемая морен  | 5,72 | 255                                 | 132                    | 1,92     | 30,9              |
| 442 | О.С. Корзу | 2008 | Гродненская | Гродненский | СХКП "Путри" | дерново-подзолистая | супесчаная                | подстилаяемая с глук | 5,83 | 224                                 | 207                    | 1,87     | 27,0              |
| 443 | О.С. Корзу | 2008 | Гродненская | Гродненский | СХКП "Путри" | дерново-подзолистая | супесчаная                | подстилаяемая с глук | 5,86 | 221                                 | 202                    | 1,84     | 19,0              |
| 444 | О.С. Корзу | 2008 | Гродненская | Гродненский | СХКП "Путри" | дерново-подзолистая | супесчаная                | подстилаяемая с глук | 5,82 | 215                                 | 195                    | 1,80     | 15,8              |
| 445 | О.С. Корзу | 2008 | Гродненская | Гродненский | СХКП "Путри" | дерново-подзолистая | супесчаная                | подстилаяемая с глук | 5,90 | 230                                 | 212                    | 1,92     | 36,0              |
| 670 | Г.А. Гесь  | 2015 | Гродненская | Гродненский | опытное поле | дерново-подзолистая | супесчаная                | подстилаяемая с глук | 6,50 | 170                                 | 144                    | 1,51     | 10,5              |
| 671 | Г.А. Гесь  | 2015 | Гродненская | Гродненский | опытное поле | дерново-подзолистая | супесчаная                | подстилаяемая с глук | 6,55 | 178                                 | 156                    | 1,56     | 10,9              |
| 672 | Г.А. Гесь  | 2015 | Гродненская | Гродненский | опытное поле | дерново-подзолистая | супесчаная                | подстилаяемая с глук | 6,57 | 182                                 | 153                    | 1,59     | 10,7              |
| 673 | Г.А. Гесь  | 2015 | Гродненская | Гродненский | опытное поле | дерново-подзолистая | супесчаная                | подстилаяемая с глук | 6,61 | 187                                 | 162                    | 1,64     | 11,9              |

Рис. 2. Фрагмент банка данных урожайности проса (на зерно) на дерново-подзолистых почвах республики различного гранулометрического состава

Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлялась корреляционно-регрессионным и дисперсионными анализами по Б. А. Доспехову и инструмента «Анализ данных» в MS Excel. Нормальность распределения выборки проверялась с применением формул Е. И. Пустыльника [7].

Разработка шкалы оценочных баллов плодородия осуществлена на основе методики, разработанной в секторе агропочвоведения, цифрового картографирования и оценки почв, утвержденной Ученым советом Института почвоведения и агрохимии и используемой при проведении землеоценочных работ в республике [3, 8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты многолетних землеоценочных работ показали, что в условиях Беларуси наиболее значительное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур оказывают свойства почв, определяющиеся их типовыми различиями. Внутри типа сильное влияние на продуктивность культур оказывают гранулометрический состав и характер строения почвообразующих пород [9]. Гранулометрический состав почв является одним из наиболее важных показателей, который определяет уровень их плодородия. От него зависит интенсивность протекания многих почвообразовательных процессов, связанных с превращением, миграцией и аккумуляцией органических и минеральных соединений в профиле почвы. Тонкодисперсная составляющая почв (фракция физической глины) отвечает за содержание и качество органического вещества, емкость поглощения и состав поглощенных оснований. Поэтому именно гранулометрический состав и запасы гумуса принимаются за критерии качества почв, определяющих их агроэкологический потенциал для эффективного возделывания сельскохозяйственных культур [9–12].

Результаты обработки данных урожайности сои и проса способом однофакторного дисперсионного анализа позволили установить различия между урожаями культур и гранулометрическим составом. Доля влияния фактора гранулометрического состава составила 70 %, что сопоставимо с данными ранее проведенных исследований для зерновых культур на дерново-подзолистых почвах различного гранулометрического состава и генезиса [9]. Статистическая обработка результатов

показала, что данные по урожайности культур, полученные на почвах различного гранулометрического состава, достоверно различаются. Для определения зависимости урожайности сои и проса на зерно от гранулометрического состава нами были выбраны содержание в пахотных горизонтах исследуемых почвенных разновидностей фракции физической глины (<0,01 мм, %) и запасов гумуса (т/га).

Корреляционный анализ показал, что между урожайностью сои на зерно и гранулометрическим составом, выраженным через содержание фракции физической глины, и запасами гумуса имеет место сильная зависимость. Коэффициент корреляции ( $\eta$ ) составил соответственно 0,68 и 0,70 (рис. 3). Получены уравнение регрессии, отражающие зависимость урожайности *соя на зерно* от содержания физической глины и запасов гумуса в дерново-подзолистых почвах:  $y = 0,03x^2 + 1,98x + 0,05$  и  $y = -0,002x^2 + 0,54x - 6,18$  соответственно.

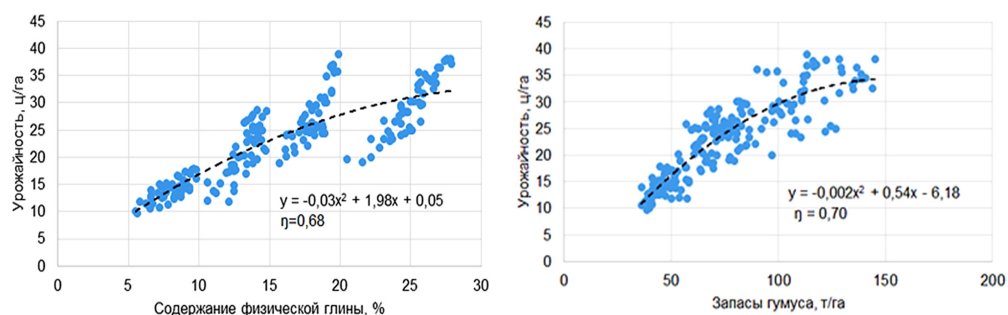


Рис. 3. Зависимость урожайности зерна сои от содержания физической глины и запасов гумуса в дерново-подзолистых почвах различного гранулометрического состава

В результате проведенных исследований выявлены зависимости урожайности проса на зерно от содержания физической глины (%) и запасов гумуса (т/га). Коэффициент корреляции ( $\eta$ ) составил соответственно 0,63 и 0,57 (рис 4). Аналогично получены уравнения регрессии, отражающих зависимость урожайности *проса на зерно* от содержания физической глины и запасов гумуса в дерново-подзолистых почвах:  $y = -0,05x^2 + 2,46x + 6,70$  и  $y = -0,002x^2 + 0,60x + 0,39$ . Полученные уравнения отражают связь генетических свойств почв с их производительной способностью и могут быть использованы для прогнозирования изменения урожайности сои и проса в зависимости от изменения величины приведенных показателей и построения моделей плодородия почв.

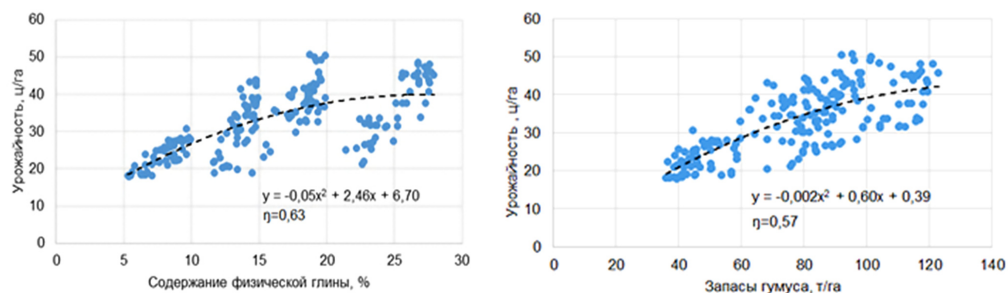


Рис. 4. Зависимость урожайности зерна проса от содержания физической глины и запасов гумуса в дерново-подзолистых почвах различного гранулометрического состава

Как показывают результаты исследования, на урожайность сои на зерно и проса на зерно оказывал влияние гранулометрический состав не только почвообразующей, но и подстилающей породы. Наиболее продуктивной среди минеральных почв для культуры сои оказалась дерново-подзолистая почва, сформировавшаяся на мощных средних и легких суглинках. Среднемноголетняя урожайность сои составила 28,4 ц/га (100 %). На этих же почвах с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м и подстилаемых песками с глубины до 1,0 м урожайность снизилась на 7,9–12,7 % и составила 26,2 и 24,8 ц/га соответственно. Следующей по производительной способности является мощная связно супесчаная и подстилаемая легкими суглинками – 27,5 ц/га. Снижение урожайности сои по сравнению с аналогичной легкосуглинистой составило лишь 3,1 %. На дерново-подзолистых супесчаных почвах с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м и подстилаемых песками с глубины до 1,0 м урожайность сои по сравнению с легкосуглинистой снизилась на 11,1–14,2 % до 25,2 и 24,4 ц/га соответственно. Далее по порядку снижения урожайности расположились рыхлосупесчаная и связнопесчаные разновидности. На рыхлосупесчаных почвах, подстилаемых суглинками или связными супесями с глубины до 1,0 м урожайность сои была на 25,4 % ниже по сравнению с урожайностью, полученной на легкосуглинистой разновидности и составила 21,2 ц/га. Установлено, что урожайность сои на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м и на дерново-подзолистых связнопесчаных, подстилаемых суглинками или связными супесями с глубины до 1,0 м на 38,1–50,8 % ниже по сравнению с урожайностью, полученной на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах, сформировавшихся на средних и легких суглинках – 17,6–14,0 ц/га. А самая минимальная урожайность – 10,4–9,5 ц/га и самое максимальное ее снижение на 63,5–66,7 % установлено на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах, подстилаемых песками с глубины до 1,0 м и связнопесчаных мощных песках, переходящих в рыхлые.

Таким образом, снижение урожайности сои на почвенных разновидностях связно супесчаного гранулометрического состава по сравнению со средне- и легкосуглинистыми составило 3,1–14,2 %, на рыхлосупесчаных – на 25,4–63,5 %, а на связнопесчаных разновидностях установлено самое максимальное снижение – на 50,8–66,7 % (табл. 1).

Таблица 1

**Среднемноголетняя урожайность сои на зерно на дерново-подзолистых почвах различного гранулометрического состава**

| Почвенная разновидность                                                                   | Средняя урожайность, ц/га  | %     | +/-   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------|-------|
| Дерново-подзолистые средне- и легкосуглинистые мощные                                     | $\frac{28,4 \pm 7,6}{489}$ | 100,0 | –     |
| Дерново-подзолистые средне- и легкосуглинистые с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м    | $\frac{26,2 \pm 6,9}{459}$ | 92,1  | –7,9  |
| Дерново-подзолистые средне- и легкосуглинистые, подстилаемые песками с глубины до 1,0 м   | $\frac{24,8 \pm 5,2}{436}$ | 87,3  | –12,7 |
| Дерново-подзолистые связно супесчаные мощные и подстилаемые легкими и средними суглинками | $\frac{27,5 \pm 5,3}{381}$ | 96,9  | –3,1  |

Окончание табл.

| Почвенная разновидность                                                                                 | Средняя урожайность, ц/га  | %    | +/-   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------|-------|
| Дерново-подзолистые связно супесчаные с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м                           | $\frac{25,2 \pm 4,8}{323}$ | 88,9 | –11,1 |
| Дерново-подзолистые связно супесчаные, подстилаемые песками с глубины до 1,0 м                          | $\frac{24,4 \pm 4,4}{310}$ | 85,8 | –14,2 |
| Дерново-подзолистые рыхло супесчаные, подстилаемые суглинками или связными супесями с глубины до 1,0 м  | $\frac{21,2 \pm 7,2}{330}$ | 74,6 | –25,4 |
| Дерново-подзолистые рыхло супесчаные, с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м                           | $\frac{17,6 \pm 5,5}{333}$ | 61,9 | –38,1 |
| Дерново-подзолистые рыхло супесчаные, подстилаемые песками с глубины до 1,0 м                           | $\frac{10,4 \pm 4,7}{340}$ | 36,5 | –63,5 |
| Дерново-подзолистые связно супесчаные, подстилаемые суглинками или связными супесями с глубины до 1,0 м | $\frac{14,0 \pm 4,8}{254}$ | 49,2 | –50,8 |
| Дерново-подзолистые связно супесчаные мощные и переходящие в рыхлые                                     | $\frac{9,5 \pm 4,5}{229}$  | 33,3 | –66,7 |

Наибольшая урожайность проса на зерно получена на дерново-подзолистых связно супесчаных мощных и подстилаемых легкими и средними суглинками почвах – 38,6 ц/га, или 100 %. На почвах легкосуглинистого гранулометрического состава урожайность снизилась на 5,3 % и составила 36,6 ц/га. На связно супесчаных и легкосуглинистых почвах с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м урожайность составила 34,0 ц/га, а на их аналогах, подстилаемых песками с глубины до 1,0 м – 33,4 и 32,0 ц/га соответственно, что на 12,0–17,0 % ниже урожайности на самой продуктивной почвенной разновидности. На почвах рыхло супесчаного гранулометрического состава урожайность еще более снижается и изменяется от 30,8 ц/га на почвах, подстилаемых суглинками или связными супесями с глубины до 1,0 м до 23,1 ц/га, на почвах с прослойкой песка на контакте. Снижение составило 20,3–40,2 %. На почвах связно супесчаного гранулометрического состава урожайность проса на зерно была на 35,2 % ниже и составила 25,0 ц/га на почвах, подстилаемых суглинками или связными супесями с глубины до 1,0 м. Самая низкая урожайность проса на зерно установлена на дерново-подзолистых связно супесчаных мощных и переходящих в рыхлых почвах – 14,7 ц/га, что на 61,8 % меньше по сравнению с урожайностью, полученной на дерново-подзолистых связно супесчаных мощных и подстилаемых легкими и средними суглинками. Таким образом, снижение урожайности проса на связно супесчаных мощных и подстилаемых легкими и средними суглинками по сравнению со средне- и легкосуглинистыми различного строения почвенного профиля составило 5,3–17,0 %, на связно супесчаных с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м и подстилаемых песками с глубины до 1,0 м на 12,0–13,6 %, рыхло супесчаных – на 20,3–55,2 %, а на связно супесчаных мощных почвах и переходящих в рыхлые установлено самое максимальное снижение – на 61,8 % (табл. 2).

Как видно из таблиц 1 и 2, подстиление почв связными породами играет положительную роль и способствует формированию более высоких урожаев сельскохозяйственных культур даже на рыхлых почвообразующих породах [11].

Таблица 2

**Среднемноголетняя урожайность проса зерно на дерново-подзолистых почвах различного гранулометрического состава**

| Почвенная разновидность                                                                               | Средняя урожайность проса, ц/га | %     | +/-   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
| Дерново-подзолистые средне- и легкосуглинистые мощные                                                 | $\frac{36,6 \pm 10,2}{414}$     | 94,7  | -5,3  |
| Дерново-подзолистые средне- и легкосуглинистые с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м                | $\frac{34,0 \pm 7,7}{432}$      | 88,0  | -12,0 |
| Дерново-подзолистые средне- и легкосуглинистые, подстилаемые песками с глубины до 1,0 м               | $\frac{32,0 \pm 6,4}{418}$      | 83,0  | -17,0 |
| Дерново-подзолистые связносупесчаные мощные и подстилаемые легкими и средними суглинками              | $\frac{38,6 \pm 7,9}{338}$      | 100,0 | –     |
| Дерново-подзолистые связносупесчаные с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м                          | $\frac{34,0 \pm 7,6}{331}$      | 88,0  | -12,0 |
| Дерново-подзолистые связносупесчаные, подстилаемые песками с глубины до 1,0 м                         | $\frac{33,4 \pm 7,4}{311}$      | 86,4  | -13,6 |
| Дерново-подзолистые рыхлосупесчаные, подстилаемые суглинками или связными супесями с глубины до 1,0 м | $\frac{30,8 \pm 9,9}{374}$      | 79,7  | -20,3 |
| Дерново-подзолистые рыхлосупесчаные, с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м                          | $\frac{23,1 \pm 8,9}{333}$      | 59,8  | -40,2 |
| Дерново-подзолистые рыхлосупесчаные, подстилаемые песками с глубины до 1,0 м                          | $\frac{17,3 \pm 6,8}{324}$      | 44,8  | -55,2 |
| Дерново-подзолистые связнопесчаные, подстилаемые суглинками или связными супесями с глубины до 1,0 м  | $\frac{25,0 \pm 6,1}{247}$      | 64,8  | -35,2 |
| Дерново-подзолистые связнопесчаные мощные и переходящие в рыхлые                                      | $\frac{14,7 \pm 6,4}{236}$      | 38,2  | -61,8 |

Расчет исходного балла плодородия почв основывается на учёте свойств почв, определяющих их типовые различия: гранулометрический состав и характер строения почвообразующих пород. Совокупное влияние этих свойств, определяющих качественное различие почв, выявляется по урожайности, полученной путем прямых полевых учетов на различных почвах в сравнимых условиях агротехники, с использованием статистических данных урожайности и методов экспертной оценки [3, 8]. На основании полученных данных производительной способности дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава при возделывании на них сои и проса на зерно и их статистической обработки разработана шкала качественной оценки этого типа почв в баллах. Баллы определялись по замкнутой 100-балльной шкале и установлены относительно наиболее продуктивной для большинства сельскохозяйственных культур, в том числе для сои и проса на зерно.

Как видно, гранулометрический состав почвообразующей, а также подстилающей породы оказали заметное влияние на величину балла.

Из таблицы 3 видно, что наибольший балл по сое получен для средне- и легкосуглинистых мощных почв – 63. Для этих же почв с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м балл составил 58, а подстилаемых песками с глубины до 1,0 м – 55. Для дерново-подзолистых почв связносупесчаного гранулометрического состава

балл изменяется от 61 – на мощных и подстилаемых легкими и средними суглинками почвах до 54 – на почвах, подстилаемых песками с глубины до 1,0 м. Для рыхлосупесчаных почв балл значительно ниже и изменяется от 47 – на почвах, подстилаемых легкими и средними суглинками, до 23 – на почвах, подстилаемых песками с глубины до 1,0 м. Для связнопесчаных разновидностей балл самый низкий: 31 – для почв, подстилаемых суглинками или связными супесями с глубины до 1,0 м и 21 – для мощных почв и переходящих в рыхлые.

Для проса наибольший балл получен для связносупесчаных мощных и подстилаемых легкими и средними суглинками почв – 60. Для этих же почв с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м балл составил 53, а подстилаемых песками с глубины до 1,0 м – 52. Несколько ниже балл для группы средне- и легкосуглинистых почв: изменяется от 57 до 50. Для почв рыхлосупесчаного гранулометрического состава балл значительно ниже и изменяется от 48 – на почвах, подстилаемых легкими и средними суглинками, до 27 – на почвах, подстилаемых песками с глубины до 1,0 м. Для связнопесчаных почв, подстилаемых суглинками или связными супесями с глубины до 1,0 м, балл составил 39, а для связносупесчаных мощных и переходящих в рыхлые – 23.

Таблица 3

**Шкала оценочных баллов плодородия дерново-подзолистых почв  
для сои (на зерно) и проса (на зерно)**

| Почвенная разновидность                                                                               | Балл бонитета   |                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|
|                                                                                                       | соя<br>на зерно | просо<br>на зерно |
| Дерново-подзолистые средне- и легкосуглинистые мощные                                                 | 63              | 57                |
| Дерново-подзолистые средне- и легкосуглинистые с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м                | 58              | 53                |
| Дерново-подзолистые средне- и легкосуглинистые, подстилаемые песками с глубины до 1,0 м               | 55              | 50                |
| Дерново-подзолистые связносупесчаные мощные и подстилаемые легкими и средними суглинками              | 61              | 60                |
| Дерново-подзолистые связносупесчаные с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м                          | 56              | 53                |
| Дерново-подзолистые связносупесчаные, подстилаемые песками с глубины до 1,0 м                         | 54              | 52                |
| Дерново-подзолистые рыхлосупесчаные, подстилаемые суглинками или связными супесями с глубины до 1,0 м | 47              | 48                |
| Дерново-подзолистые рыхлосупесчаные с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м                           | 39              | 36                |
| Дерново-подзолистые рыхлосупесчаные, подстилаемые песками с глубины до 1,0 м                          | 23              | 27                |
| Дерново-подзолистые связнопесчаные, подстилаемые суглинками или связными супесями с глубины до 1,0 м  | 31              | 39                |
| Дерново-подзолистые связнопесчаные мощные и переходящие в рыхлые                                      | 21              | 23                |

Приведенная шкала разработана для почв, обладающих комплексом оптимальных для роста и развития сельскохозяйственных культур свойств и их культуртехнического состояния: отсутствуют эродированность и завалуненность, аг-

рохимические свойства соответствуют оптимальным параметрам. Полученные баллы являются исходными. Для определения фактического балла конкретного поля или рабочего участка, нужно применять поправочные коэффициенты, которые последовательно вводятся к исходному баллу почв.

Шкала оценочных баллов послужит для расчета баллов плодородия почв и нормативной урожайности культур сои и проса при проведении землеоценочных работ.

## ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований выявлены зависимости урожайности сои и проса на зерно от содержания физической глины и запасов гумуса в исследуемых почвах различного гранулометрического состава. Коэффициенты корреляции ( $\eta$ ) для сои составили соответственно 0,68 и 0,70, а для проса – 0,63 и 0,57. Получены уравнения регрессии для прогнозирования изменения урожайности сои и проса в зависимости от изменения величины приведенных показателей и построения моделей плодородия почв.

Установлены диапазоны урожайности сои и проса для 11 почвенных разновидностей дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава и подстиления. Наибольшая среднемноголетняя урожайность сои отмечена на дерново-подзолистых средне- и легкосуглинистых мощных почвах – 28,4 ц/га, самая низкая – на связнопесчаных мощных почвах и переходящих в рыхлые – 9,5 ц/га. Наибольшая средняя урожайность проса на зерно получена на дерново-подзолистых **связносупесчаных мощных и подстилаемых легкими и средними суглинками** почвах – 38,6 ц/га, самая низкая – на связнопесчаных мощных почвах и переходящих в рыхлые – 14,7 ц/га.

На основании полученных данных урожайности сои и проса на дерново-подзолистых почвах легкосуглинистого, связно-, рыхлосупесчаного и связнопесчаного гранулометрического состава и их статистической обработки проведена качественная оценка этих почв и рассчитаны оценочные баллы их плодородия. Наибольший балл бонитета почв для сои получен для средне- и легкосуглинистых мощных почв – 63, наименьший – для связнопесчаных мощных почв и переходящих в рыхлые – 21. По просу наибольший балл присвоен связносупесчаным мощным и подстилаемым легкими и средними суглинками почвам – 60, наименьший – связнопесчаным мощным почвам и переходящих в рыхлые – 23. Полученные баллы являются исходными и для определения фактического балла конкретного поля или рабочего участка, если это необходимо, нужно применять поправочные коэффициенты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Совершенствование шкалы оценочных баллов для очередного тура кадастровой оценки земель в Беларуси / Л. И. Шибут, Г. С. Цытрон, О. В. Матыченкова [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 2(41). – С. 17–24.
2. Оценка сельскохозяйственных земель в Беларуси: история, современное состояние, перспективы / Л. И. Шибут, Г. С. Цытрон, Т. Н. Азарёнок [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – №1(56). – С. 7–15.

3. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика / Г. М. Мороз, С. В. Дробыш, Т. Н. Зданович [и др.]; под ред. Г. М. Мороза и В. В. Лапа. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 208 с.
4. *Радцевич, Г. А.* Исследование тенденций изменения климата на Европейской части Российской Федерации за длительный период / Г. А. Радцевич, А. А. Черемисинов, А. Ю. Черемисинова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4(55). – С. 30–40.
5. Почвы Республики Беларусь / В. В. Лапа, Т. Н. Азарёнок, С. В. Шульгина [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапа // Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 632 с.
6. *Шибут, Л. И.* Учет агроклиматических условий Беларуси по результатам землеоценочных работ / Шибут Л. И., Азарёнок Т. Н., Матыченкова О. В. [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – № 1(66) – С. 17–27.
7. *Пустыльник, Е. И.* Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е. И. Пустыльник. – М: Наука, 1968. – 288 с.
8. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель. Технология работ. ТКП 302-2018 (33520). – Минск, Госкомимущество, 2018. – 103 с.
9. *Гаргарина, О. С.* Влияние генезиса и гранулометрического состава суглинистых почвообразующих пород на производительную способность дерново-подзолистых почв при выращивании зерновых культур: дис. ...канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Оксана Степановна Гаргарина. – Горки, 2002. – 117 с.
10. *Смеян, Н. И.* Зависимость урожая сельскохозяйственных культур от типовых различий почв и их гранулометрического состава / Н. И. Смеян, Л. И. Шибут // Почвоведение и агрохимия. – 1993. – Вып. 28. – С. 39–44.
11. *Матыченкова, О. В.* Влияние степени увлажнения и гранулометрического состава дерновых и дерново-подзолистых пахотных почв Беларуси на продуктивность люцерны: автореф дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Матыченкова Ольга Викторовна; Институт почвоведения и агрохимии. – Мн., 2007. – 20 с.
12. Методические аспекты оценки агроэкологического состояния почв в условиях длительного сельскохозяйственного использования / С. В. Дыдышко, Т. Н. Азарёнок, О. В. Матыченкова [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1(70). – С. 24–37.

## **IMPROVEMENT OF THE ASSESSMENT SCALE OF SOD-PODZOLIC SOILS FOR SOYBEAN AND MILLET CROPS**

**T. N. Azaronak, O. V. Matychenkova, S. V. Dydyshka**

### **Summary**

The conducted research revealed relationships between soybean and millet grain yields and physical clay content and humus reserves in the studied soils of varying particle size distributions. The correlation coefficients ( $\eta$ ) for soybeans were 0,68 and 0,70, respectively, while those for millet were 0,63 and 0,57. Regression equations were derived for predicting changes in soybean and millet yields based on changes in the values of these parameters and for constructing soil fertility models.

Soybean and millet yield ranges were established for 11 soil varieties of sod-podzolic soils with different particle size distributions and underlying conditions. The highest average long-term soybean yield was observed on deep sod-podzolic medium- and light loamy soils – 28,4 c/ha, the lowest – on deep cohesive sandy soils and soils transitioning to loose – 9,5 c/ha. The highest average millet grain yield was obtained on deep sod-podzolic cohesive sandy loam soils underlain by light and medium loams – 38,6 c/ha, the lowest – on deep cohesive sandy soils transitioning to loose – 14,7 c/ha.

Based on the obtained yield data for soybeans and millet on sod-podzolic soils with light loam, cohesive, loose sandy loam, and cohesive sand textures and statistical processing, a qualitative assessment of these soils was conducted and their fertility scores were calculated. The highest soil quality score for soybeans was obtained for medium and light loamy deep soils – 63, while the lowest – 21 – was obtained for cohesive sandy deep soils and soils transitioning to loose soils. For millet, the highest score was assigned to cohesive sandy loam soils with a deep base of light and medium loams – 60, while the lowest score was assigned to cohesive sandy soils with a deep base of soils transitioning to loose soils – 23. The scores obtained are the initial ones, and to determine the actual score for a specific field or working area, if necessary, correction factors must be applied.

*Поступила 18.03.2026*

УДК 631.415

## **РАСЧЕТНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗВЕШТКОВАНИЯ ПАХОТНЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЛЕГКОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА СИСТЕМЫ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

**А. Л. Киндеев<sup>1,2</sup>, М. В. Воробей<sup>2</sup>, Н. В. Архипова<sup>2</sup>,  
Ю. С. Давыдович<sup>2</sup>, А. А. Якушев<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Институт почвоведения и агрохимии,  
г. Минск, Беларусь*

*<sup>2</sup>Белорусский государственный университет,  
г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Подкисление почвы является одним из основных видов деградации почвенных ресурсов. В настоящее время по разным оценкам кислые почвы занимают от 30 до 40 % сельскохозяйственных земель в мире [1, 2]. В Латинской Америке доля кислых почв достигает 31 %, Восточной Азии – 20 %, а в странах Африки к югу от Сахары – 51 %, также значительная доля кислых почв наблюдается на востоке Северной Америки [3]. Площади кислых почв в Российской Федерации достигают 55–56 млн га (44 % пахотных земель), что связано с генетическими особеннос-

тями почвенного покрова, климатом и интенсивностью сельскохозяйственного использования [4]. Несмотря на то, что кислотность является довольно устойчивым во времени показателем, а влияние однократного внесения  $\text{CaCO}_3$  в ряде случаев наблюдается на протяжении 5–10 [5], а иногда – 15 лет [6], исследования показывают, что среднегодовое снижение  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  у дерново-подзолистых почв составляет 0,029, у дерново-карбонатных – 0,015 [7], что наблюдается также и во многих районах Беларуси.

В Республике Беларусь работы по известкованию почв (83,0 % пахотных земель) начались в 1966–1970 гг. За последующие 40 лет в почвы Беларуси внесено примерно 150 млн т  $\text{CaCO}_3$ , что составляет в среднем 15–20 т/га, и к концу 2010 г. только 5,2 % пашни имели  $\text{pH}$  менее 5,0. После этого государственное финансирование химической мелиорации снизилось и за 10–15 лет начали проявляться признаки подкисления почв и на сегодняшний день около 9,8 % пашни имеют  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  менее 5 [8]. При этом, стоит учитывать, что аналитика по доле кислых почв в структуре сельскохозяйственных земель обобщена по административным районам Беларуси, а минимальной операционной единицей учета является элементарный участок средней площадью 10 га. В связи с этим можно предположить, что при рассмотрении внутрипольных различий доля кислых почв в значительной степени возрастет.

С другой стороны, при интенсивном известковании на протяжении 50-ти лет на территории Беларуси сформировались территории, занимаемые нейтральными (10,2 % пахотных и 14,0 % луговых земель) и слабощелочными (2,6 % пахотных и 6,0 % луговых) почвами, где также происходит снижение эффективности минеральных удобрений [9]. При этом указывается необходимость восстановления требуемых ежегодных объемов внесения до 2,2 млн т  $\text{CaCO}_3$  [9], что несомненно снизит степень подкисления почвы, однако при этом возрастет доля переизвесткованных почв, так как эксперименты показывают, что известкование по элементарным участкам не может в полной мере гарантировать внесение мелиорантов «там, где нужно» [10, 11].

Решением этой двойной проблемы может являться проведение работ по известкованию на более современном технологическом и методологическом уровне, с помощью современных технологий, основанных на методах точного земледелия (с учетом внутрипольных различий), данных дистанционного зондирования и использования геоинформационных систем. В связи с этим целью настоящего исследования является обоснование учета неоднородности кислотности почв при проведении работ по известкованию на легкосуглинистых почвах с использованием методов геостатистики и сравнение методов точечного отбора проб по грид сетке с установленными методами агрохимического обследования земель Республики Беларусь.

## МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Участки исследования представлены двумя сельскохозяйственными полями площадью 18,9 и 30,0 га в Витебском районе Республики Беларусь (рис. 1). На обоих участках преимущественно представлены дерново-подзолистые почвы, развивающиеся на легких водно-ледниковых суглинках, подстилаемых средними и тяжелыми суглинками с глубины 0,5–1,0 м. На участке 1 в северо-восточной

части, где наблюдается понижение рельефа, присутствуют слабogleеватые и глееватые почвы. На участке 2 аналогичные почвы наблюдаются в локальных понижениях площадью от 0,2 до 0,5 га, представленные в центральной части поля.

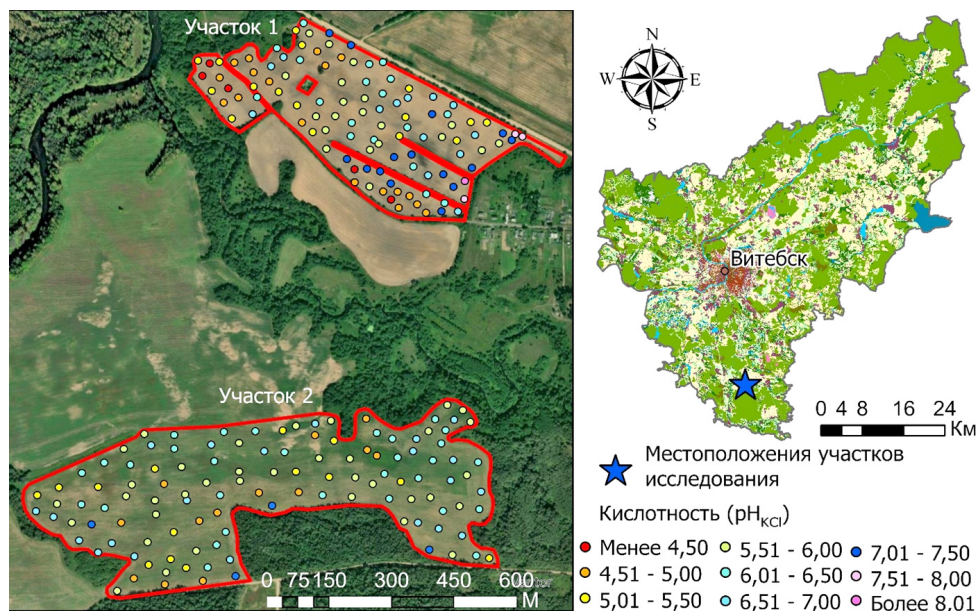


Рис 1. Обзорная карта участков исследования

С участка 1 было отобрано 109 образцов со средним расстоянием между точками в 30 м, а с участка 2 – 119 образцов с расстоянием в 40 м. При составлении сетки пробоотбора были соблюдены два основных правила для использования геостатистики: 1) генеральная совокупность должна составлять минимум около 100 образцов [12] (в ряде случаев данное число может быть незначительно уменьшено); 2) сетка не должна быть равномерной (систематической) [13], но при этом покрывать исследуемую территорию не образуя кластеризации данных. Данный способ отбора почвенных образцов применяется в большинстве западных стран, где внедрены технологии точного земледелия и называется методом точечного отбора проб по грид сетке (англ. grid point sampling) [14]. Точечный отбор проб лучше подходит для выявления закономерностей изменчивости почвы на участке, поскольку все образцы отбираются вблизи геопривязанных точек, а не разбросаны по всей ячейке (элементарному участку). Агрохимические свойства почвы между точками отбора проб рассчитываются с помощью современных геоинформационных методов. Важно учитывать, что многие исследователи считают, что чем меньше расстояние между точками отбора проб, тем надежнее интерполяция [15], однако, при слишком плотной сетке пробоотбора зачастую в модель падают высокочастотные колебания изучаемого свойства, являющиеся «шумом», который значительно уменьшает качество итоговых картограмм, поэтому много дискуссий ведется вокруг соответствующего шага пробоотбора. Исходя из недавних исследований, проводимых в Республике Беларусь, было установлено, что оптимальное среднее расстояние между точками пробоотбора для центральной части Беларуси составляет 60–70 м [16].

Последующий геостатистический анализ кислотности почв исследуемых полей проводился в программном продукте ArcGIS Pro по уже устоявшейся методике, подробно описанной в работах [17, 18]. Здесь стоит указать, что область геостатистики включает в себя работу исключительно с континуально распределенными данными, описывая их с помощью специальных формул и показателей, характеризующих случайное, а не определённое явление в пространстве и не может включать в себя операции, применяемые к дискретным объектам. Являясь наилучшим линейным несмещенным оценителем (НЛНО), кригинг, как основной метод интерполяции в геостатистике, уже на протяжении 70 лет успешно применяется для моделирования почвенных свойств, а с 2018 г. закреплён на законодательном уровне в инструкции по агрохимическому обследованию земель в США [19].

Расчет экономической эффективности работ по известкованию с учетом внутрипольной неоднородности распределения кислотности почв проводился на основании работ Н. В. Клебановича и инструкции по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель [5, 20]. Прибавка урожая рассчитывалась исходя из средних значений по основным культурам, которые составляют для очень кислых почв (рН менее 4,50) 5,9 кормовых единиц (к. ед.), среднекислых (4,51–5,00) – 3,7 к. ед. и для кислых (5,01–5,50) – 2,1 к. ед. [5]. Средняя цена к. ед. по основным культурам составила 328,56 бел. руб., или 111,60 долл. США по курсу на январь 2026 г. и рассчитывалась по Постановлению Минсельхозпрода от 25 марта 2025 г. № 25 «Об установлении фиксированных цен на сельскохозяйственную продукцию (растениеводства) урожая 2025 года, закупаемую для республиканских государственных нужд» и установленных коэффициентов пересчета продукции в к. ед. [21]. Точных нормативов за уборку 1 т к. ед. в Республике Беларусь не установлено, однако, основываясь на данных Минсельхозпрода по расчету заработной платы работников, можно рассчитать, что 1 т к. ед. составляет 53,16 бел. руб., или 18,05 долл. США на январь 2026 г. [22], что сопоставимо с нормативными данными приведенных в монографии Н. В. Клебановича [5].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные о кислотности почвы исследуемых участков прошли традиционную статистическую обработку, исходя из которой было определено, что преобразование данных к нормальному распределению не требуется. При непосредственном использовании простого кригинга были подобраны вариограммы и рассчитаны их основные параметры, представленные в таблице 1.

Таблица 1

**Характеристика вариограмм исследуемых участков**

| Показатель | Вариограмма                          | Наггет-эффект | Порог | Ранг, м         | Остаточная дисперсия, % |
|------------|--------------------------------------|---------------|-------|-----------------|-------------------------|
| Участок 1  | Экспоненциальная                     | 0,00          | 0,615 | 62,3            | 0,00                    |
| Участок 2  | J-Бесселя-J-Бесселя-Экспоненциальная | 0,056         | 0,406 | 115,6/443,9/480 | 13,7                    |

При анализе вариограмм для первого участка была установлена экспоненциальная модель, показавшая наилучшие результаты и позволившая снизить наггет-

эффект до нуля, и, как следствие, нивелировать долю не учтенной дисперсии на картограмме. Ранг составил 62,3 м, что примерно равняется площади отдельных ареалов кислых либо нейтральных и слабощелочных почв, что говорит о резкой смене реакции среды. Также повышение значения дисперсии (0,720) наблюдается на расстояниях 110–120 м, после чего дисперсия выходит на уровень порога и не изменяется.

Второй участок имеет разительные отличия в распределении кислотности. Чередование кислых и нейтральных почв формирует пятнистую пространственную структуру, которую трудно описать только одной моделью. В данном случае применяется сочетание трех вариограмм (двух J-Бесселя и одной экспоненциальной), которые позволяют снизить уровень остаточной дисперсии до 13,7 %, что считается сильной пространственной корреляцией исследуемого показателя. Первая вариограмма J-Бесселя характеризует высокочастотные колебания на малых расстояниях до 115,6 м и включает в себя анизотропию. Анизотропия на данном участке отражает более резкие изменения кислотности с севера на юг, нежели с востока на запад, что вызвано преимущественным направлением движения сельскохозяйственной техники. Последующие вариограммы описывают распределение кислотности на больших расстояниях – резкое увеличение дисперсии хорошо описывается экспоненциальной вариограммой, а колебания – вариограммой J-Бесселя.

Наличие сильной автокорреляции между точками и малые значения наггет-эффекта, позволяют говорить о высокой точности модели и репрезентативности итоговых картограмм, представленных на рисунке 2.

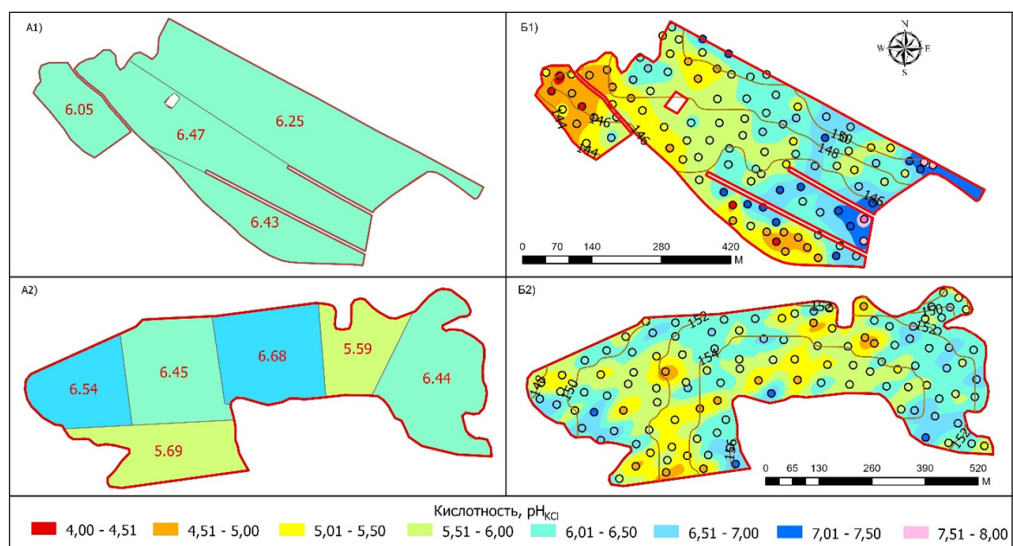


Рис 2. Картограммы кислотности почв построенные по методике:  
А) агрохимического обследования; Б) точечного отбора проб по grid сетке

Реальное пространственное распределение кислотности на участке 1 позволяет выделить 4 основные зоны: 1) кислые (pH<sub>KCl</sub> 5,01–5,50) и среднекислые (pH<sub>KCl</sub> 4,51–5,50) почвы на юго-западе с незначительными ареалами сильнокислых почв (pH<sub>KCl</sub> 4,00–4,50) на относительной ровной части участка с перепадом

высот 1–2 м, где требуются высокие дозы извести; 2) центральная часть участка представленная слабокислыми ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  5,51–6,00) и близкими к нейтральным почвами ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  6,01–6,50), с малыми дозами  $\text{CaCO}_3$  на пологом склоне с перепадами высот 4–6 м; 3) ареалы нейтральных ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  7,01–7,50) и слабощелочных ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  7,51–8,00) почв на северо-востоке у подножья склона, где наблюдается переизвесткование, что вызвано смывом и аккумуляцией питательных веществ, а также влиянием мелиоративных каналов; 4) ареал среднекислых и кислых почв на юге территории, в относительном отдалении от мелиоративного канала, где происходят процессы заболачивания.

Сопоставляя полученные результаты с картограммой элементарных участков, можно отметить полное несоответствие действительности, что вызвано не только смешиванием почвенных образцов, но и конфигурацией самих участков. Так как элементарные участки вытянуты с северо-запада на юго-восток, каждый из них включает как территории очень кислых почв, так и слабощелочных, что в среднем дает кислотность близкую к нейтральной, что и наблюдается на соответствующий картограмме.

Второй участок характеризуется меньшим разбросом значений кислотности ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  от 4,51 до 7,01), однако ареалы кислых почв чередуются с ареалами близких к нейтральным и нейтральным почвам, что делает пространственную структуру сложнее, что было отражено в показателях вариограмм. Незначительные по площади ареалы среднекислых почв приурочены к локальным понижениям с признаками заболачиваемости, кислые почвы, напротив, сосредоточены на повышенных участках, а территории между ними имеют слабокислую или близкую к нейтральной реакцию.

Как и в первом случае, картограммы элементарных участков в значительной степени не соответствует реальной картине распределения кислотности. Можно выделить только самый восточный ЭУ, где среднее значение ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  6,44) соответствует внутрипольной дифференциации кислотности ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  от 6,00 до 7,00), в остальных участках игнорируются ареалы среднекислых и кислых почв, требующих внесения значительных доз извести.

На основании полученных картограмм кислотности были получены карты-задания по внесению  $\text{CaCO}_3$ , представленных на рисунке 3. При построении карт-заданий полученные ареалы были генерализированы в ячейки площадью 6 м<sup>2</sup>, для которых были рассчитаны дозы  $\text{CaCO}_3$  в кг/6 м<sup>2</sup>, для более точного учета необходимого мелиоранта для каждого отдельно взятого квадрата на поле. Данной размер был взят исходя из захвата устройств в 12 м, а, как известно, для описания того или иного явления необходимо иметь 2 значения в экстремумах функции, т. е. половину целевого расстояния, равняющиеся в данном случае 6 м.

Очевидно, что при детальном учете распределения кислотности почв затраты на известкования значительно возрастут для обоих полей и составят 340,08 долл. США для первого участка и 397,68 долл. США для второго, в связи с этим была рассчитана экономическая эффективность проведения данного агротехнического приема (табл. 2). Кроме агрономического и экономического эффекта проведения работ по известкованию имеет экологический эффект, предотвращая подкисление почвы. На участке 1 при установленном агрохимическом обследовании почвы будут подкисляться на всей территории. В свою очередь на участке 2 известкованию будет подвержено только 2 элементарных участка из 6, причем на трех из них будут проигнорированы значительные площади кислых почв

(26,7 % от общей площади поля или 56,3 % от площади этих элементарных участков (8,3 га). Также при внесении мелиоранта на двух элементарных участках, часть  $\text{CaCO}_3$  будет внесена на территории, где известкование не требуется, усиливая подщелачивание почв, что способствует снижению продуктивности земель, а территории, нуждающиеся в известковании, недополучат необходимого количества извести.

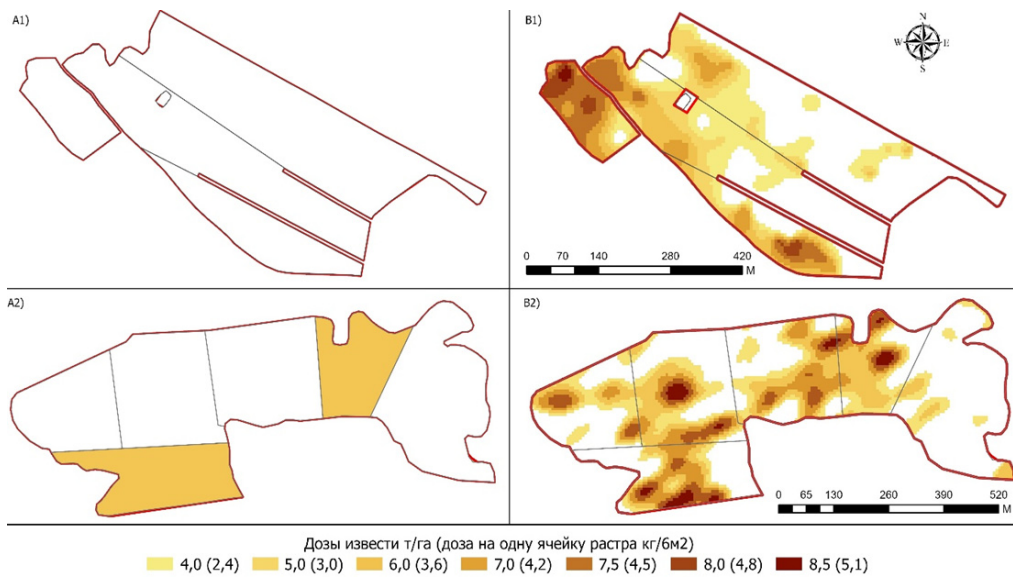


Рис. 3. Карты-задания по известкованию на основе картограмм кислотности

Приведенные расчеты показывают, что средняя рентабельность проведения известкования на исследуемых полях составляет 55,0 и 40,4 % с доходом 249,8 и 208,6 долл. США для первого и второго участка соответственно (13,7 и 6,75 долл. США/га). При рассмотрении отдельных групп кислотности можно заметить высокую рентабельность при известковании I и II групп кислотности – на первом участке эффективность внесения извести на почвах с  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  4,25–4,50 практически в 2 раза выше (135,6 %), чем для почв с  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  4,51–5,00. Значительно падает рентабельность известкования почв III группы кислотности ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  5,01–5,51), при этом на обоих полях заметно, что снижение дозы извести на 1 т для почв с кислотностью 5,26–5,50 увеличивает рентабельность на 6,6 % при одинаковой прибавке урожая. В связи с этим важно подчеркнуть, что разработанные дозы известкования в начале 21 века были направлены на повсеместное решение проблемы подкисления почв. На сегодняшний день в страновом масштабе данная задача была решена, однако сокращение объемов известкования приводит к появлению отдельных ареалов кислых почв, которые не могли быть учтены при установленном агрохимическом обследовании. Поэтому предполагается, что при переходе на внутрипольный учет распределения кислотности дозы известкования для III группы кислотности на легкосуглинистых почвах могут быть пересмотрены в сторону уменьшения на 1,0–1,5 т/га. Такое снижение сократит расходы на внесение извести, без потери экологического эффекта (предотвращение подкисления почв) и повысит экономическую и энергетическую эффективность.

Таблица 2

## Рентабельность известкования кислых почв на исследуемых участках

| pH <sub>KCl</sub> | Пло-<br>щадь,<br>га | Доза<br>известки,<br>т/га | Прибавка<br>урожая,<br>к. ед. в год | Прибавка<br>за 5лет,<br>ц/га | Прибавка<br>за 5 лет,<br>т/га | Стоимость<br>извест-<br>кования,<br>долл. США | Франко-<br>почва,<br>долл.<br>США | Стоимость<br>прибавки<br>за 5 лет,<br>долл. США | Стоимость<br>уборки<br>за 5 лет,<br>долл. США | Всего<br>затрат | Доход | Рента-<br>бель-<br>ность, % |
|-------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-------|-----------------------------|
|                   |                     |                           |                                     |                              |                               |                                               |                                   |                                                 |                                               |                 |       |                             |
| Поле 1            |                     |                           |                                     |                              |                               |                                               |                                   |                                                 |                                               |                 |       |                             |
| 4,425–4,50        | 0,05                | 8,5                       | 5,9                                 | 29,5                         | 3,0                           | 3,3                                           | 4,0                               | 15,3                                            | 2,5                                           | 6,5             | 8,8   | 135,6                       |
| 4,5–4,75          | 0,4                 | 8,0                       | 3,7                                 | 18,5                         | 1,9                           | 25,0                                          | 30,8                              | 77,2                                            | 12,5                                          | 43,2            | 33,9  | 78,5                        |
| 4,75–5,00         | 1,3                 | 7,5                       | 3,7                                 | 18,5                         | 1,9                           | 81,0                                          | 101,0                             | 267,0                                           | 43,2                                          | 144,2           | 122,8 | 85,1                        |
| 5,00–5,25         | 1,4                 | 7,0                       | 2,1                                 | 10,5                         | 1,1                           | 80,9                                          | 102,3                             | 162,2                                           | 26,2                                          | 128,6           | 33,6  | 26,1                        |
| 5,25–5,50         | 1,6                 | 6,0                       | 2,1                                 | 10,5                         | 1,1                           | 77,9                                          | 102,0                             | 182,1                                           | 29,5                                          | 131,4           | 50,7  | 38,6                        |
| 5,50–5,75         | 2,0                 | 5,0                       |                                     |                              |                               |                                               |                                   |                                                 |                                               |                 |       |                             |
| 5,75–6,00         | 3,3                 | 4,0                       |                                     |                              |                               |                                               |                                   |                                                 |                                               |                 |       |                             |
| Более 6,00        | 8,4                 | 0,0                       |                                     |                              |                               |                                               |                                   |                                                 |                                               |                 |       |                             |
| Сумма             | 18,3                | 46,0                      | 17,5                                | 87,5                         |                               | 268,0                                         | 340,1                             | 703,7                                           | 113,8                                         | 453,9           | 249,8 | 55,0                        |
| Поле 2            |                     |                           |                                     |                              |                               |                                               |                                   |                                                 |                                               |                 |       |                             |
| 4,75–5,00         | 0,6                 | 7,5                       | 3,7                                 | 18,5                         | 1,9                           | 36,3                                          | 45,3                              | 119,7                                           | 19,4                                          | 64,7            | 55,1  | 85,1                        |
| 5,00–5,25         | 1,7                 | 7,0                       | 2,1                                 | 10,5                         | 1,1                           | 101,7                                         | 128,7                             | 203,9                                           | 33,0                                          | 161,7           | 42,2  | 26,1                        |
| 5,25–5,50         | 3,4                 | 6,0                       | 2,1                                 | 10,5                         | 1,1                           | 170,8                                         | 223,7                             | 399,6                                           | 64,6                                          | 288,3           | 111,3 | 38,6                        |
| 5,50–5,75         | 5,0                 | 5                         |                                     |                              |                               |                                               |                                   |                                                 |                                               |                 |       |                             |
| 5,75–6,00         | 5,1                 | 4                         |                                     |                              |                               |                                               |                                   |                                                 |                                               |                 |       |                             |
| Более 6,00        | 15,1                | 0                         |                                     |                              |                               |                                               |                                   |                                                 |                                               |                 |       |                             |
| Сумма             | 30,9                | 29,5                      | 7,9                                 | 39,5                         |                               | 308,9                                         | 397,7                             | 723,2                                           | 116,9                                         | 514,6           | 208,6 | 40,5                        |

## ВЫВОДЫ

Вектор задач в последние десятилетие изменился с общей проблемы подкисления почв на применение дифференцированных доз удобрений с учетом потребностей возделываемых культур и агрохимических свойств (особенно кислотности) почв каждого поля [8]. Целесообразно составление сетки пробоотбора для учета неоднородности кислотности и других почвенных свойств, необходимо использовать метод точечного отбора проб по грид сетке (англ. grid point sampling), а построение итоговых картограмм и карт-заданий должно осуществляться не присвоением единого усредненного значения элементарному участку, а путем создания интерполяционных поверхностей методами геостатистики, которые позволяют учесть пространственные взаимосвязи между переменными.

Выявленные расстояния автокорреляции (ранг) отражают территории, где присутствуют связь между переменными в точках пробоотбора, т. е. однородные ареалы заданной площади – 62 м<sup>2</sup> для первого участка и 115 м<sup>2</sup> для второго. Предполагается, что в контексте агрохимического обследования, значения ранга может являться критерием для снижения размерности выборки при последующих работах – достаточно будет взять 1 образец в квадрате обозначенной площади и с учетом предыдущего обследования экстраполировать новые показатели. Однако данная гипотеза требует подтверждения, что является целью последующих исследований.

Локальные особенности распределения кислотности почв показали, что на участках присутствуют ареалы переизвесткованных почв (рН более 7,01), что по ранее проведенным исследованиям также негативно сказывается на урожайности большинства культур. На таких землях ежегодно недобирается 0,41 т к. ед. с га [23].

Вместе с тем, использование современных сортов, адаптированных под конкретные условия, точечное позиционирование сельскохозяйственной техники, использование геоинформационных систем в технологическом процессе, является неотъемлемой составляющей перехода на технологии точного земледелия наряду с учетом внутрипольной неоднородности кислотности почвы. Совокупное использование вышеперечисленных факторов вместе с корректировкой доз внесения извести для III группы кислотности позволит предотвращать подкисление почв, повысить продуктивность земель и, как следствие экономическую и агрономическую рентабельность известкования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Von Uexküll, H. R. E. Global extent, development and economic impact of acid soils / H. R. E. Von Uexküll, E. Mutert // Plant and soil. – 1995. – Т. 171. – №. 1. – P. 1–15.
2. Alemu, E. Effect of lime on selected soil chemical properties, maize (*Zea mays* L.) yield and determination of rate and method of its application in Northwestern Ethiopia / E. Alemu, Y. G. Selassie, B. Yitafaru // Heliyon. – 2022. – Т. 8. – № 1. – 10 p.
3. Molecular approaches unravel the mechanism of acid soil tolerance in plants / M. Bian, M. Zhou, D. Cun [at all.] // The Crop Journal. – 2013. – № 1(2). – P. 91–104.

4. Окорков, В. В. К теории химической мелиорации кислых почв / В. В. Окорков // *Агрохимия*. – 2019. – № 9. – С. 3–17.
5. Клебанович, Н. В. Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Василюк. – Известкование. – 2003. – 323 с.
6. Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability-a meta-analysis / R. Enesi O [et al.] // *Frontiers in Agronomy*. – 2023. – Т. 5. – Р. 1194896.
7. Актуальные вопросы известкования кислых почв Нечерноземья / А. И. Иванов [и др.] // *Агрохимический вестник*. – 2019. – № 6. – С. 3–9.
8. Богдевич, И. М. Итоги и перспективы оптимизации агрохимических показателей плодородия пахотных почв Беларуси / И. М. Богдевич // *Известия Нац. академии наук Беларуси. Сер. аграрных наук*. – 2023. – Т. 61, № 1. – С. 22–33.
9. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020 гг.) / И. М. Богдевич, В. В. Лапа, М. В. Рак [и др.] ; под общ. ред. И. М. Богдевича ; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн. : Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. – 276 с.
10. Воробей, М. В. Геостатистический анализ внутрипольной неоднородности почвенной кислотности для проведения работ по известкованию / М. В. Воробей, А. Л. Киндеев // *Почвоведения и агрохимия*. – 2024. – № 1(72). – С. 27–34.
11. Киндеев, А. Л. Оптимизация севооборотов на основе геостатистического анализа кислотности почвы и данных дистанционного зондирования земель с учетом финансовых издержек / А. Л. Киндеев, Ф. С. Гутько // *Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева*. – 2025. – № 123. – С. 179–212.
12. Oliver, V. A. Sampling in Precision Agriculture / V. A. Oliver, R. Kerry, Z. L. Frogbrook // *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*. – 2010. – Р. 35–63.
13. Дмитриев, Е. А. Математическая статистика в почвоведении: учебник для вузов / науч. ред. Ю. Н. Благовещенский. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2008. – 326 с.
14. Dawson, A. To grid or not to grid – a review of soil sampling strategies. / A. Dawson, O. Knowles // *Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North, New Zealand*, 2018. – 10 p.
15. Flowers, M. Yield-based management zones and grid sampling strategies: describing soil test and nutrient variability / M. Flowers, R. Weisz, J. G. White // *Agronomy Journal*. – 2005. – № 97 – Р. 968–982.
16. Киндеев, А. Л. Геостатистическая оценка пространственной дифференциации свойств почв Ошмянско-Минского почвенно-экологического района: дис. ... канд. геогр. наук: 25.03.01 / Аркадий Леонидович Киндеев; Белорусский государственный университет. – Минск, 2024. – 191 л.
17. Клебанович, Н. В. Геостатистическая оценка вариабельности свойств почв / Н. В. Клебанович, А. Л. Киндеев // *Вестник УдГУ*. – 2018. – Т. 28, № 1. – С. 91–102.
18. Клебанович, Н. В. Геостатистический анализ при картографировании пространственной неоднородности влажности и кислотности почв / Н. В. Клебанович, А. Л. Киндеев, А. А. Сазонов // *Геосферные исследования*. – 2021. – № 3. – С. 80–91.
19. Ditzler, C. Soil survey manual – Washington: United States Dep. of Agriculture / C. Ditzler, K. Scheffe, H. C. Monger. – United States, 2017. – 604 p.

20. Инструкция по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель / В. В. Лапа, Г. В. Пироговская, И. М. Богдевич [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – 2019. – 31 с.

21. Справочника агрохимика / В. В. Лапа, Н. Н. Цыбулько, М. В. Рак [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.

22. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь [электронный ресурс] Примерное Положение об оплате труда работников. – URL: <https://mshp.gov.by/ru/commercial-ru/view/primernoe-polozhenie-ob-oplate-truda-rabotnikov-2929/> (дата обращения: 26.01.2026).

23. Агрохимия: учебник для сельхоз. специальностей вузов / И. Р. Вильдфлуш, С. П. Кукреш, В. А. Ионас [и др.]. – Мн.: Ураджай, 1995. – 480 с.

## **ESTIMATED ECONOMIC EFFICIENCY OF LIMING OF SOD-PODZOLIC SOD-PODZOLIC SOILS DURING TRANSITION TO PRECISION FARMING SYSTEMS**

**A. L. Kindeev, M. V. Vorobey, N. V. Arkhipova,  
Yu. S. Davydovich, A. A. Yakushev**

### **Summary**

This study examines the need to consider in-field soil acidity distribution characteristics during liming, using two agricultural fields (18,6 and 30 hectares) with sod-podzolic light loamy soils as an example. A rationale is provided for transitioning to a more modern methodological and technological level of  $\text{CaCO}_3$  application, based on modern methods of processing and analyzing geodata and geostatistics. The features of grid point sampling and its advantages over the elementary plot method are described. Calculations show that the average profitability of liming in the studied fields is 55,0 and 40,4 %, with an income of \$249,8 and \$208,6 for the first and second plots, respectively (\$13,7 and \$6,75/ha). Based on the calculations, it is suggested that it is necessary to reduce the liming doses when taking into account the spatial distribution of soil acidity in the field for acidity group III.

*Поступила 16.02.2026*

## 2. ПЛОДРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.8:631.582:633.112.9

### СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗВЕНЬЯХ СЕВООБОРОТОВ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ ИНТЕНСИФИКАЦИИ

Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш, А. А. Грачева, С. М. Зенькова

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

#### ВВЕДЕНИЕ

Озимая пшеница – одна из наиболее продуктивных и ценных культур, зерно которой используется для продовольственных целей. В Республике Беларусь в последние годы посевные площади под этой культурой составляют порядка 600 тыс. га, или 27 % всей площади пашни [1]. Аграрной наукой производству предложены технологии возделывания озимой пшеницы с потенциалом продуктивности новых сортов на уровне 100 ц/га. Однако, средняя урожайность зерна по стране за последние годы не превышает 40 ц/га (рис. 1). Такой низкий уровень урожайности зачастую обусловлен не только нарушениями технологии возделывания культуры, но и складывающимися условиями перезимовки посевов и недостаточно эффективной системой удобрения в весенне-летний период.

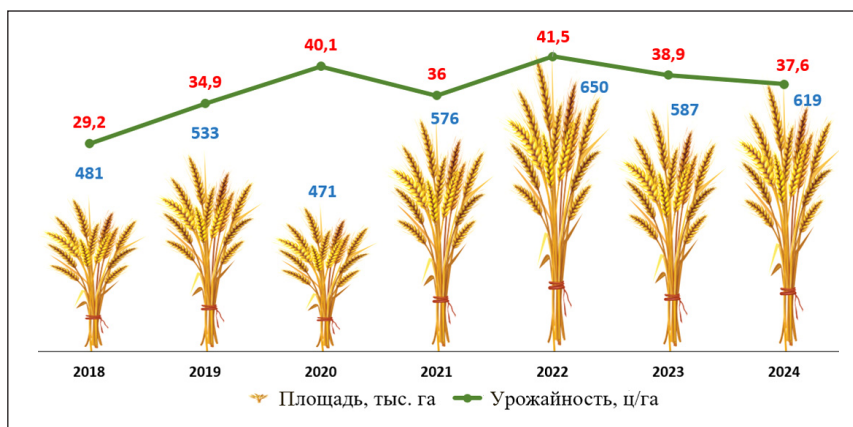


Рис. 1. Посевные площади и урожайность озимой пшеницы в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь

В комплексе агротехнических мероприятий, способствующих получению высокой урожайности продовольственного зерна озимой пшеницы, удобрения играют

ведущую роль. Научное обоснованное их использование позволяет улучшать качество зерна, повышать его белковость, содержание клейковины и технологические свойства. Положительное действие удобрений на озимой пшенице проявляется с достаточной полнотой только на хорошо окультуренных почвах с реакцией среды, близкой к нейтральной [2]. По данным последнего тура агрохимических исследований установлено, что доля суглинистых почв, высокообеспеченных подвижным фосфором (более 400 мг/кг почвы) и калием (более 300 мг/кг почвы), составляет соответственно около 4,4 % (42,2 тыс. га) и 32,2 % (309,0 тыс. га) общей обследуемой площади пашни [3].

Оптимизация минерального питания по этапам онтогенеза растений зерновых культур позволяет в большей степени реализовать генетический потенциал их продуктивности и снизить удельные затраты элементов питания на формирование урожайности. Важным условием повышения эффективности возделывания зерновых культур является повышение их устойчивости к погодно-климатическим изменениям, основанное на проведении адаптационных мер, направленных на предотвращение потерь урожая от неблагоприятных условий. В связи с чем современные системы удобрения зерновых культур, возделываемых в севооборотах на высоко окультуренных почвах, наряду со сбалансированным применением органических, минеральных удобрений и средств защиты растений, должны предусматривать и более интенсивное использование микроудобрений, органо-минеральных удобрений, стимуляторов роста и т.п. Комплексное их использование в системе удобрения за счет стимуляции метаболизма и усвоения питательных веществ позволит существенно повысить сбор продукции высокого качества.

Цель исследований заключалась в установлении наиболее эффективных агротехнологических приемов возделывания озимой пшеницы на высокоокультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2022–2023 гг. в стационарном технологическом опыте на высоко окультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области в звене стационарного зернопропашного севооборота: кукуруза на зеленую массу (2020–2021 гг.) – яровая пшеница (2021–2022 гг.) – озимый рапс (2022–2023 гг.) – озимая пшеница (2023–2024 гг.). Первую культуру севооборота (кукурузу на зеленую массу) возделывали по трем технологиям: минеральная, органоминеральная с внесением навоза, органоминеральная биологизированная с заделкой сидерата.

Почва (Апах.) опытного участка характеризовалась следующим усредненным уровнем агрохимических показателей: рН – 6,35, содержание гумуса – 2,6 %, подвижных форм фосфатов – 709 мг/кг и калия – 279 мг/кг почвы. Почва характеризуется оптимальным для сельскохозяйственных культур уровнем кислотности и содержания калия, средним – гумуса, очень высоким – фосфора [3].

Опыт был проведен в 2 полях. Схема опыта включала 15 вариантов в 4-кратной повторности. Общая площадь каждой делянки – 24 м<sup>2</sup>. Норма высева – 192 кг/га. Соломистый навоз КРС в дозе 60 т/га и сидерат (зеленая масса редьки масличной) внесены под кукурузу.

Озимую пшеницу сорта Элегия возделывали в двух последовательно открывающихся полях. Обработка почвы включала вспашку и предпосевную культивацию на глубину 10–12 см. Агротехника возделывания озимой пшеницы общепринятая в центральной зоне Беларуси для дерново-подзолистых суглинистых почв [4, 5].

Минеральные удобрения – аммонизированный суперфосфат и хлористый калий внесены в основное внесение. Азотные удобрения применяли согласно схеме опыта в три срока – при возобновлении вегетации, фазу 1-го узла, флаг-листа и в четыре срока – при посеве, возобновлении вегетации, фазу 1-го узла, флаг-листа. Кроме того, в качестве некорневой подкормки посевов озимой пшеницы применяли: микроудобрение МикроСтим-Медь, Марганец (1,0 + 1,0 л/га) – в фазы 1-го узла и флаг-листа; стимулятор роста растений Экогум АФ – в начале возобновления вегетации (2,0 л/га) и фазе флаг-листа (2,0 л/га).

Экогум АФ, стимулятор роста растений (СР) – это гуминовое удобрение нового поколения с повышенной способностью проникновения через клеточные мембраны и большей физиологической активностью по сравнению с аналогами. Гуминовые и фульвокислоты, входящие в состав Экогум АФ, оказывают непосредственное влияние на клеточные оболочки, повышая их проницаемость и транспорт минеральных соединений в активные метаболические места. Препарат содержит: гуминовые кислоты 40 г/л и фульвокислоты, азот (N – 200 г/л), фосфор ( $P_2O_5$  – 90 г/л) и более 30 элементов минеральных и органических веществ [6].

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).

При уборке культуры с каждой делянки опытного участка были отобраны растительные образцы для определения содержания сухого вещества (высушиванием в сушильном шкафу при температуре 100–105°C) и элементов питания. В растительных образцах из одной навески после мокрого озоления по методу ЦИНАО (1976) определяли: содержание общего азота – фотоколориметрически (индофенольным методом) (ГОСТ 13496.4-93), фосфора (ванадомолибдатным методом) (ГОСТ 26657-85); калия – на атомно-абсорбционном спектрофотометре (ГОСТ 26570-95); содержание белка и клейковины в основной продукции – на инфракрасном спектрофотометре «Infraneo».

Немаловажное значение в закладке урожая озимых культур имеют условия перезимовки растений и оценка состояния растений к фазе начала возобновления вегетации (ВВВ). Состояние посевов оценивается как отличное и хорошее, если количество живых растений озимой пшеницы составляет порядка 300–400 шт./м<sup>2</sup>. В наших исследованиях в 2023 году количество растений составило порядка 450–500 штук на 1 м<sup>2</sup>, а в 2024 г. – порядка 240 штук на 1 м<sup>2</sup>, т. е. с зимовки посевы вышли несколько изреженными.

Как известно, на формирование урожая большое влияние оказывает водный и температурный режимы почв и воздуха в течение вегетационного периода растений [7]. Так, апрель, июль и август 2023 года характеризовались достаточным количеством выпавших осадков – 88–145 % нормы (среднепогодный показа-

тель на фоне благоприятных среднесуточных температур (ГТК 1,4-> 1,6). Май был сухим и прохладным – выпало всего 10 % нормы при снижении среднесуточных температур на 1,3°C (ГТК 0,4). В июне количество выпавших осадков составило всего лишь 57 % нормы (ГТК 0,8) (рис. 2–3).

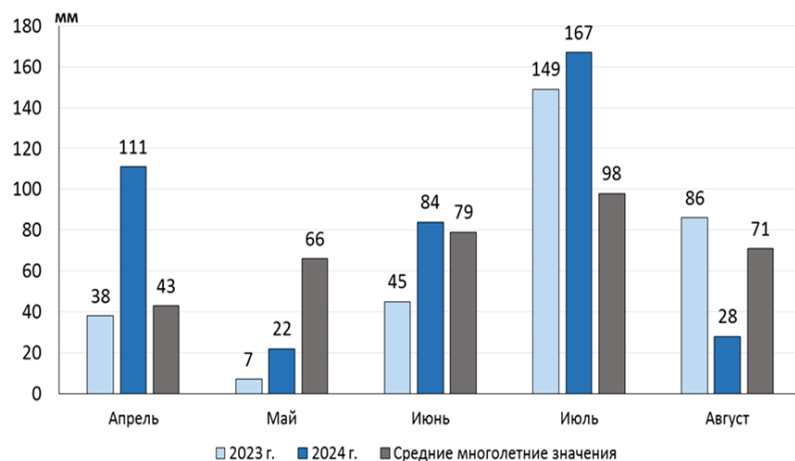


Рис. 2. Количество выпавших осадков за вегетационные периоды

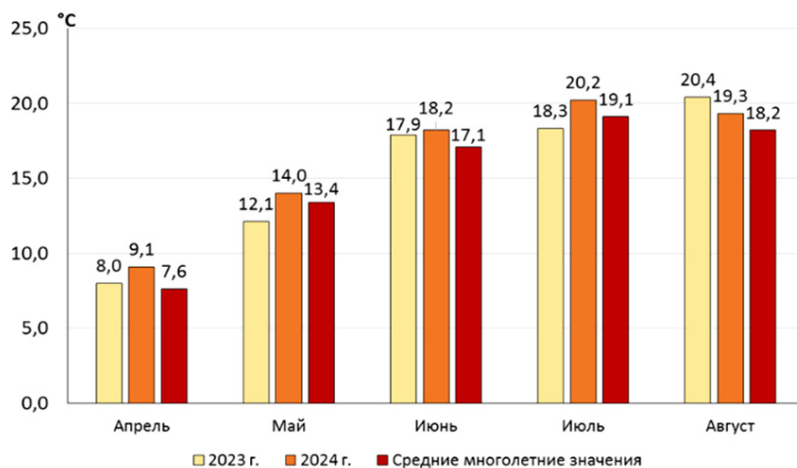


Рис. 3. Температурный режим вегетационных периодов

Вегетационный период 2024 г. отличался значительным количеством выпавших осадков и более высоким температурным фоном, что оказало благоприятное влияние на рост и развитие растений озимой пшеницы и способствовало получению урожая зерна на 22 % выше по отношению к таковому в предыдущем году (несмотря на менее благоприятные условия перезимовки посевов). В апреле и июле выпало соответственно в 2,6 и 1,7 раз больше нормы осадков на фоне благоприятных среднесуточных температур (ГТК > 1,6) при оптимальном июне (ГТК 1,3). В мае количество выпавших осадков составило 33 % (ГТК 0,6), в августе – 39 % нормы (ГТК 0,5) (рис. 2–3).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как уже было отмечено, погодные условия внесли определенные коррективы на уровень сформированного урожая зерна. В погодных условиях вегетационного периода 2023 г. средняя урожайность зерна по опыту составила 58,0 ц/га, что в 1,2 раза меньше по отношению к показателю 2024 г. (70,8 ц/га) (табл. 1).

Таблица 1

**Эффективность систем удобрения при возделывании озимой пшеницы  
на дерново-подзолистой суглинистой почве**

| Вариант                                          | Урожайность зерна, ц/га |         |         | Прибавка к фону, ц/га зерна | Урожайность соломы, ц/га (2023–2024 гг.) | Оплата 1 кг N/NPK урожаем зерна, кг |
|--------------------------------------------------|-------------------------|---------|---------|-----------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|
|                                                  | 2023 г.                 | 2024 г. | средняя |                             |                                          |                                     |
| Без удобрений – Фон 1                            | 39,1                    | 45,1    | 42,1    | –                           | 28,5                                     | –                                   |
| $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^*$             | 54,3                    | 81,0    | 67,7    | 25,6                        | 47,3                                     | 10,2                                |
| $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$          | 64,9                    | 83,7    | 74,3    | 32,2                        | 44,8                                     | 12,9                                |
| $N_{20+60+40+40}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$         | 62,3                    | 77,7    | 70,0    | 27,9                        | 44,5                                     | 11,2                                |
| $N_{20+60+40+40} + м/у^{**}$                     | 58,7                    | 69,3    | 64,0    | 21,9                        | 43,3                                     | 13,7                                |
| Подстилочный навоз (3-й г. ПД***) – Фон 2        | 42,7                    | 46,3    | 44,5    | –                           | 22,4                                     | –                                   |
| Фон 2 + $N_{0+70+40+50}P_{20}K_{35} + м/у^*$     | 54,8                    | 81,0    | 67,9    | 23,4                        | 42,9                                     | 10,9                                |
| Фон 2 + $N_{0+70+40+50}P_{20}K_{35} + м/у^{**}$  | 65,3                    | 84,9    | 75,1    | 30,6                        | 45,5                                     | 14,2                                |
| Фон 2 + $N_{20+60+40+40}P_{20}K_{35} + м/у^{**}$ | 69,4                    | 82,1    | 75,8    | 31,3                        | 46,0                                     | 14,6                                |
| Фон 2 + $N_{20+60+40+40} + м/у^{**}$             | 66,5                    | 83,9    | 75,2    | 30,7                        | 42,2                                     | 19,2                                |
| Сидерат (3-й г. ПД***) – Фон 3                   | 40,0                    | 40,5    | 40,3    | –                           | 21,9                                     | –                                   |
| Фон 3 + $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^*$     | 54,9                    | 69,9    | 62,4    | 22,0                        | 43,2                                     | 8,8                                 |
| Фон 3 + $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$  | 66,7                    | 71,5    | 69,1    | 28,8                        | 43,1                                     | 11,5                                |
| Фон 3 + $N_{20+60+40+40}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$ | 67,4                    | 73,0    | 70,2    | 29,9                        | 39,7                                     | 12,0                                |
| Фон 3 + $N_{20+60+40+40} + м/у^{**}$             | 62,3                    | 72,2    | 67,3    | 27,0                        | 42,0                                     | 16,9                                |
| Фактор А (фон) – НСР <sub>05</sub>               | $F_{факт.} < F_{05}$    | 5,3     | 5,0     | –                           | 4,6                                      | –                                   |
| Фактор В (удобрения) – НСР <sub>05</sub>         | 6,8                     | 4,1     | 4,5     |                             | 4,2                                      |                                     |

\* Микроудобрение.

\*\* Микроудобрение + стимулятор роста.

\*\*\* Последствие.

Урожайность зерна озимой пшеницы в фоновых вариантах варьировала в пределах 40,3–44,5 ц/га, соломы – 21,9–28,5 ц/га. Применение изучаемых систем удобрения способствовало существенному повышению урожайности как основной, так и побочной продукции. На минеральном фоне (Фон 1) применение удобрений обеспечило получение 64,0–74,3 ц/га зерна и 43,3–47,3 ц/га соломы.

Максимальные прибавки к фону на уровне 27,9–32,2 ц/га зерна отмечены в вариантах с применением полной минеральной системы удобрения ( $N_{0/20+90/70+40+50}P_{30}K_{60}$ ) в комплексе с микроудобрением, а также – дополнительным использованием стимулятора роста. Соотношение зерно/солома в этих вариантах

составило 1,6–1,7: 1 при окупаемости 1 кг минеральных удобрений 10,2–12,9 кг зерна.

Эффективность минеральных систем удобрения на фоне 3-го года последствия сидерата в целом равнозначна таковой на минеральном фоне – урожайность зерна по фону варьировала в пределах 62,4–70,2 ц/га. Максимальные прибавки к фону на уровне 27,0–29,9 ц/га зерна характерны для полных минеральных систем ( $N_{0/20+90/70+40+50}P_{30}K_{60}$ ) в сочетании с микроудобрением и стимулятором роста. Сбор соломы по фону составил 39,7–43,2 ц/га при соотношении зерно/солома 1,4–1,8: 1. Окупаемость 1 кг NPK составила 8,8–12,0 кг зерна пшеницы.

Эффективность изучаемых систем удобрения в большей мере проявилась на фоне 3-го года последствия соломистого навоза – урожайность зерна озимой пшеницы составила 67,9–75,8 ц/га с максимальной прибавкой (31,3 ц/га) при применении  $N_{20+60+40+40}P_{20}K_{35} + м/у + СР$ . Урожайность соломы по фону составила 42,2–46,0 ц/га при соотношении зерно/солома 1,6–1,8: 1 (табл. 1). В вариантах с применением полной системы удобрения каждый килограмм минеральных удобрений окупался 10,9–14,6 кг зерна.

Моноазотные системы удобрения на фонах с последствием навоза и сидерата не уступали полным по уровню урожайности, а каждый килограмм азота окупался 16,9–19,2 кг зерна. При этом отмечено, что на фоне без использования органических удобрений при моноазоте отмечено достоверное снижение урожайности зерна на 6,0 ц/га при окупаемости 1 кг азота 13,7 кг зерна (табл. 1).

В среднем за 2 года исследований отмечен достоверный рост урожайности зерна (на 6,6–7,2 ц/га) на всех изучаемых фонах от двукратного применения на посевах стимулятора роста растений Экогум АФ (табл. 1). Стоит отметить, что эффективность применения препарата в большей мере проявилась в менее благоприятных условиях вегетационного периода 2023 г. Некорневые обработки посевов в начале возобновления вегетации и фазу начала флагового листа (когда формируется около 75 % фотосинтезирующей поверхности растения) в условиях недостатка влаги способствовали достоверному росту урожая зерна на 19–22 %. В условиях достаточной увлажненности и повышенного температурного фона применение стимулятора роста было менее эффективно, прирост урожайности составил 2–5 %.

Зерно пшеницы характеризовалось хорошими показателями качества. Наименьшее содержание белка (9,6–10,9 %) отмечено в зерне, полученного на изучаемых фонах. В вариантах с последствием навоза и сидерата установлено достоверное увеличение белковости зерна культуры на 1,1–1,3 % (табл. 2).

Применение азотных удобрений в составе полного удобрения обеспечило по опыту получение зерна с содержанием белка 12,7–13,2 %, различия между вариантами недостоверны.

Зерно, полученное в варианте без удобрений и на фоне последствия сидерата с содержанием клейковины на уровне 23,4–23,7 %, относится к 3-му классу качества. Отмечено, что практически при всех изучаемых минеральных системах удобрения полученное зерно соответствует 2-му классу качества (содержание клейковины не менее 28 %). Максимальные значения показателя (30,0–30,3 %) характерны для минеральных систем удобрения на фоне последствия соломистого навоза. Моноазотная система удобрения по влиянию на содержание белка и клейковины не уступала полным, значения сопоставимы (табл. 2).

Таблица 2

## Показатели качества зерна озимой пшеницы

| Вариант                                          | Содержание, %        |            | Выход, ц/га |                 |
|--------------------------------------------------|----------------------|------------|-------------|-----------------|
|                                                  | белка                | клейковины | белка       | кормовых единиц |
| Без удобрений – Фон 1                            | 9,6                  | 23,7       | 3,5         | 57,3            |
| $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^*$             | 12,9                 | 28,4       | 7,5         | 92,0            |
| $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$          | 13,0                 | 28,0       | 8,3         | 101,0           |
| $N_{20+60+40+40}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$         | 13,0                 | 27,5       | 7,8         | 95,2            |
| $N_{20+60+40+40} + м/у^{**}$                     | 12,9                 | 27,2       | 7,1         | 87,0            |
| Подстилочный навоз (3-й г. ПД***) – Фон 2        | 10,9                 | 22,0       | 4,2         | 60,5            |
| Фон 2 + $N_{0+70+40+50}P_{20}K_{35} + м/у^*$     | 12,9                 | 29,2       | 7,5         | 92,3            |
| Фон 2 + $N_{0+70+40+50}P_{20}K_{35} + м/у^{**}$  | 13,1                 | 29,9       | 8,4         | 102,1           |
| Фон 2 + $N_{20+60+40+40}P_{20}K_{35} + м/у^{**}$ | 13,2                 | 30,3       | 8,6         | 103,0           |
| Фон 2 + $N_{20+60+40+40} + м/у^{**}$             | 13,1                 | 30,0       | 8,4         | 102,3           |
| Сидерат (3-й г. ПД***) – Фон 3                   | 10,7                 | 23,4       | 3,7         | 54,7            |
| Фон 3 + $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^*$     | 12,7                 | 28,6       | 6,8         | 84,9            |
| Фон 3 + $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$  | 12,9                 | 28,9       | 7,6         | 94,0            |
| Фон 3 + $N_{20+60+40+40}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$ | 12,9                 | 29,3       | 7,8         | 95,5            |
| Фон 3 + $N_{20+60+40+40} + м/у^{**}$             | 12,9                 | 29,2       | 7,4         | 91,5            |
| Фактор А (фон) – НСР <sub>05</sub>               | 0,3                  | 1,0        | –           |                 |
| Фактор В (удобрение) – НСР <sub>05</sub>         |                      | 0,9        |             |                 |
| Взаимодействие – НСР <sub>05</sub>               | $F_{факт.} < F_{05}$ | 2,2        |             |                 |

\* Микроудобрение.

\*\* Микроудобрение + стимулятор роста.

\*\*\* Последствие.

Анализ химического состава растительных образцов озимой пшеницы показал, что в зерне содержится 1,40–2,19 % азота, 0,78–0,90 % фосфора и 0,41–0,48 % калия, в соломе – 0,70–0,87 % азота, 0,11–0,17 % фосфора и 0,81–1,20 % калия (табл. 3).

Таблица 3

## Содержание основных элементов питания в зерне и соломе озимой пшеницы, %

| Варианты опыта                                   | Зерно |                               |                  | Солома |                               |                  |
|--------------------------------------------------|-------|-------------------------------|------------------|--------|-------------------------------|------------------|
|                                                  | N     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N      | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Без удобрений – Фон 1                            | 1,40  | 0,90                          | 0,48             | 0,75   | 0,13                          | 0,81             |
| $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^*$             | 2,06  | 0,81                          | 0,42             | 0,74   | 0,11                          | 0,98             |
| $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$          | 2,02  | 0,82                          | 0,45             | 0,76   | 0,12                          | 1,00             |
| $N_{20+60+40+40}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$         | 1,94  | 0,84                          | 0,46             | 0,83   | 0,12                          | 1,09             |
| $N_{20+60+40+40} + м/у^{**}$                     | 1,95  | 0,82                          | 0,45             | 0,77   | 0,12                          | 1,04             |
| Подстилочный навоз (3-й г. ПД***) – Фон 2        | 1,41  | 0,82                          | 0,46             | 0,74   | 0,16                          | 0,94             |
| Фон 2 + $N_{0+70+40+50}P_{20}K_{35} + м/у^*$     | 2,18  | 0,78                          | 0,44             | 0,87   | 0,13                          | 1,16             |
| Фон 2 + $N_{0+70+40+50}P_{20}K_{35} + м/у^{**}$  | 2,19  | 0,78                          | 0,42             | 0,85   | 0,15                          | 1,11             |
| Фон 2 + $N_{20+60+40+40}P_{20}K_{35} + м/у^{**}$ | 2,15  | 0,79                          | 0,44             | 0,82   | 0,17                          | 1,14             |
| Фон 2 + $N_{20+60+40+40} + м/у^{**}$             | 2,10  | 0,81                          | 0,41             | 0,80   | 0,13                          | 1,20             |
| Сидерат (3-й г. ПД***) – Фон 3                   | 1,46  | 0,82                          | 0,48             | 0,70   | 0,13                          | 0,83             |

Окончание табл. 3

| Варианты опыта                                                           | Зерно                                |                                      |                  | Солома |                                      |                  |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------|--------|--------------------------------------|------------------|
|                                                                          | N                                    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>        | K <sub>2</sub> O | N      | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>        | K <sub>2</sub> O |
| Фон 3 + N <sub>0+70+40+50</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> + м/у*   | 1,93                                 | 0,84                                 | 0,47             | 0,81   | 0,13                                 | 1,05             |
| Фон 3 + N <sub>0+70+40+50</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> + м/у**  | 2,09                                 | 0,83                                 | 0,46             | 0,74   | 0,12                                 | 1,00             |
| Фон 3 + N <sub>20+60+40+40</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> + м/у** | 1,98                                 | 0,83                                 | 0,46             | 0,84   | 0,13                                 | 1,04             |
| Фон 3 + N <sub>20+60+40+40</sub> + м/у**                                 | 2,00                                 | 0,82                                 | 0,44             | 0,79   | 0,12                                 | 0,97             |
| Фактор А (фон) – НСР <sub>05</sub>                                       | 0,13                                 | 0,05                                 | 0,03             | 0,06   | 0,03                                 | 0,11             |
| Фактор В (удобрение) – НСР <sub>05</sub>                                 | 0,12                                 | F <sub>факт.</sub> < F <sub>05</sub> |                  | 0,05   | F <sub>факт.</sub> < F <sub>05</sub> |                  |
| Взаимодействие – НСР <sub>05</sub>                                       | F <sub>факт.</sub> < F <sub>05</sub> |                                      |                  | 0,13   |                                      |                  |

\* Микроудобрение.

\*\* Микроудобрение + стимулятор роста.

\*\*\* Последствие.

На основании полученных экспериментальных данных рассчитаны показатели выноса основных элементов питания озимой пшеницей. Наименьшие показатели хозяйственного выноса элементов питания характерны для фоновых вариантов: N – 63,5–68,7 кг/га, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 30,9–35,6, K<sub>2</sub>O – 31,7–36,5 кг/га (табл. 4).

Таблица 4

**Вынос основных элементов питания озимой пшеницей**

| Вариант                                                                  | Хозяйственный вынос, кг/га |                               |                  | Удельный вынос, кг/т |                               |                  |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|------------------|
|                                                                          | N                          | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N                    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Без удобрений – Фон 1                                                    | 68,7                       | 35,6                          | 36,5             | 16,3                 | 8,4                           | 8,7              |
| N <sub>0+70+40+50</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> + м/у*           | 148,9                      | 51,5                          | 63,5             | 22,0                 | 7,6                           | 9,4              |
| N <sub>0+70+40+50</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> + м/у**          | 157,8                      | 56,7                          | 66,3             | 21,2                 | 7,6                           | 8,9              |
| N <sub>20+60+40+40</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> + м/у**         | 148,1                      | 54,7                          | 68,7             | 21,2                 | 7,8                           | 9,8              |
| N <sub>20+60+40+40</sub> + м/у**                                         | 135,5                      | 49,4                          | 62,5             | 21,2                 | 7,7                           | 9,8              |
| Подстилочный навоз (3-й г. ПД***) – Фон 2                                | 67,7                       | 34,4                          | 35,3             | 15,2                 | 7,7                           | 7,9              |
| Фон 2 + N <sub>0+70+40+50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>35</sub> + м/у*   | 158,7                      | 50,4                          | 67,3             | 23,4                 | 7,4                           | 9,9              |
| Фон 2 + N <sub>0+70+40+50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>35</sub> + м/у**  | 173,9                      | 56,0                          | 69,8             | 23,2                 | 7,5                           | 9,3              |
| Фон 2 + N <sub>20+60+40+40</sub> P <sub>20</sub> K <sub>35</sub> + м/у** | 171,8                      | 57,8                          | 72,3             | 22,7                 | 7,6                           | 9,5              |
| Фон 2 + N <sub>20+60+40+40</sub> + м/у**                                 | 164,2                      | 56,8                          | 69,1             | 21,8                 | 7,6                           | 9,2              |
| Сидерат (3-й г. ПД***) – Фон 3                                           | 63,5                       | 30,9                          | 31,7             | 15,8                 | 7,7                           | 7,9              |
| Фон 3 + N <sub>0+70+40+50</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> + м/у*   | 132,8                      | 49,6                          | 63,5             | 21,3                 | 8,0                           | 10,2             |
| Фон 3 + N <sub>0+70+40+50</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> + м/у**  | 150,9                      | 53,8                          | 63,5             | 21,8                 | 7,8                           | 9,2              |
| Фон 3 + N <sub>20+60+40+40</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> + м/у** | 147,5                      | 54,1                          | 62,3             | 21,0                 | 7,7                           | 8,9              |
| Фон 3 + N <sub>20+60+40+40</sub> + м/у**                                 | 143,2                      | 51,7                          | 59,7             | 21,3                 | 7,7                           | 8,9              |

\* Микроудобрение.

\*\* Микроудобрение + стимулятор роста.

\*\*\* Последствие.

С повышением уровня минерального питания вынос элементов питания растениями пшеницы увеличился, составив по опыту: N – 132,8–173,9 кг/га, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 49,4–57,8, K<sub>2</sub>O – 59,7–72,3 кг/га. Удельный вынос элементов в фоновых вариантах составил: N – 15,2–16,3 кг/га, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 7,7–8,4, K<sub>2</sub>O – 7,9–8,7 кг/га. При минеральных и органоминеральных системах удобрения удельный вынос из-

менялся в следующих пределах: N – 21,0–23,4 кг/га, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 7,4–8,0, K<sub>2</sub>O – 8,9–10,2 кг/га. Согласно обобщенным справочным данным [8], с 1 т зерна озимой пшеницы и соответствующим количеством соломы в среднем выносятся 28,2 кг азота, 10,8 кг фосфора и 19,2 кг калия. При системах удобрения, обеспечивших в условиях опыта получение максимальной урожайности зерна на уровне 70–76 ц/га, удельный вынос в среднем составил: N – 21,9 кг/га, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 7,7, K<sub>2</sub>O – 9,3 кг/га. Данный удельный вынос элементов питания озимой пшеницей является сортовой особенностью в условиях проведения опыта (табл. 4).

Расчет экономической эффективности [9] возделывания озимой пшеницы показал, что за счет применения полных минеральных систем удобрения условная прибыль составила 93–160 руб./га при рентабельности 33–52 %. Моноазотная система удобрения оказалась не менее эффективной: при применении N<sub>20+60+40+40</sub> в комплексе с микроудобрением и стимулятором роста условная прибыль составила 104 руб./га при рентабельности 49 % (табл. 5).

Таблица 5

**Экономическая эффективность систем удобрения при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой суглинистой почве**

| Вариант                                                                  | Прибавка к контролю, ц/га | Стоимость дополнительной продукции, руб./т | Всего затрат, руб./га | Условная прибыль, руб./га | Рентабельность, % |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------|
| Без удобрений – Фон 1                                                    | –                         |                                            |                       |                           |                   |
| N <sub>0+70+40+50</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> + м/у*           | 25,6                      | 372                                        | 279                   | 93                        | 33                |
| N <sub>0+70+40+50</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> + м/у**          | 32,2                      | 468                                        | 308                   | 160                       | 52                |
| N <sub>20+60+40+40</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> + м/у**         | 27,9                      | 406                                        | 294                   | 112                       | 38                |
| N <sub>20+60+40+40</sub> + м/у**                                         | 21,9                      | 318                                        | 214                   | 104                       | 49                |
| Подстилочный навоз (3-й г. ПД***) – Фон 2                                | 2,4                       | 31                                         | 43                    | –8                        | –                 |
| Фон 2 + N <sub>0+70+40+50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>35</sub> + м/у*   | 25,8                      | 410                                        | 259                   | 151                       | 58                |
| Фон 2 + N <sub>0+70+40+50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>35</sub> + м/у**  | 33,0                      | 525                                        | 289                   | 236                       | 82                |
| Фон 2 + N <sub>20+60+40+40</sub> P <sub>20</sub> K <sub>35</sub> + м/у** | 33,7                      | 536                                        | 392                   | 244                       | 84                |
| Фон 2 + N <sub>20+60+40+40</sub> + м/у**                                 | 33,1                      | 527                                        | 251                   | 276                       | 110               |
| Сидерат (3-й г. ПД***) – Фон 3                                           | –1,8                      | –                                          |                       |                           |                   |
| Фон 3 + N <sub>0+70+40+50</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> + м/у*   | 20,3                      | 323                                        | 262                   | 61                        | 24                |
| Фон 3 + N <sub>0+70+40+50</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> + м/у**  | 27,0                      | 430                                        | 291                   | 139                       | 48                |
| Фон 3 + N <sub>20+60+40+40</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> + м/у** | 28,1                      | 447                                        | 294                   | 153                       | 52                |
| Фон 3 + N <sub>20+60+40+40</sub> + м/у**                                 | 25,2                      | 401                                        | 225                   | 176                       | 78                |

\* Микроудобрение.

\*\* Микроудобрение + стимулятор роста.

\*\*\* Последствие.

За счет естественного плодородия и питательных веществ, поступивших с навозом КРС (3-й год последействия) получена статистически недостоверная прибавка урожая (2,4 ц/га) при НСР 5,0, данный агроприем убыточен (–8 долл./га).

При применении на фоне 3-го года последействия соломистого навоза полных систем удобрения условная прибыль варьировала в пределах 151–244 руб./га с рентабельностью 58–84 %. Расчеты показали, что агроэкономически обоснованным приемом оказалось применение на фоне последействия соломистого навоза моноазотной системы удобрения ( $N_{20+60+40+40}$ ) в комплексе с некорневой подкормкой посевов микроудобрением МикроСтим-Медь, Марганец и дополнительным введением в систему удобрения стимулятора роста растений Экогум АФ. Это обеспечило получение дополнительной прибавки зерна пшеницы 33,1 ц/га, 276 руб./га условной прибыли при 110 % рентабельности.

Возделывание озимой пшеницы на фоне 3-го года последействия сидерата без дополнительного использования минеральных удобрений оказалось убыточным агроприемом – по отношению к варианту без удобрений. Урожайность зерна снизилась на 1,8 ц/га. За счет применения полных минеральных систем удобрения на этом фоне условная прибыль составила 61–153 руб./га при рентабельности 24–52 %. Моноазотная система удобрения обеспечила получение 176 руб./га условной прибыли и 78 % рентабельности (табл. 5).

## ВЫВОДЫ

Изучена эффективность различных систем удобрения озимой пшеницы, возделываемой на высокоокультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве. Наиболее агроэкономически обоснованным оказалось:

- комплексное применение полного минерального удобрения  $N_{0+70+40+50/20-50-40-50}P_{20}K_{35}$  в сочетании с микроудобрением МикроСтим-Медь, Марганец и стимулятором роста растений Экогум АФ на фоне 3-го года последействия соломистого навоза, за счет чего с 1 га получено 75,1–75,8 ц зерна 2-го класса качества с содержанием 13,1–13,2 % белка, 29,9–30,3 % клейковины, 45,5–46,0 ц соломы при окупаемости 1 кг минеральных удобрений 14,2–14,6 кг зерна, 236–244 руб. условной прибыли и 82–84 % рентабельности;
- комплексное применение полного минерального удобрения  $N_{0+70+40+50/20-50-40-50}$  в сочетании с микроудобрением МикроСтим-Медь, Марганец и стимулятором роста растений Экогум АФ на фоне 3-го года последействия сидерата, за счет чего с 1 га получено 69,1–70,2 ц зерна 2-го класса качества с содержанием 12,9 % белка, 28,9–29,3 % клейковины, 39,7–43,1 ц соломы при окупаемости 1 кг минеральных удобрений 11,5–12,0 кг зерна, 139–153 руб./га условной прибыли и 48–52 % рентабельности.

При возделывании озимой пшеницы на высоко окультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве с высоким содержанием подвижных соединений фосфора и повышенным – калия возможно (в исключительных случаях дефицита минеральных удобрений) использование моноазотной системы удобрения (суммарно  $N_{160}$ ) на фоне последействия соломистого навоза и сидерата. Такие системы удобрения обеспечивают получение с 1 га 67,3–75,2 ц зерна с содержанием 12,9–13,1 % белка, 29,2–30,0 % клейковины, 42,0–42,2 ц соломы, 176–276 руб. условного чистого дохода при 78–110 % рентабельности.

При системах удобрения, обеспечивших в условиях опыта получение максимальной урожайности зерна, удельный вынос элементов питания в среднем составил:  $N - 21,9 \text{ кг/га}$ ,  $P_2O_5 - 7,7 \text{ кг/га}$ ,  $K_2O - 9,3 \text{ кг/га}$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сельское, лесное и рыбное хозяйство Беларуси. Статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaistvo> (дата обращения: 21.03.2024).
2. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – 3-е изд. доп. и перераб. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2017. – 688 с.
3. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020 гг.) / И. М. Богдевич, В. В. Лапа, М. В. Рак [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича: Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн.: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. – 276 с.
4. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных, кормовых и технических растений: сборник отраслевых регламентов; под общ. ред. академиков НАН Беларуси В. Г. Гусакова и Ф. И. Привалова. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2023. – 506 с.
5. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сб. отраслевых регламентов. – Мн.: Белорусская наука, 2005. – 460 с.
6. Удобрение Экогум марки АФ. – URL: <https://ecosil.by/jekogum-af-1l> (дата обращения 27.11.2025)
7. Погода и климат. – URL: <https://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26850> (дата обращения: 08.11.2023).
8. Справочник агрохимика / В. В. Лапа, Н. Н. Цыбулько, М. В. Рак [и др.]; под ред. В. В. Лапа. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.
9. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И. М. Богдевич, Г. М. Сафроновская, Н. Д. Терещенко [и др.]; РУП Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн., 2010. – 24 с.

## WINTER WHEAT FERTILIZATION SYSTEMS IN CROP ROTATION LINKS WITH DIFFERENT INTENSIFICATION LEVELS

E. G. Mezentseva, O. G. Kulesh, A. A. Gracheva, S. M. Zenkova

### Summary

The studies were conducted to investigate various fertilizer systems for cultivating winter wheat in a technological experiment on a highly cultivated sod-podzolic loamy soil. The most effective fertilizer systems for cultivating winter wheat in a crop rotation were the combined use of full mineral fertilizer  $N_{160}P_{20/30}K_{35/60}$  and mono-nitrogen ( $N_{160}$ ) in combination with micronutrient fertilizer MicroStim-Copper, Manganese, and plant growth stimulant in the background of the third year of straw manure and green manure. The use of such fertilizer systems ensures the production of up to 76 centners of grain of class 2 quality with a protein content of 13 %, a gluten content of 30 %, and high agro-economic efficiency of cultivation. The specific removal of the main nutrients by winter wheat at this level of yield is as follows make up: N – 21,9 kg/ha,  $P_2O_5$  – 7,7 kg/ha,  $K_2O$  – 9,3 kg/ha.

*Поступила 04.03.2026*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫРОМОЛОТОГО ДОЛОМИТА И ГРАНУЛИРОВАННОЙ ДОЛОМИТОВОЙ МУКИ ДЛЯ ИЗВЕСТКОВАНИЯ КИСЛЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В БЕЛАРУСИ**

**Г. В. Пироговская<sup>1</sup>, В. В. Лапа<sup>1</sup>, В. И. Сороко<sup>1</sup>,  
С. С. Хмелевский<sup>1</sup>, И. Н. Некрасова<sup>1</sup>, Т. В. Гарбузова<sup>1</sup>,  
С. Н. Соглаев<sup>2</sup>, О. В. Купченко<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Институт почвоведения и агрохимии,  
г. Минск, Беларусь*

*<sup>2</sup>ОАО «Доломит»,  
г. Витебск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

По мнению А. Н. Небольсина, З. П. Небольсиной, И. А. Шильникова, В. Г. Сычева и других в условиях гумидного климата из-за недостаточных объемов известкования кислых пахотных земель происходит процесс обеднения корнеобитаемого слоя почв основаниями и его подкисление, наблюдается ежегодный недобор урожая в Нечерноземной зоне из-за избыточной кислотности [1, 2].

Дерново-подзолистые почвы Республики Беларусь по своему генезису имеют высокую кислотность. В 60–70 гг. XX столетия более 90 % пахотных почв республики имели сильноокислую и кислую реакции среды при среднем показателе  $pH_{KCl}$  4,9 [3].

С 1965 г. практически все земли сельскохозяйственных угодий нуждались в известковании. Учитывая важность этого мероприятия для повышения плодородия почв и эффективного использования минеральных удобрений с 1965 г. и по настоящее время все работы по известкованию кислых почв оплачивались, преимущественно, из средств государственного бюджета.

В последние 10 лет известкование кислых почв проводится за счет госбюджетных средств в недостаточных объемах (35–45 % от потребности). Отмечается постоянный рост количества кислых почв, нуждающихся в известковании. Если в 2016 г. таких почв было 472 тыс. га, то в настоящее время это количество увеличилось до 585 тыс. га. Систематическое подкисление пахотных почв является следствием недостаточного бюджетного финансирования этих работ, что может привести к снижению эффективности применяемых минеральных удобрений и, соответственно, к снижению плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур. Снижение объемов известкования в эти годы привело к существенному подкислению пахотных почв. По данным агрохимического обследования почв сельскохозяйственных земель (2017–2020 гг.) средневзвешенное значение  $pH_{KCl}$  в пахотных почвах в среднем по Республике Беларусь за 2013–2016 гг. составляло 5,84, за 2017–2020 гг. – 5,80, в почвах улучшенных сенокосов и пастбищ – 5,87 и 5,84 соответственно, в 2024 г. на пахотных почвах – 5,75, на почвах улучшенных сенокосов и пастбищ – 5,78 [4].

Система известкования кислых почв в Республике Беларусь была обоснованной, так как внесение в почву известковых мелиорантов на всех кислых почвах окупалось прибавкой урожайности сельскохозяйственных культур.

В настоящее время известкование кислых сельскохозяйственных земель в республике проводится согласно «Инструкции по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель» (Минск, 2019 г.) [5] и в соответствии с данными предпоследнего тура крупномасштабного агрохимического обследования почв [4].

Чтобы сохранить необходимые объемы известкования кислых почв и не потерять достигнутый потенциал почвенного плодородия необходимо использовать различные виды известковых мелиорантов, которые положительно влияют на продуктивность возделываемых культур и плодородие почвы.

Цель исследований – изучить сравнительную агрохимическую эффективность пылевидной доломитовой муки (в настоящее время является основным известковым мелиорантом) с другими видами известковых мелиорантов (сыромолотым доломитом и гранулированной доломитовой мукой) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований (2024–2025 гг.): сельскохозяйственные культуры – пшеница яровая (2024 г.), горохо-овсяная смесь (2025 г.), дерново-подзолистая легкосуглинистая почва.

Предмет исследований – доломитовая мука пылевидная стандартная (ГОСТ 14050-93, марка А), сыромолотый доломит (ГОСТ 14050-93, марка С), гранулированная доломитовая мука, стандартные удобрения (карбамид, аммонизированный суперфосфат, калий хлористый гранулированный). В 2024 г. изучалась эффективность известковых мелиорантов в действии в год их внесения, в 2025 г. – в первый год последействия.

Место исследований – полевой опыт с известковыми мелиорантами проводится на опытном участке, расположенном в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области.

Агрохимические показатели пахотного слоя опытного участка перед закладкой опыта с пшеницей яровой составляли в среднем по полю:  $pH_{KCl}$  – 5,25, гумус – 1,83 %,  $P_2O_5$  – 540 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 317 мг/кг почвы, подвижный кальций (Ca) – 968 и магний – 143 мг/кг почвы.

Опытные культуры в 2024 г. возделывалась пшеница яровая Сударыня – среднеспелый сорт. Внесен в реестр сортов в 2013 г. Заявитель – РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». Сорт разрешен для возделывания во всех областях Республики Беларусь.

В 2025 г. – горохо-овсяная смесь, сорт гороха Астронавт – средний (среднеспелый), предназначен на зерно. Внесен в реестр сортов в 2016 г. Заявитель – ИООО «Рапуль Бел». Сорт разрешен для возделывания во всех областях Республики Беларусь; овес Квант – среднеранний. Внесен в реестр сортов в 2022 г. Заявитель – РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». Сорт разрешен для возделывания во всех областях Республики Беларусь.

Предшественники яровой пшеницы – кукуруза, горохо-овсяной смеси – пшеница яровая.

Обработка почвы: зяблевая вспашка, культивации.

Известковые мелиоранты в опыте внесены в 2024 г. под вспашку, а минеральные удобрения – азотные (карбамид), фосфорные (аммонизированный суперфосфат), калийные (хлористый калий) вносились ежегодно вразброс весной до посева вышеуказанных сельскохозяйственных культур согласно схем опыта.

Схема опыта (2024 г. – пшеница яровая):

1. Контроль без удобрений;
2. Фон –  $N_{100+30}P_{60}K_{110}$ ;
3. Фон + доломитовая мука пылевидная, 5,0 т/га;
4. Фон + сыромолотый доломит, 5,3 т/га (с учетом влажности);
5. Фон + гранулированная доломитовая мука (состав 2)\*, 5,0 т/га;
6. Фон + гранулированная доломитовая мука (состав 3)\*, 5 т/га.

Гранулированная доломитовая мука состава № 2 включала связующее отечественное (ВРП) и состава № 3 – российское (лигносульфонат) и другие модифицирующие добавки, необходимые для грануляции пылевидной доломитовой муки (тематика патентноспособна).

Под горохо-овсяную смесь (2025 г.) в вариантах 2–6 вносили только минеральные стандартные удобрения в дозе  $N_{60}P_{60}K_{120}$ .

Площадь опытной делянки – 27 м<sup>2</sup>, повторность вариантов – 4-кратная.

Известковые мелиоранты и удобрения вносили вручную, равномерно по всей площади делянки.

Важнейшим условием получения достоверных результатов при проведении полевых опытов является высокое качество и одновременность выполнения всех агротехнических работ, на всех повторениях полевого опыта. Все работы по обработке почвы, севу, уходу за посевами выполняли в оптимальные сроки (с учетом метеорологических условий) и в течение одного дня. Агротехника возделываемых культур общепринятая для Республики Беларусь [6, 7].

Уход за посевами (обработка посевов против сорняков, вредителей и болезней) проводили разрешенными препаратами, которые внесены в «Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь» [8].

Почвенные образцы отбирали из пахотного слоя почвы, в которых определялись следующие показатели:

- гумус – по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-84);
- обменная кислотность рН (KCl) – **потенциометрический (ГОСТ 26483-85)**;
- кальций и магний на атомно-абсорбционном спектрофотометре;
- отбор проб – ГОСТ 26483-85.

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 после мокрого озоления (смесью серной кислоты и перекиси водорода) общепринятыми методами: азот – ГОСТ 13496.4-93 п. 2; фосфор – спектрофотометрически; калий – на пламенном фотометре; кальций – ГОСТ 26570-95; магний ГОСТ 30502-97 – на атомно-адсорбционном спектрофотометре;

- сухое вещество – весовым методом.

Гидротермический коэффициент (ГТК) определялся по формуле Г. Т. Селянинова:  $ГТК = (\Sigma X \cdot 10) / \Sigma T$ , где:  $\Sigma X$  – сумма осадков за период;  $\Sigma T$  – сумма положительных температур воздуха за тот же период (выше 10 °С). В таблице 1 ГТК приводится за май–август, так как температура воздуха в апреле в годы исследований в апреле была меньше 10 °С.

Статистическая обработка результатов исследований проведена по Б. А. Доспехову с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на персональном компьютере, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы Excel [6].

Количество выпавших атмосферных осадков приведено по данным наблюдений на лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (г. Минск), которая находится в 15 км от ОАО «Гастелловское».

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что важным фактором формирования урожайности является количество выпавших атмосферных осадков и температура воздуха, которые определяют процесс питания растений, их рост и продуктивность.

Приводим количество выпавших атмосферных осадков и температуру воздуха за вегетационный период (с апреля по август 2024 и 2025 гг.).

Выпадение атмосферных осадков в течение вегетационного периода 2024 г. при возделывании пшеницы яровой было неравномерным. В апреле 2024 г. выпало 76,9 мм (178,4 % от среднееголетних значений за 1991–2020 гг.), в мае – 15,8 мм (24,0 %), июне – 68,3 мм (86,2 %), июле – 99,1 мм (101,6 %), августе – 79,7 мм (112,3 %) соответственно. За (апрель–август) количество выпавших атмосферных осадков на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве составило в 2024 г. – 339,8 мм, а за май–август (для расчета ГТК) – 262,9 мм (83,1 % от потребности).

В 2025 г. при возделывании горохо-овсяной смеси выпадение атмосферных осадков было также неравномерным. В апреле 2025 г. выпало только 19,4 мм (45,0 % от среднееголетних значений), соответственно, в мае – 87,2 мм (132,5 %), июне – 108,6 мм (137,1 %), июле – 135,1 мм (138,6 %), августе – 35,3 мм (49,7 %). В целом, за вегетационный период (апрель–август) количество выпавших атмосферных осадков при возделывании горохо-овсяной смеси на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве составило в 2025 г. – 385,6 мм (107,5 %), а за май–август (для расчета ГТК) – 366,2 мм (115,8 % от потребности) (табл. 1).

Для оценки условий увлажнения применяется показатель увлажнения – гидротермический коэффициент (ГТК). Если ГТК больше 1,6, то год считается влажный, от 1,6 до 1,3 – оптимальный, от 1,3 до 1,0 – слабозасушливый, от 1,0 до 0,7 – засушливый, от 0,7 до 0,4 – очень засушливый, от 0,4 до 0,2 – сухой, от 0,2 и меньше – очень сухой [9].

ГТК по месяцам с мая по август в 2024 г. изменялся в пределах от 0,36 (май) до 1,58 (июль), а в среднем составил 1,13 (вегетационный период слабозасушливый), при среднееголетнем за 1991–2020 гг. – 1,56. В 2025 г. от 0,73 (август) до 2,79 (май), а в среднем составил 2,02 (вегетационный период влажный), при среднееголетнем за 1991–2020 гг. – 1,56 (см. табл. 1).

Таблица 1

**Количество атмосферных осадков, температура воздуха (за апрель–август)  
и ГТК (май–август) в период 2024–2025 гг. при возделывании пшеницы яровой  
и горохо-овсяной смеси**

| Год                                                                  | Показатель                             | Апрель | Май   | Июнь  | Июль  | Август | За 4–8 месяц |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------|-------|-------|-------|--------|--------------|
| Пшеница яровая                                                       |                                        |        |       |       |       |        |              |
| 2024                                                                 | Осадки, мм                             | 76,9   | 15,8  | 68,3  | 99,1  | 79,7   | 339,8        |
|                                                                      | Среднемесячная температура воздуха, °С | 9,1    | 14,0  | 18,2  | 20,2  | 19,3   | 16,2         |
|                                                                      | ГТК*                                   | –      | 0,36  | 1,25  | 1,58  | 1,33   | 1,13         |
| Процент осадков (%) в 2024 г. от среднемноголетнего за 1991–2020 гг. |                                        | 178,4  | 24,0  | 86,2  | 101,6 | 112,3  | 100,5        |
| Горохо-овсяная смесь                                                 |                                        |        |       |       |       |        |              |
| 2025                                                                 | Осадки, мм                             | 19,4   | 87,2  | 108,6 | 135,1 | 35,3   | 385,6        |
|                                                                      | Среднемесячная температура воздуха, °С | 8,7    | 10,1  | 15,9  | 19,1  | 15,6   | 13,9         |
|                                                                      | ГТК*                                   | –      | 2,79  | 2,28  | 2,28  | 0,73   | 2,02         |
| Процент осадков (%) в 2025 г. от среднемноголетнего за 1991–2020 гг. |                                        | 45,0   | 132,5 | 137,1 | 138,6 | 49,7   | 100,6        |
| Среднемноголетнее за 1991–2020 гг., осадки мм                        |                                        | 43,1   | 65,8  | 79,2  | 97,5  | 71,0   | 356,6        |
| Среднемесячная температура воздуха, °С (1991–2020 гг.)               |                                        | 7,3    | 12,9  | 16,5  | 18,5  | 17,6   | 14,6         |
| ГТК (1991–2020 гг.)                                                  |                                        | –      | 1,65  | 1,60  | 1,70  | 1,30   | 1,56         |

\* ГТК за 5–8 месяц.

Данные физико-химических свойств опытных образцов известковых мелиорантов, определенных в Белорусском государственном технологическом университете (БГТУ, г. Минск), показали, что лучшей прочностью обладает сыромолотый доломит (16,20 МПА) и составы гранулированной доломитовой муки – № 2 и № 3 (1,15–2,24 МПА). Гигроскопичность, в зависимости от испытуемых образцов известковых мелиорантов, находилась в пределах от 0,10 до 0,53 %, влажность – от 0,094 до 0,478 %. Слеживаемость всех образцов известковых мелиорантов в течение 10 календарных дней не наблюдалось и рассыпчатость была на одном уровне – 100 % (табл. 2).

Таблица 2

**Физико-химические свойства опытных образцов известковых мелиорантов**

| Составы                                | Физико-химические свойства  |                     |              |                                  |                      |
|----------------------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------|----------------------------------|----------------------|
|                                        | Прочность, МПА, статическая | Гигроскопичность, % | Влажность, % | Слеживаемость, в течение 10 дней | Рассыпчатость, ф. с. |
| Доломитовая мука пылевидная (исходная) | –                           | 0,10                | 0,094        | Нет                              | 100                  |
| Сыромолотый доломит                    | 16,20                       | 0,37                | 0,261        | Нет                              | 100                  |

| Составы                                                                           | Физико-химические свойства  |                     |              |                                  |                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------|----------------------------------|----------------------|
|                                                                                   | Прочность, МПА, статическая | Гигроскопичность, % | Влажность, % | Слеживаемость, в течение 10 дней | Рассыпчатость, ф. с. |
| Гранулированная доломитовая мука состава 2 (отечественное связующее)              | 2,24                        | 0,20                | 0,118        | Нет                              | 100                  |
| Гранулированная доломитовая мука состава 3 (российское связующее)                 | 1,15                        | 0,41                | 0,385        | Нет                              | 100                  |
| Эталон (украинская гранулированная доломитовая мука с регулятором роста растений) | 0,69                        | 0,53                | 0,478        | Нет                              | 100                  |

Приведенные в таблице 2 данные показывают, что, согласно статической прочности гранул, медленнодействующим известковым мелиорантом является сыромолотый доломит. Что касается гранулированной доломитовой муки, то, с учетом всех физико-химических свойств, наиболее перспективным является состав № 2 – с отечественным связующим.

При возделывании пшеницы яровой в 2024 г. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве получена урожайность зерна на контроле – 35,5 ц/га, при внесении минеральных удобрений ( $N_{100+30}P_{60}K_{110}$  – фон) – 45,3 ц/га, в варианте с известковыми мелиорантами на фоне **НРК, в частности, пылевидной доломитовой мукой** и сыромолотым доломитом – 46,8 ц/га. Применение в опыте гранулированной доломитовой муки составов 2 и 3 обеспечило урожайность зерна на уровне 47,8 и 47,7 ц/га, сухого вещества зерна – 41,1–41,0 ц/га, с тенденцией повышения урожайности зерна 14 % влажности и урожайности сухого вещества зерна к фону. При этом следует отметить, что урожайность зерна в вариантах с известковыми мелиорантами на фоне **НРК** была в близких пределах (табл. 3).

Содержание протеина в зерне пшеницы находилось в зависимости от вариантов опыта в пределах от 12,6 % (контроль) до 12,8–13,8 % (с удобрениями и известковыми мелиорантами), соответственно клейковины – 25,0 и 25,5–28,9 %. Масса 1000 зерен также была в близких пределах – от 40,3 до 41,6 г. Сыромолотый доломит и гранулированная доломитовая мука в первый год действия не оказывали существенного влияния на качественные показатели зерна пшеницы яровой по сравнению со стандартной доломитовой мукой пылевидной (табл. 3).

Содержание общего азота в зерне пшеницы яровой в условиях слабозасушливого вегетационного периода (2024 г.) находилось на уровне от 1,48 (контроль) до 1,58–1,71 % (с удобрениями и известковыми мелиорантами), соответственно, фосфора ( $P_2O_5$ ) – 1,13 и 1,04–1,20 %, калия ( $K_2O$ ) – 0,56 и 0,54–0,58 %, кальция (Ca) – 0,050 и 0,039–0,054 %, магния (Mg) – 0,091 и 0,089–0,107 %. При сравнительной оценке содержания элементов питания в основной продукции (зерно) при внесении доломитовой муки пылевидной, сыромолотого доломита и гранулированной муки установлено, что их содержание находилось примерно на одном уровне, а наблюдаемые незначительные различия находились в пределах наименьшей существенной разницы.

Таблица 3

**Урожайность и качество зерна пшеницы яровой на дерново-подзолистой  
легкосуглинистой почве, 2024 г.**

| Варианты                                                   | Урожайность зерна               |               |                              |               | Содержание,<br>% на сухое вещество |                 |                        |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|------------------------------------|-----------------|------------------------|
|                                                            | ц/га,<br>14 %<br>влаж-<br>ности | ± к<br>(фону) | сухое<br>вещест-<br>во, ц/га | ± к<br>(фону) | про-<br>теин                       | клей-<br>ковина | масса<br>1000<br>зерен |
| Контроль без удобрений                                     | 35,5                            | —             | 30,5                         | —             | 12,6                               | 25,0            | 40,3                   |
| N <sub>100+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>110</sub> – фон | 45,3                            | —             | 39,0                         | —             | 12,8                               | 25,5            | 40,9                   |
| Фон + доломитовая мука пылевидная, 5,0 т/га                | 46,8                            | 1,5           | 40,2                         | 1,2           | 13,5                               | 28,9            | 40,5                   |
| Фон + сыромолотый доломит, 5,3 т/га (с учетом влажности)   | 46,8                            | 1,5           | 40,2                         | 1,2           | 13,6                               | 28,9            | 40,7                   |
| Гранулированная доломитовая мука (состав 2) – 5,0 т/га     | 47,8                            | 2,5           | 41,1                         | 2,1           | 13,7                               | 28,4            | 41,0                   |
| Гранулированная доломитовая мука (состав 3 – 5,0 т/га      | 47,7                            | 2,4           | 41,0                         | 2,0           | 13,8                               | 28,9            | 41,6                   |
| НСР <sub>05</sub>                                          | 4,21                            |               | 3,83                         |               | 1,21                               | 0,26            | 6,21                   |

Урожайность соломы пшеницы яровой изменялась по вариантам опыта в пределах от 31,8 (контроль) до 36,0–41,4 ц/га (с удобрениями и удобрениями и мелиорантами). При этом наблюдалась тенденция повышения или снижения урожайности соломы пшеницы яровой в вариантах с известковыми мелиорантами на фоне NPK по сравнению с фоном NPK.

Содержание азота в соломе пшеницы яровой в 2024 г. находилось на уровне от 0,36 (контроль) до 0,38–0,55 % (с удобрениями и известковыми мелиорантами), фосфора – 0,12 и 0,09–0,15 %, калия – 0,96 и 1,03–1,68 %, кальция – 0,160 и 0,142–0,158 %, магния – 0,071 и 0,069–0,080 %.

При возделывании горохо-овсяной смеси на зерно на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в 2025 г. (первый год последствий мелиорантов) при дозе внесения минеральных удобрений под эту культуру N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>120</sub> была получена урожайность зерна в пределах от 63,9 (контроль) до 70,4–75,1 ц/га (с удобрениями и мелиорантами), соответственно соломы – от 39,3 до 60,5–65,2 ц/га. При этом в первый год последствий известковых мелиорантов наблюдалась тенденция повышения урожайности зерна при внесении известковых мелиорантов по сравнению с применением с фоном (NPK).

Что касается урожайности соломы, то по всем вариантам с удобрениями она находилась в близких пределах, а прибавки в вариантах с гранулированной доломитовой мукой в размере 2,6–3,7 ц/га по сравнению с фоном были не достоверны. Соотношение (зерно : солома) горохо-овсяной смеси составило на контроле – 1,63, а в остальных вариантах было также близким (1,14–1,24) (табл. 4).

Установлено, что известковые мелиоранты (сыромолотый доломит и гранулированная доломитовая мука) на фоне NPK в первый год последствий не оказали существенного влияния на качественные показатели зерна горохо-овсяной смеси по сравнению со стандартной доломитовой мукой пылевидной. Содержание азота в зерне горохо-овсяной смеси находилось на уровне от 1,14 (контроль)

до 1,17–1,38 % (с удобрениями и известковыми мелиорантами), сырого белка – 7,13 % и 6,88–8,63 %, фосфора – 0,66 и 0,62–96 %, калия – 0,70 и 0,59–0,65 %, кальция – 0,08 и 0,06–0,10 %, магния – 0,24 и 0,22–0,27 % соответственно. При сравнительной оценке содержания элементов питания в зерне горохо-овсяной смеси при внесении доломитовой муки пылевидной и гранулированной, сыромолотого доломита в первый год их последействия выявлено, что их содержание находилось в близких пределах, а наблюдаемые незначительные различия между вариантами находились в пределах наименьшей существенной разницы.

Таблица 4

**Урожайность зерна и соломы горохо-овсяной смеси  
на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, 2025 г.**

| Варианты                                                   | Урожайность, ц/га           |               |                              |               |                                |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------|------------------------------|---------------|--------------------------------|
|                                                            | зерно,<br>14 %<br>влажности | ±<br>к (фону) | солома,<br>16 %<br>влажности | ±<br>к (фону) | соотношение,<br>зерно : солома |
| Контроль без удобрений                                     | 63,9                        | –             | 39,3                         | –             | 1,63                           |
| N <sub>100+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>110</sub> – фон | 70,4                        | –             | 61,5                         | –             | 1,14                           |
| Фон + доломитовая мука пылевидная, 5,0 т/га                | 74,4                        | 4,0           | 62,0                         | 0,5           | 1,20                           |
| Фон + сыромолотый доломит, 5,3 т/га (с учетом влажности)   | 73,8                        | 3,4           | 60,5                         | –1,0          | 1,22                           |
| Гранулированная доломитовая мука (состав 2) – 5,0 т/га     | 75,1                        | 4,7           | 64,1                         | 2,6           | 1,22                           |
| Гранулированная доломитовая мука (состав 3 – 5,0 т/га      | 75,5                        | 5,1           | 65,2                         | 3,5           | 1,24                           |
| HCP <sub>05</sub>                                          | 4,78                        |               | 4,05                         |               | –                              |

Перед закладкой опыта и после уборки первой культуры звена севооборота определяли показатели обменной кислотности ( $pH_{KCl}$ ) в пахотном слое дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Известковые мелиоранты (доломитовая мука пылевидная, сыромолотый доломит и гранулированная доломитовая мука), внесенные в эквивалентных дозах по извести, снижали обменную кислотность почвы (табл. 5).

Таблица 5

**Влияние известковых мелиорантов на изменение показателей обменной  
кислотности в первый год их действия и первый год последействия в пахотном  
слое дерново-подзолистой легкоосуглинистой почвы, 2024–2025 гг.**

| Варианты                                                   | $pH_{KCl}$ |      |       | Сдвиг кислотности<br>от 1 т мелиоранта |
|------------------------------------------------------------|------------|------|-------|----------------------------------------|
|                                                            | 1*         | 2*   | 3*    |                                        |
| Контроль без удобрений                                     | 5,16       | 4,85 | –0,31 | –                                      |
| N <sub>100+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>110</sub> – фон | 5,10       | 4,66 | –0,44 | –                                      |
| Фон + доломитовая мука пылевидная, 5,0 т/га                | 5,34       | 5,56 | 0,22  | 0,044                                  |
| Фон + сыромолотый доломит, 5,3 т/га (с учетом влажности)   | 5,27       | 5,47 | 0,20  | 0,038                                  |
| Гранулированная доломитовая мука (состав 2) – 5,0 т/га     | 5,31       | 5,52 | 0,21  | 0,042                                  |

| Варианты                                                  | pH <sub>KCl</sub> |       |      | Сдвиг кислотности<br>от 1 т мелиоранта |
|-----------------------------------------------------------|-------------------|-------|------|----------------------------------------|
|                                                           | 1*                | 2*    | 3*   |                                        |
| Гранулированная доломитовая мука<br>(состав 3 – 5,0 т/га) | 5,33              | 5,53  | 0,20 | 0,040                                  |
| НСР <sub>05</sub>                                         | 0,241             | 0,337 | –    | –                                      |

*Примечание.* 1\* Перед закладкой опыта; 2\* – после уборки второй культуры звена севооборота; 3\* – разница между исходной характеристикой и после завершения эксперимента.

Сдвиг кислотности за два года исследований (первый год действия и первый год последействия) мелиорантов на 1 т внесенной извести находился в пределах от 0,038 до 0,044 ед. pH<sub>KCl</sub>. Это ниже нормативного показателя сдвига кислотности от внесения 1 т извести (0,1 ед. pH<sub>KCl</sub>), что объясняется более продолжительным действием известковых мелиорантов (4 года).

## ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований по сравнительной агрономической эффективности разных форм известковых мелиорантов (доломитовой муки стандартной пылевидной, сыромолотого доломита и гранулированной доломитовой муки), в первый год действия и первый год последействия в технологии возделывания пшеницы яровой и горохо-овсяной смеси на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве установлено:

1. Внесение на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве стандартной пылевидной доломитовой муки, сыромолотого доломита и гранулированной доломитовой муки на фоне NPK обеспечило (в условиях 2024 г.) в первый год действия урожайность зерна пшеницы яровой: с пылевидной мукой и сыромолотым доломитом на уровне 46,8 ц/га, с гранулированной доломитовой мукой – 47,7–47,8 ц/га, с тенденцией повышения урожайности на 1,5–2,5 ц/га по сравнению с фоном (минеральными удобрениями). В условиях 2025 г. (в первый год последействия мелиорантов) урожайность зерна горохо-овсяной смеси с известковыми мелиорантами находилась в пределах от 73,8 до 75,1 ц/га, с тенденцией увеличения урожайности зерна по сравнению с фоном.

2. Применение известковых мелиорантов (сыромолотого доломита и гранулированной доломитовой муки на фоне NPK под яровую пшеницу на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве позволило в первый год их действия и в первый год последействия получить основную продукцию (зерно пшеницы и горохо-овсяной смеси) по содержанию протеина, крахмала и элементов питания в близких пределах с доломитовой стандартной пылевидной мукой (ГОСТ 14050-93).

3. Сдвиг почвенной кислотности в пахотном слое дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы от 1 т известковых мелиорантов в первый год их действия и первый год последействия составил: от сыромолотого доломита – 0,038 ед. pH<sub>KCl</sub>, гранулированной доломитовой муки – 0,040–0,042 ед. pH<sub>KCl</sub>, от пылевидной доломитовой муки – 0,044 ед. pH<sub>KCl</sub>. На контроле и минеральной системе удобрения без мелиорантов кислотность пахотного слоя увеличивалась в оба года исследований. За два года исследований на контроле – на 0,31 и фоне

НПК – на 0,44 ед.  $pH_{KCl}$ , что подтверждает необходимость проведения известкования кислых сельскохозяйственных земель в Беларуси.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Небольсин, А. Н.* Теоретические основы известкования почв / А. Н. Небольсин, З. П. Небольсина. – СПб., 2005. – 252 с.
2. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия / И. А. Шильников, В. Г. Сычев, Н. А. Зеленов [и др.]. – М., 2008. – 344 с.
3. *Кулаковская, Т. Н.* Применение удобрений / Т. Н. Кулаковская. – Мн.: Урожай, 1970. – 216 с.
4. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020 гг.) / И. М. Богдевич, В. В. Лапа, М. В. Рак [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн.: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. – 276 с.
5. Инструкция по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель / В. В. Лапа, Г. В. Пироговская, И. М. Богдевич [и др.]. – Мн.: Ин-т почвоведения и агрохимии. – 2019. – 31 с.
6. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
7. 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. разраб. Ф. И. Привалов [и др.]. – Мн.: Беларус. навука, 2012. – 288 с.
8. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь. – Мн.: Белорусское сельское хозяйство, 2023. – 803 с.
9. *Гольберг, М. А.* Опасные явления погоды и урожай / М. А. Гольберг, Г. В. Волобуева, А. А. Фалей. – Мн.: Ураджай, 1988. – 120 с.

### EFFICIENCY OF USING RAW GROUND DOLOMITE AND GRANULATED DOLOMITE FLOUR FOR LIMING ACID SOD-PODZOLIC SOILS IN BELARUS

**H. V. Pirahouskaya, V. V. Lapa, V. I. Soroko, S. S. Khmialeuski, I. N. Nekrasova,  
T. V. Garbuzova, S. N. Soglaev, O. V. Kupchenko**

#### Summary

The results of the comparative effectiveness of lime ameliorants (raw ground dolomite, granulated and dusted dolomite flour) against NPK in the first year of application for spring wheat cultivation (2024) and in the first year of post-application for pea-oat mixture cultivation (2025) are presented. The impact of lime ameliorants on the yield of these crops, the quality of primary and secondary products, and the shift in soil acidity from 1 ton of lime ameliorants in the year of application and the first year of post-application is demonstrated.

*Поступила 22.04.2026*

## **ВЛИЯНИЕ ЦИНКОВОГО УДОБРЕНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ И НАКОПЛЕНИЕ ЦИНКА В ПРОДУКЦИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ, КУКУРУЗЫ И БОБОВЫХ КУЛЬТУР ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ЭТИМ ЭЛЕМЕНТОМ**

**М. В. Рак, Е. Н. Пукалова, Н. С. Гузова, С. Г. Кудласевич, Л. Н. Гук**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Необходимым элементом системы удобрений в современном земледелии является использование микроэлементов. Установлено, что на почвах бедных микроэлементами снижается урожайность и качество получаемой продукции практически всех культур, а при остром недостатке микроэлементов в рационах животных возможны их заболевания и снижение продуктивности. Применение микроудобрений на недостаточно обеспеченных микроэлементами почвах обеспечивает повышение урожайности сельскохозяйственных культур и качество растениеводческой продукции [1–3].

К настоящему времени накоплен значительный теоретический и практический материал о высокой эффективности использования цинковых удобрений. При этом действие цинка в значительной степени зависит от биологических особенностей культур. Так, установлена высокая эффективность цинковых микроудобрений в технологиях возделывания зерновых культур и кукурузы. Применение цинка на фоне полного минерального удобрения повышает урожайность зерна пшеницы и кукурузы, до 10 ц/га, увеличивает содержание белка, крахмала клейковины, оптимизирует фракционный состав белка зерновых культур [4–7]. Имеются данные о положительном влиянии цинка на продуктивность люцерны. Под влиянием цинка ускоряется рост растений, увеличивается вес надземной массы и корней, а также число и размеры клубеньков. Одновременно повышается содержание белка и углеводов в надземной массе и витамина С [8–9]. По обобщенным данным ряда опытов цинк повышает урожайность гороха на 3,0–3,6 ц/га, содержание белка – на 0,4–1,2 %. При оптимальном содержании цинка в почве в биомассе гороха значительно увеличивается содержание азота и суммарный выход аминокислот, в том числе и незаменимых [10].

Таким образом, обобщение имеющихся в настоящее время материалов по изучению влияния цинка на растения свидетельствуют о том, что действие этого микроэлемента в значительной степени зависит от биологических особенностей культуры. Слабо изучен вопрос влияния цинка на процессы формирования и реализации потенциала продуктивности растений в зависимости от почвенно-агрохимических условий.

Цель исследований – установить влияние наиболее эффективных доз цинковых удобрений в технологии возделывания сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистой супесчаной почве с различным содержанием подвижного цинка.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по эффективности цинкового удобрения в зависимости от обеспеченности почвы подвижным цинком проводили в полевых опытах с озимой пшеницей (2016–2017 гг.), кукурузой (2017–2018 гг.), люцерной (2022–2023 гг.), горохом посевным (2024–2025 гг.) в РУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района на дерново-подзолистой супесчаной почве, развивающейся на рыхлых водно-ледниковых супесях, сменяемых с глубины около 0,5 м связной супесью.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: при возделывании озимой пшеницы:  $pH_{KCl}$  – 5,8, содержание гумуса – 2,6 %,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  – 216 и 368 мг/кг почвы соответственно; при возделывании кукурузы:  $pH$  в  $KCl$  – 6,0, содержание гумуса – 2,6 %,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  – 241 и 275 мг/кг почвы соответственно; при возделывании люцерны:  $pH_{KCl}$  – 6,1, содержание гумуса – 2,6 %,  $P_2O_5$  – 218 мг/кг,  $K_2O$  – 301 мг/кг почвы; при возделывании гороха:  $pH_{KCl}$  – 6,1, содержание гумуса – 2,6 %,  $P_2O_5$  – 248 мг/кг,  $K_2O$  – 244 мг/кг почвы.

Схема полевого опыта включала варианты с применением в некорневую подкормку цинкового удобрения на 4-х уровнях обеспеченности супесчаной почвы цинком: 1 – низкий уровень (<3,0 мг/кг), 2 – средний уровень (3,1–5,0 мг/кг), 3 – высокий уровень (5,1–10,0 мг/кг), 4 – избыточный уровень (>12,0 мг/кг). Исследования с озимой пшеницей Арктис включали варианты с применением в некорневую подкормку в стадии первого узла и при появлении последнего листа возрастающих доз цинкового удобрения в дозах 0,025, 0,05, 0,075 и 0,10 кг/га д. в.) на фоне внесения минеральных удобрений в дозе  $N_{160}P_{90}K_{150}$ . Полевой опыт с кукурузой Паладио F1 включал варианты с применением в некорневую подкормку в фазе 6–8 листьев возрастающих доз цинкового удобрения в дозах 0,05, 0,10, 0,15 и 0,20 кг/га д. в. на фоне внесения минеральных удобрений в дозе  $N_{160}P_{90}K_{150}$ . Полевой опыт с люцерной Пауэр включал варианты с применением в некорневую подкормку в фазе ветвление под каждый укос возрастающих доз цинкового удобрения в дозах 0,05, 0,10 и 0,15 кг/га д. в. на фоне внесения минеральных удобрений в дозе  $P_{90}K_{180}$ . Исследования с горохом Астронавт проводили с применением в некорневую подкормку в фазе начало бутонизации возрастающих доз цинкового удобрения в дозах 0,04, 0,08 и 0,12 кг/га д. в. на фоне внесения минеральных удобрений в дозе  $N_{40}P_{60}K_{120}$ .

В качестве цинкового удобрения для некорневой подкормки применяли жидкое удобрение МикроСтим-Цинк, содержащее 70 г/л цинка. Расход рабочего раствора 200 л/га.

Технология возделывания сельскохозяйственных культур общепринятая для республики. Исследования проводили в соответствии с методическими указаниями по закладке полевых опытов. Статистическая обработка результатов исследований проведена методом дисперсионного анализа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследований установлена зависимость урожайности озимой пшеницы, кукурузы и бобовых культур от обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние цинкового удобрения на урожайность озимой пшеницы, кукурузы и бобовых культур при разной обеспеченности супесчаной почвы цинком, ц/га**

| Варианты                                                | Уровни обеспеченности почвы цинком |               |                           |               |                           |               |                               |               |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|---------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
|                                                         | Низкий,<br>2,3–3,0 мг/кг           |               | Средний,<br>3,5–5,0 мг/кг |               | Высокий,<br>6,7–7,7 мг/кг |               | Избыточный,<br>10,0–11,4мг/кг |               |
|                                                         | урожай-<br>ность                   | при-<br>бавка | урожай-<br>ность          | при-<br>бавка | урожай-<br>ность          | при-<br>бавка | урожай-<br>ность              | при-<br>бавка |
| Озимая пшеница, зерно (2016–2017 гг.)                   |                                    |               |                           |               |                           |               |                               |               |
| N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон | 70,1                               | –             | 69,8                      | –             | 69,5                      | –             | 70,6                          | –             |
| Zn <sub>0,05</sub>                                      | 73,5                               | 3,4           | 71,8                      | 2,0           | 70,4                      | 0,8           | 70,7                          | 0,1           |
| Zn <sub>0,0,75</sub>                                    | 74,4                               | 4,3           | 72,7                      | 2,9           | 69,9                      | 0,3           | 69,5                          | –             |
| Zn <sub>0,10</sub>                                      | 76,3                               | 6,2           | 73,6                      | 3,8           | 69,0                      | –             | 69,8                          | –             |
| HCP <sub>0,5</sub>                                      | 1,9                                |               |                           |               |                           |               |                               |               |
| Кукуруза, зерно (2017–2018 гг.)                         |                                    |               |                           |               |                           |               |                               |               |
| N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон | 70,9                               | –             | 75,4                      | –             | 74,9                      | –             | 71,7                          | –             |
| Zn <sub>0,05</sub>                                      | 75,2                               | 4,3           | 78,5                      | 3,1           | 77,1                      | 2,2           | 73,6                          | 1,9           |
| Zn <sub>0,10</sub>                                      | 78,3                               | 7,4           | 79,5                      | 4,1           | 78,6                      | 3,7           | 73,3                          | 1,6           |
| Zn <sub>0,15</sub>                                      | 79,7                               | 8,8           | 78,8                      | 3,4           | 77,3                      | 2,4           | 72,8                          | 1,1           |
| HCP <sub>0,5</sub>                                      | 3,0                                |               |                           |               |                           |               |                               |               |
| Люцерна, сухая масса (2022–2023 гг.)                    |                                    |               |                           |               |                           |               |                               |               |
| P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> – фон                  | 62,5                               | –             | 76,2                      | –             | 72,8                      | –             | 71,0                          | –             |
| Zn <sub>0,05</sub>                                      | 71,8                               | 9,3           | 76,6                      | 0,4           | 72,6                      | 0,2           | 71,1                          | 0,3           |
| Zn <sub>0,10</sub>                                      | 73,4                               | 10,9          | 79,2                      | 3,0           | 73,0                      | –             | 71,4                          | –             |
| Zn <sub>0,15</sub>                                      | 77,7                               | 15,2          | 76,3                      | 0,1           | 71,0                      | –             | 66,7                          | –             |
| HCP <sub>0,5</sub>                                      | 2,8                                |               |                           |               |                           |               |                               |               |
| Горох, зерно (2024–2025 гг.)                            |                                    |               |                           |               |                           |               |                               |               |
| N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> – фон  | 39,8                               | –             | 41,8                      | –             | 39,2                      | –             | 39,2                          | –             |
| Zn <sub>0,04</sub>                                      | 43,8                               | 4,0           | 44,4                      | 2,6           | 41,0                      | 1,8           | 40,5                          | 1,3           |
| Zn <sub>0,08</sub>                                      | 44,5                               | 4,7           | 45,0                      | 3,2           | 41,3                      | 2,1           | 40,5                          | 1,3           |
| Zn <sub>0,12</sub>                                      | 45,5                               | 5,7           | 45,7                      | 3,9           | 42,0                      | 2,8           | 41,3                          | 2,1           |
| HCP <sub>0,5</sub>                                      | 2,2                                |               |                           |               |                           |               |                               |               |

Наиболее отзывчивой культурой на изменение концентрации цинка в почве является люцерна. В зависимости от уровня обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком урожайность сухой массы люцерны варьировала в диапазоне 62,5–76,2 ц/га. Повышение концентрации подвижного цинка в почве от низкого до среднего уровня способствовало увеличению урожайности сухой массы люцерны на 13,4 ц/га, зерна кукурузы – на 4,5 ц/га, зерна гороха – на 2,0 ц/га. При этом у озимой пшеницы чувствительность к концентрации подвижного цинка в почве выражена слабее, чем у других культур в опыте. В зависимости от уровня обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком урожайность озимой пшеницы варьировала в диапазоне 69,5–70,6 ц/га.

Некорневые подкормки озимой пшеницы цинковым удобрением эффективны при низком и среднем уровне обеспеченности супесчаной почвы подвижным цин-

ком. При низком содержании цинка в почве некорневые подкормки микроудобрением МикроСтим-Цинк в дозах 0,05 и 0,075 кг/га д. в. повышали урожайность зерна на 4,3 и 6,2 ц/га соответственно при урожайности в фоновом варианте 70,1 ц/га (см. табл. 1). На среднем уровне обеспеченности почвы цинком прибавки урожайности озимой пшеницы ниже и составили при внесении цинкового удобрения в дозах 0,05 и 0,075 кг/га д. в. 2,9 и 3,8 ц/га соответственно при урожайности в фоновом варианте 70,9 ц/га. При высокой и избыточной обеспеченности почвы цинком применение некорневых подкормок озимой пшеницы цинковым удобрением не эффективно.

При возделывании кукурузы на низком уровне обеспеченности супесчаной почвы цинком некорневая подкормка растений в фазе 6–8 листьев цинком в дозах 0,05, 0,10 и 0,15 кг/га повышала урожайность зерна на 4,3, 7,4 и 8,8 ц/га соответственно. На среднем уровне обеспеченности цинком прибавки урожайности зерна кукурузы от некорневой подкормки цинковым удобрением ниже и составили 3,1–4,1 ц/га.

Некорневая подкормка люцерны цинковым удобрением в возрастающих дозах на фоне минеральных удобрений в дозе  $P_{90}K_{180}$  повышала урожайность люцерны на 9,3–15,2 ц/га на низкой обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком и на 3,0 ц/га сухой массы – при средней обеспеченности. На высоком и избыточном уровнях обеспеченности почвы подвижным цинком внесение микроудобрения МикроСтим-Цинк в некорневую подкормку не приводило к повышению урожайности люцерны.

Некорневые подкормки гороха цинковыми удобрениями на низкой и средней обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком на фоне  $N_{40}P_{60}K_{120}$  повышают урожайность зерна на 4,0–5,7 и 2,6–3,9 ц/га при урожайности 43,8–45,5 и 44,4–45,7 ц/га соответственно.

Результаты исследований показали, что потребление цинка растениями возрастает линейно с повышением его концентрации в почве и с увеличением дозы цинкового удобрения (рис., табл. 2). Больше всего цинк накапливается в зерне гороха и сухой массе люцерны, наименьшее содержание цинка отмечается в зерне кукурузы.

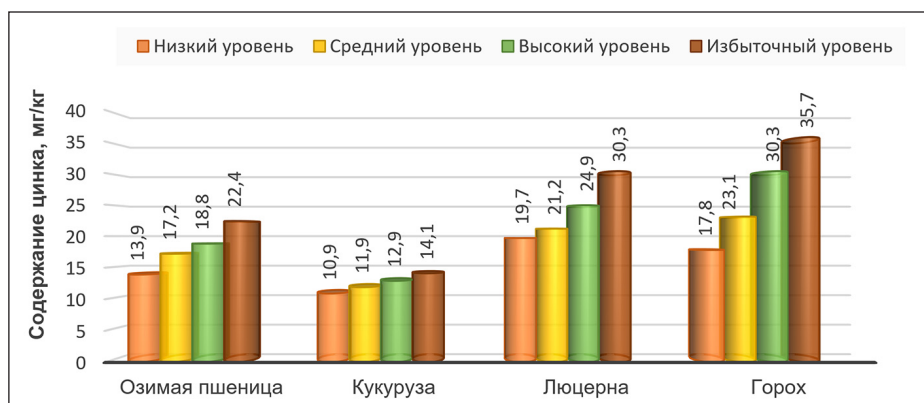


Рис. Накопление цинка в растениеводческой продукции при разной обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком, мг/кг

Таблица 2

**Накопление цинка в растениеводческой продукции в зависимости от доз  
цинкового удобрения и уровня обеспеченности супесчаной почвы этим  
элементом, мг/кг**

| Варианты                                                | Уровни обеспеченности почвы цинком |                           |                           |                          |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                                                         | Низкий,<br>2,3–3,0 мг/кг           | Средний,<br>3,5–5,0 мг/кг | Высокий,<br>6,7–7,7 мг/кг | Избыточный,<br>10,0–11,4 |
| <b>Озимая пшеница, зерно</b>                            |                                    |                           |                           |                          |
| N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон | 13,9                               | 17,2                      | 18,8                      | 22,4                     |
| Zn <sub>0,05</sub>                                      | 16,7                               | 20,1                      | 22,1                      | 22,8                     |
| Zn <sub>0,075</sub>                                     | 17,5                               | 20,2                      | 17,1                      | 22,7                     |
| Zn <sub>0,10</sub>                                      | 17,8                               | 20,5                      | 23,1                      | 25,2                     |
| <b>Кукуруза, зерно</b>                                  |                                    |                           |                           |                          |
| N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон | 10,9                               | 11,9                      | 12,9                      | 14,1                     |
| Zn <sub>0,05</sub>                                      | 11,6                               | 12,9                      | 13,8                      | 14,9                     |
| Zn <sub>0,10</sub>                                      | 12,1                               | 13,9                      | 14,2                      | 15,6                     |
| Zn <sub>0,15</sub>                                      | 12,3                               | 13,5                      | 14,3                      | 15,5                     |
| <b>Люцерна, сухая масса</b>                             |                                    |                           |                           |                          |
| P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> – фон                  | 19,7                               | 21,2                      | 24,9                      | 30,3                     |
| Zn <sub>0,05</sub>                                      | 21,4                               | 22,5                      | 26,0                      | 31,2                     |
| Zn <sub>0,10</sub>                                      | 23,2                               | 24,0                      | 27,9                      | 34,4                     |
| Zn <sub>0,15</sub>                                      | 25,6                               | 27,0                      | 29,5                      | 35,8                     |
| <b>Горох, зерно</b>                                     |                                    |                           |                           |                          |
| N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> – фон  | 17,8                               | 23,1                      | 30,3                      | 35,7                     |
| Zn <sub>0,04</sub>                                      | 19,8                               | 25,5                      | 31,6                      | 37,0                     |
| Zn <sub>0,08</sub>                                      | 20,5                               | 26,1                      | 32,3                      | 37,9                     |
| Zn <sub>0,12</sub>                                      | 20,4                               | 27,1                      | 33,5                      | 39,3                     |

С повышением концентрации подвижного цинка в почве от низкого до избыточного уровня, содержание элемента в зерне гороха возрастает с 17,8 до 35,7 мг/кг, в люцерны – с 19,7 до 30,3 мг/кг, в зерне озимой пшеницы – с 13,9 до 22,4 мг/кг и в зерне кукурузы – с 10,9 до 14,1 мг/кг сухой массы.

Двукратная некорневая подкормка озимой пшеницы цинковым удобрением в дозах 0,05–0,10 кг д. в./га повышала содержание цинка в зерне до 16,7–17,8 мг/кг при низком содержании элемента в почве, до 20,1–20,5 мг/кг – при среднем и до 22,1–23,1 мг/кг и 22,7–25,2 мг/кг – при высоком и избыточном содержании.

Некорневая подкормка кукурузы (в фазе 6–8 листьев) цинком в дозах 0,05–0,15 кг д. в./га увеличивала накопление цинка в зерне до 11,6–12,3 мг/кг на низком уровне, до 12,9–13,5 мг/кг – при среднем и до 13,8–14,3 мг/кг и 14,9–15,5 мг/кг сухой массы при высоком и избыточном уровне обеспеченности подвижным цинком супесчаной почвы.

Применение цинкового удобрения в дозах 0,05–0,15 мг/кг в подкормку люцерны при низкой обеспеченности супесчаной почвы цинком повышало содержание этого элемента в растениях до 21,4–25,6 мг/кг, при среднем – до 22,5–27,0 мг/кг, на высоком – до 26,0–29,5 мг/кг, и избыточном уровне – до 31,2–35,8 мг/кг.

Некорневая подкормка гороха цинковым удобрением при низком содержании подвижного цинка в почве увеличивала концентрацию элемента в зерне до 19,8–20,5 мг/кг, при среднем уровне – до 25,5–27,1 мг/кг, на высоком уровне – до 31,6–33,5 мг/кг, на избыточном – до 37,0–39,3 мг/кг.

Поведение цинка в системе почва–растение в зависимости от почвенно-климатических условий можно охарактеризовать с помощью коэффициентов биологического поглощения (КБП). Расчеты коэффициента биологического поглощения показали, что растения обладают высоким потенциалом поглощения цинка, особенно при низкой его концентрации в почве (табл. 3). Снижение содержания цинка в растениях при относительно высоком содержании его в почвах является свидетельством ограниченного поглощения элемента растениями в связи с наличием физиолого-биохимических барьеров поглощения и низкой подвижностью цинка.

Таблица 3

**Коэффициенты биологического поглощения цинка в зависимости от уровня обеспеченности почвы подвижным цинком и дозы цинкового удобрения**

| Варианты                                                | Уровни обеспеченности почвы цинком |                           |                           |                                |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
|                                                         | Низкий,<br>2,3–3,0 мг/кг           | Средний,<br>3,5–5,0 мг/кг | Высокий,<br>6,7–7,7 мг/кг | Избыточный,<br>10,0–11,4 мг/кг |
| <b>Озимая пшеница</b>                                   |                                    |                           |                           |                                |
| N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон | 5,0                                | 3,9                       | 2,7                       | 1,4                            |
| Zn <sub>0,05</sub>                                      | 6,0                                | 4,6                       | 3,2                       | 1,5                            |
| Zn <sub>0,0,75</sub>                                    | 6,3                                | 4,6                       | 2,5                       | 1,5                            |
| Zn <sub>0,10</sub>                                      | 6,4                                | 4,7                       | 3,3                       | 1,6                            |
| <b>Кукуруза</b>                                         |                                    |                           |                           |                                |
| N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон | 4,2                                | 2,5                       | 1,7                       | 1,2                            |
| Zn <sub>0,05</sub>                                      | 4,5                                | 2,7                       | 1,8                       | 1,3                            |
| Zn <sub>0,10</sub>                                      | 4,7                                | 3,0                       | 1,9                       | 1,4                            |
| Zn <sub>0,15</sub>                                      | 4,7                                | 2,9                       | 1,9                       | 1,3                            |
| <b>Люцерна</b>                                          |                                    |                           |                           |                                |
| P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> – фон                  | 7,6                                | 5,6                       | 3,8                       | 2,7                            |
| Zn <sub>0,05</sub>                                      | 8,2                                | 5,9                       | 4,0                       | 2,8                            |
| Zn <sub>0,10</sub>                                      | 8,9                                | 6,3                       | 4,3                       | 3,1                            |
| Zn <sub>0,15</sub>                                      | 9,8                                | 7,1                       | 4,5                       | 3,2                            |
| <b>Горох</b>                                            |                                    |                           |                           |                                |
| N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> – фон  | 5,9                                | 4,6                       | 3,9                       | 3,1                            |
| Zn <sub>0,04</sub>                                      | 6,6                                | 5,1                       | 4,1                       | 3,2                            |
| Zn <sub>0,08</sub>                                      | 6,8                                | 5,2                       | 4,2                       | 3,3                            |
| Zn <sub>0,12</sub>                                      | 6,8                                | 5,4                       | 4,4                       | 3,4                            |

Установлено, что при низком (3,0 мг/кг) содержании цинка в супесчаной почве коэффициент биологического поглощения для зерна озимой пшеницы составил 5,0–6,4, для зерна кукурузы – 4,2–4,7, для люцерны – 7,6–9,8, для гороха – 5,9–6,8. При избыточной концентрации подвижного цинка в почве (11,4 мг/кг) поглощение его снижается до 1,4–1,6 (озимая пшеница), до 1,2–1,4 (кукуруза), до 2,7–3,2 (люцерна) и до 3,1–3,4 (горох). При внесении цинкового удобрения в некорне-

вые подкормки гороха коэффициент биологического поглощения увеличивается с повышением доз микроудобрения.

## ВЫВОДЫ

1. При возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистой супесчаной почве урожайность зависела от уровня обеспеченности почвы подвижным цинком и доз внесения цинкового удобрения в некорневую подкормку. Некорневые подкормки цинковым удобрением наиболее эффективны при низкой и средней обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком. При низком содержании цинка в почве внесение в некорневую подкормку озимой пшеницы цинкового удобрения на фоне минеральных удобрений повышает урожайность зерна на 3,4–6,2 ц/га, кукурузы – на 4,3–8,8 ц/га, гороха – 4,0–5,7 ц/га, сухой массы люцерны – на 9,3–15,2 ц/га.

2. Потребление цинка растениями возрастает линейно с повышением его концентрации в почве и с увеличением дозы цинкового удобрения. С повышением концентрации подвижного цинка в почве от низкого до избыточного уровня, содержание элемента в зерне озимой пшеницы возрастает с 13,9 до 22,4 мг/кг, кукурузы – с 10,9 до 14,1 мг/кг, гороха – с 17,8 до 35,7 мг/кг, в сухой массе люцерны – с 19,7 до 30,3 мг/кг сухой массы. Некорневая подкормка растений цинковым удобрением при низкой и средней обеспеченности почвы цинком повышает накопление элемента в зерне озимой пшеницы до 17,8 и 20,5 мг/кг, кукурузы – до 12,3 и 13,9, мг/кг, гороха – до 20,5 и 27,1 мг/кг, в сухой массе люцерны – до 25,6 и 27,0 мг/кг сухой массы соответственно. При внесении цинкового удобрения в некорневые подкормки растений коэффициент биологического поглощения цинка увеличивается с повышением доз микроудобрения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сычев, В. Г. Цинк в агроэкосистемах России. Мониторинг и эффективность применения / В. Г. Сычев, А. Н. Аристархов, Т. А. Яковлева – М.: ВНИИА, 2015. – 204 с.
2. Система применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / М. В. Рак, И. М. Богдевич, В. В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Мн., 2006. – 28 с.
3. Гайсин, И. А. Микроудобрения в современной земледелии / И. А. Гайсин, Р. Н. Сигитова, Р. Р. Хабибуллин // Агрохимический вестник. – 2010. – № 4. – С. 13–15.
4. Аристархов, А. Н. Эффективность применения цинковых микроудобрений под яровую пшеницу на дерново-подзолистых почвах Центрального Нечерноземья / А. Н. Аристархов, А. В. Волков, Т. А. Яковлева // Плодородие. – 2014. – № 2. – С. 9–12.
5. Влияние микроудобрения МикроСтим-Цинк на урожайность и качество зерна озимой пшеницы при различной обеспеченности почвы цинком / М. В. Рак, Т. Г. Николаева, С. А. Титова, Л. Н. Гук // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 193–200.

6. *Депутатов, К. В.* Влияние цинковых микроудобрений на качество зерна озимой пшеницы (*triticum aestivum* L.) на дерново-подзолистых почвах Калининградской области / К. В. Депутатов, Л. М. Григорович // Вестник Курской ГАУ. – 2022. – № 7 – С. 34–40.

7. *Кляусова, Ю. В.* Влияние некорневой подкормки цинком, йодом и селеном на урожайность и микроэлементный состав зеленой массы и зерна кукурузы / Ю. В. Кляусова, М. В. Рак // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 1(42) – С. 188–195.

8. *Рак, М. В.* Эффективность жидких микроудобрений МикоСтим при возделывании люцерны / М. В. Рак, С. А. Титова, Т. Г. Николаева // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58) – С. 169–176.

9. *Сафак, Дж.* Влияние цинка на урожайность и некоторые связанные с этим свойства люцерны / Дж. Сафак // Турецкий журнал полевых культур. – 2009. – № 14(2). – С.136–143.

10. *Ионова, Л. П.* Влияние некорневых подкормок марганцем и цинком на сорта гороха с различным вегетационным периодом // Экология биосистем: проблемы изучения, индикации и прогнозирования: материалы Междунар. науч.-практ. конф. 20–25 августа 2007 г. – Ч. 1. – Астрахань, 2007. – С. 273–277.

## **EFFECT OF ZINC FERTILIZER ON YIELD AND ZINC ACCUMULATION IN PRODUCTION OF WINTER WHEAT, MAIZE AND LEGUMES AT DIFFERENT LEVELS OF SUPPLY OF SANDY LOAM SOIL WITH THIS ELEMENT**

**M. V. Rak, E. N. Pukalova, N. S. Guzova, S. G. Kudlasevich, L. N. Guk**

### **Summary**

This article presents the results of studies on the effectiveness of foliar zinc fertilization of agricultural crops at different levels of zinc availability in sandy loam soil. Foliar zinc fertilization is most effective in sandy loam soils with low and moderate levels of available zinc. Zinc uptake by plants increases linearly with increasing soil concentration and zinc fertilizer application rate.

*Поступила 14.04.2026*

## **ПРОГНОЗ СНИЖЕНИЯ КОЛЛЕКТИВНОЙ ДОЗЫ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ ЗАГРЯЗНЕННЫХ $^{90}\text{Sr}$ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЗЕРНОФУРАЖНЫХ КУЛЬТУР**

**Ю. В. Путятин, И. М. Богдевич, И. С. Станилевич**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время радиоэкологическая обстановка в Беларуси определяется действием долгоживущих изотопов. Среди них –  $^{90}\text{Sr}$  с периодом полураспада 28,7 лет. Стронций-90 в почве по сравнению с цезием-137 имеет более высокую долю мобильных форм, что является определяющим фактором в процессах миграции радионуклида по трофическим цепям. Радиоактивное загрязнение почв, являющихся основным депо радионуклидов в экосистемах и начальным звеном трофических цепей, обуславливает накопление изотопов в организмах растений, животных и человека, а также формирование дозовых нагрузок.

Статус территорий радиоактивного загрязнения регулируется Законом Республики Беларусь «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС», который устанавливает приоритет принципа радиационной безопасности при проведении всех мероприятий в загрязненных районах. Это значит, что при выборе стратегий реабилитации предпочтение должно отдаваться вариантам, в наибольшей степени способствующим снижению дозовых нагрузок. Имеет место редкий случай однонаправленности экономического и экологического критериев, так как затраты на снижение коллективных доз облучения населения всегда будут во много раз меньше затрат на лечение заболевших от облучения. Хотя «аварийные» дозы в настоящее время в большинстве населенных пунктов ниже доз облучения от других источников, но в социальном плане они стоят на первом месте как основной источник беспокойства. Поэтому радиационная защита населения должна планироваться с учетом реакции на аварийную ситуацию.

При разработке стратегий применения защитных мероприятий в растениеводстве, направленных на получение максимального эффекта от их применения с минимальными дополнительными вложениями, необходимо учитывать ряд факторов, определяющих формирование доз внутреннего облучения, к числу которых относятся плотность и состав выпадений, тип и плодородие почв.

Ликвидация последствий аварии в агропромышленном комплексе стала важным элементом в обеспечении радиационной безопасности населения. Разработанная система контрмер привела к снижению доз облучения населения и в значительной степени сократила производство загрязненной продукции. Исследователи указывают, что наибольший эффект от применения контрмер отмечался в первые годы после аварии, уменьшаясь во времени [1]. Эффективность уменьшения со-

держания радионуклидов в урожае в результате известкования кислых и бедных питательными веществами почв существенно выше, чем плодородных почв [2].

Известкование почв является основным агрохимическим способом снижения миграции  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в растения. Для достижения оптимального уровня кислотности почвы в Беларуси были разработаны дозы извести, дифференцированные по плотности радиоактивного загрязнения и гранулометрическому составу. В настоящее время основная потребность в известковых удобрениях на загрязненных радионуклидами землях определяется в соответствии с «Инструкцией по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель» [3]. На минеральные земли с плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  5,0 и более Ки/км<sup>2</sup> (185 кБк/м<sup>2</sup>) и  $^{90}\text{Sr}$  0,3 и более Ки/км<sup>2</sup> (11 кБк/м<sup>2</sup>) предусматривается дополнительное внесение извести с целью ускоренного доведения реакции почв до оптимальных значений. В послеаварийный период систематическое известкование в повышенных дозах позволило значительно сократить площади кислых почв.

Согласно нормам радиационной безопасности НРБ-2000 и Научного комитета ООН по действию атомной радиации в качестве основного дозового предела для населения при нормальных условиях установлено значение эффективной дозы равное 1 мЗв в год, сверх годовой эффективной эквивалентной дозы от природных источников равной 2,4 мЗв [4, 5]. При обосновании стратегий ведения сельскохозяйственного производства на загрязненных территориях, а также при анализе эффективности защитных мероприятий помимо использования радиэкологических критериев (т. е. оценки снижения удельной активности радионуклидов в продукции после внедрения контрмеры) широко используются радиологические показатели (оценка предотвращенной дозы за счет применения защитной меры, выраженная в единицах коллективной дозы и измеренная в чел.-Зв).

Критерием эффективности защитных мер является оценка международных экспертов (МКРЗ, МАГАТЭ) для развитых стран – проведение защитного мероприятия может считаться оправданным, если в результате его проведения стоимость снижения коллективной дозы на 1 чел.-Зв составят 20 тыс. долларов США, с возможными вариациями от 10 000 до 40 000 долларов США/чел.-Зв. [6, 7]. Данные значения стоимости предотвращенной дозы могут рассматриваться в качестве критерия обоснованности экономической целесообразности проведения защитных агрохимических мероприятий. Если стоимость предотвращенной дозы выше значений указанного интервала, вмешательство не может считаться экономически оправданным. В долгосрочный период после аварии есть необходимость в более взвешенной оценке в реализации применения контрмер с целью более эффективного использования материально-технических ресурсов.

Цель исследования – установить ожидаемую эффективность оптимизации кислотности почвы при возделывании зернофуражных культур на снижение коллективной дозы облучения  $^{90}\text{Sr}$  на население Республики Беларусь на основе дозовой оценки и стоимости затрат на предотвращение коллективной дозы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В расчете прогноза загрязнения продукции использована электронная база данных агрохимического и радиационного обследования сельскохозяйственных земель (2021–2025 гг.) Института почвоведения и агрохимии: показатели  $\text{pH}_{\text{KCl}}$

и плотности загрязнения пашни по 18 районам Гомельской и Могилевской областей, коэффициенты перехода  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в зерновые культуры (озимое тритикале, яровое тритикале, озимый ячмень, яровой ячмень, овес) в зависимости от  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  и гранулометрического состава [8] с учетом доли зерновых культур – 50 % от площади пашни. Для прогноза загрязнения урожая использованы верхние границы значений оптимальных параметров  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  для дерново-подзолистых суглинистых почв – 6,7, супесчаных – 6,2, песчаных – 5,8 [9]. Расчеты были выполнены для пахотных земель с плотностью загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  свыше 0,15 Ки/км<sup>2</sup> (5,55 кБк/м<sup>2</sup>).

Расчет изменений загрязнения продукции  $^{90}\text{Sr}$  в результате оптимизации кислотности производился по формуле

$$\Delta U_a = \text{Пз}(\text{КПф} - \text{КПо}) \cdot 37, \quad (1)$$

где  $\Delta U_a$  – разница между удельной активностью продукции при фактическом и оптимальном значении  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , Бк/кг; Пз – плотность загрязнения почв (данные агрохимического и радиационного обследования сельскохозяйственных земель за 2021–2025 гг.),  $^{90}\text{Sr}$  Ки/км<sup>2</sup>; КПф – коэффициент перехода  $^{90}\text{Sr}$  [8] в зависимости от гранулометрического состава почв при фактических значениях  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  (данные агрохимического и радиационного обследования сельскохозяйственных земель за 2021–2025 гг.); КПо – коэффициент перехода  $^{90}\text{Sr}$  [8] в зернофуражные культуры при оптимальных значениях  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  в зависимости от гранулометрического состава почв; 37 – коэффициент пересчета нКи/кг в Бк/кг.

При проведении расчетов предотвращенных коллективных доз облучения  $E_{\text{coll}}^{\text{avert}}$   $^{90}\text{Sr}$  за счет оптимизации почвенной кислотности было применено выражение

$$E_{\text{coll}}^{\text{avert}} = (Q_1 - Q)V \cdot dk_p, \text{ чел.} - \text{Зв}, \quad (2)$$

где  $Q$  – загрязнение сельскохозяйственной продукции  $^{90}\text{Sr}$  (Бк/кг) при оптимизации  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  почвы;  $Q_1$  – загрязнение сельскохозяйственной продукции  $^{90}\text{Sr}$  (Бк/кг) при текущих значениях  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  почвы (данные XI тура агрохимического обследования);  $V$  – производство зерна в год с единицы площади (га), кг (усредненные данные за 2021–2024 гг.);  $dk_p$  – коэффициент пересчета от годового поступления  $^{90}\text{Sr}$  в организм человека к эффективной дозе.

Поскольку  $^{90}\text{Sr}$  накапливается в организме человека в течении всей жизни, для расчетов был использован дозовый коэффициент  $8 \times 10^{-8}$  Зв/Бк для критической группы – дети в возрасте от 12–17 лет [4].

Для расчетов по достижению заданной оптимальной  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  в исследовании использованы нормативы затрат  $\text{CaCO}_3$  для сдвига реакции среды дерново-подзолистых почв на 0,1 pH 0,75–1,38 т/га в зависимости от гранулометрического состава почв [10]. Расчет стоимости предотвращенной дозы облучения производился как отношение величины предотвращенной дозы к величине затрат на проведение агрохимической защитной меры на 1 гектар.

В данной работе критерием экономической обоснованности проведения контрмеры была принята стоимость снижения коллективной дозы на 1 чел.-Зв – 10 000–40 000 долларов США (USD) [6]. Если стоимость предотвращенной дозы выше указанного значения, вмешательство оценивалось как экономически неоправданное.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Среди обследованных районов Беларуси высокий вынос  $^{90}\text{Sr}$  зерном зернофуражных культур отмечается в Хойникском (686 МБк/год), Брагинском (656) и Речицком (382), низкий – в Кормянском (14), Славгородском (12) и Краснопольском районах (8 МБк/год). Существенные различия в выносе радионуклидов с товарной продукцией в районах республики в основном обусловлены плотностью загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  и площадью загрязнения пахотных земель (табл. 1). Ежегодно с загрязненных территорий площадью 195 тыс. га с плотностью свыше 0,15 Ки/км<sup>2</sup> с урожаем зерна выносятся в среднем  $^{90}\text{Sr}$  – 2991 МБк/год (2568–4272). На продовольственные цели используется около 20% произведенного зерна, при переработке значительная часть радионуклидов остается во вторичных продуктах и переход  $^{90}\text{Sr}$  из рациона в продукцию животноводства составляет 0,04–3,2 % на килограмм продукта [8], фактический вклад в коллективную дозу  $^{90}\text{Sr}$  при использовании зерна на фураж будет на два порядка ниже.

Таблица 1

**Загрязнение  $^{90}\text{Sr}$ , кислотность пахотных почв и вынос  $^{90}\text{Sr}$  зернофуражными культурами районов пострадавших от аварии на ЧАЭС**

| Район                   | Площадь<br>загрязнения<br>пашни $^{90}\text{Sr}$<br>( $>0,15$ Ки/км <sup>2</sup> ) | Средне-взве-<br>шенная плот-<br>ность загрязне-<br>ния пашни, $^{90}\text{Sr}$ |                    | Средне-<br>взвешенное<br>значение<br>$\text{pH}_{(\text{КС})}$ | Вынос $^{90}\text{Sr}$ зернофу-<br>ражными культурами*,<br>МБк/год |      |       |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------|-------|
|                         | га                                                                                 | кБк/м <sup>2</sup>                                                             | Ки/км <sup>2</sup> | единиц                                                         | ср.                                                                | мин. | макс. |
| Гомельская область      |                                                                                    |                                                                                |                    |                                                                |                                                                    |      |       |
| Брагинский              | 23402                                                                              | 20,4                                                                           | 0,55               | 5,98                                                           | 655                                                                | 561  | 779   |
| Буда-Кошелевский        | 12139                                                                              | 6,7                                                                            | 0,18               | 5,81                                                           | 129                                                                | 111  | 154   |
| Ветковский              | 17687                                                                              | 7,8                                                                            | 0,21               | 6,03                                                           | 215                                                                | 183  | 255   |
| Гомельский              | 13348                                                                              | 6,7                                                                            | 0,18               | 5,89                                                           | 112                                                                | 101  | 144   |
| Добрушский              | 12944                                                                              | 10,4                                                                           | 0,28               | 5,88                                                           | 180                                                                | 154  | 214   |
| Ельский                 | 1537                                                                               | 5,9                                                                            | 0,16               | 5,66                                                           | 44                                                                 | 38   | 53    |
| Калинковичский          | 15743                                                                              | 9,6                                                                            | 0,26               | 5,67                                                           | 238                                                                | 203  | 283   |
| Кормянский              | 386                                                                                | 5,2                                                                            | 0,14               | 5,97                                                           | 14                                                                 | 12   | 17    |
| Лоевский                | 7484                                                                               | 7,4                                                                            | 0,20               | 5,73                                                           | 64                                                                 | 56   | 778   |
| Мозырский               | 186                                                                                | 4,4                                                                            | 0,12               | 5,50                                                           | 24                                                                 | 21   | 29    |
| Наровлянский            | 9468                                                                               | 8,1                                                                            | 0,22               | 5,81                                                           | 119                                                                | 102  | 142   |
| Речицкий                | 30246                                                                              | 8,1                                                                            | 0,22               | 5,84                                                           | 382                                                                | 327  | 454   |
| Хойникский              | 33992                                                                              | 26,3                                                                           | 0,71               | 6,06                                                           | 686                                                                | 587  | 815   |
| Чечерский               | 5898                                                                               | 7,8                                                                            | 0,21               | 5,87                                                           | 62                                                                 | 53   | 74    |
| Итого                   | <b>188589</b>                                                                      | –                                                                              | –                  | <b>5,84</b>                                                    | 2924                                                               | 2509 | 4191  |
| Могилевская область     |                                                                                    |                                                                                |                    |                                                                |                                                                    |      |       |
| Костюковичский          | 3240                                                                               | 5,9                                                                            | 0,16               | 6,02                                                           | 30                                                                 | 26   | 36    |
| Краснопольский          | 238                                                                                | 5,9                                                                            | 0,16               | 5,97                                                           | 8                                                                  | 7    | 10    |
| Славгородский           | 852                                                                                | 5,2                                                                            | 0,14               | 5,81                                                           | 12                                                                 | 11   | 15    |
| Чериковский             | 2227                                                                               | 5,6                                                                            | 0,15               | 5,93                                                           | 17                                                                 | 15   | 20    |
| Итого                   | <b>6557</b>                                                                        | –                                                                              | –                  | <b>5,93</b>                                                    | 67                                                                 | 59   | 81    |
| <b>Всего 18 районов</b> | <b>195146</b>                                                                      | –                                                                              | –                  | –                                                              | 2991                                                               | 2568 | 4272  |

\* Расчеты выполнены исходя из урожайности зерновых культур в 2021–2024 гг., коэффициентов перехода радионуклида из почвы в зерно, общей площади загрязнения почв и доли зерновых на пашне – 50 %.

В работе Я. Э. Кенигсберга и Ю. Е. Крюк (2007) приводятся данные, что за весь послеаварийный период (1986–2005 гг.) на ликвидацию последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС Республикой Беларусь затрачено 17 млрд долларов США, величина предотвращенной коллективной дозы составила 152000 чел.-Зв [12]. Исходя из вышеназванных затрат можно рассчитать, что стоимость 1 чел.-Зв предотвращенной коллективной дозы за 20-летний период после аварии составила 112 тыс. долларов США. Довольно высокая стоимость экономии дозы объясняется тем, что в суммарные затраты на ликвидацию последствий катастрофы на ЧАЭС вошли не только расходы на радиационную защиту, но и расходы на строительство жилья для переселенцев, компенсационные выплаты, радиэкологический мониторинг и др.

Интенсивность перехода  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в растения зависит от кислотности почвы: с увеличением pH переход радиостронция из почвы в растения снижается. Интенсивность действия нейтрализации кислотности на снижение перехода  $^{90}\text{Sr}$  в растения выше – при более низких значениях pH. В интервалах pH выше 6, темпы снижения накопления радионуклидов при известковании резко снижаются. Если принять за единицу накопление радионуклидов сельскохозяйственными культурами при pH – 6,0, оптимальном для выращивания большинства видов растений, и рассчитать накопление при доведении pH с 5 до 6, можно отметить, что накопление  $^{90}\text{Sr}$  при увеличении pH на 1 единицу сокращается до 1,6–2,8 раз. При доведении pH с 6 до 7, снижение накопления  $^{90}\text{Sr}$  составляет лишь 0,5–0,8 раз. Увеличение pH почвы на 0,1 единицы в интервале 5–6 вызывает снижение накопления  $^{90}\text{Sr}$  в среднем у зерновых культур на 6 %, в интервале pH 6–7 темпы снижения поступления  $^{90}\text{Sr}$  уменьшаются в среднем в 1,5 раза [2]. Следовательно, затраты на предотвращение коллективной дозы при известковании почв с более высокими исходными pH будут выше, чем на кислых почвах.

Для оптимизации защитных мероприятий в сельскохозяйственном производстве используется схема «затраты – выгода», которая приводит экономические и радиологические показатели к единой стоимостной шкале – стоимости предотвращенной коллективной дозы (1 чел.-Зв) [6, 11].

Республика Беларусь обладает большими запасами разведанного карбонатного сырья, пригодного для промышленного производства известковых мелиорантов. Объемы производства полностью обеспечивают потребности сельского хозяйства республики в доломитовой муке при сравнительно ее невысокой цене на внутреннем рынке.

При экономической оценке затрат на предотвращение коллективной дозы за счет оптимизации кислотности почвы под зернофуражные культуры путем внесения доломитовой муки и использование продукции на корм молочному стаду (производство молока цельного) установлено, что в Хойникском и Брагинском районах с высокой плотностью загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  эти затраты будут минимальны – 203 и 231 долларов США на 1 чел.-Зв на гектар пашни, в Чечерском, Мозырском и Костюковичском районах затраты составляют 925–1590 долларов США (табл. 2).

Высокий эффект на предотвращение коллективной дозы  $^{90}\text{Sr}$  при возделывании зернофуражных культур можно ожидать при известковании дерново-подзолистых почв с плотностью загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  более 0,30 Ки/км<sup>2</sup> (11 кБк/м<sup>2</sup>).

В настоящее время доля пахотных земель с плотностью загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  выше 0,3 Ки/км составляет не более 62 тыс. га. Оптимизация степени кислотности почв является одним из условий повышения урожайности сельскохозяйственных культур и получения потенциальной прибыли при производстве нормативно чистой продукции на загрязненных территориях. Если стоимость получения от известкования прибавки покрывает все расходы, то применение известкования, даже при нулевой рентабельности, будет экономически оправданным с точки зрения снижения коллективных доз облучения и при низкой плотности загрязнения почв, но при условии, что темпы снижения удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  в урожае будут выше, чем темпы роста прибавки урожая после известкования.

Таблица 2

**Прогноз предотвращенных доз  $^{90}\text{Sr}$  за счет оптимизации кислотности почв под зернофуражные культуры (использование на производство цельного молока)**

| Район                      | Предотвращенная доза, $^{90}\text{Sr}^*$ , чел.-мЗв/га |              |              | Стоимость предотвращенной коллективной дозы на 1 га**, USD/чел.-Зв |            |            |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------------------------------------------------------------|------------|------------|
|                            | ср.                                                    | мин.         | макс.        | ср.                                                                | мин.       | макс.      |
| <b>Гомельская область</b>  |                                                        |              |              |                                                                    |            |            |
| Брагинский                 | 0,432                                                  | 0,4104       | 0,4536       | 231                                                                | 220        | 243        |
| Буда-Кошелевский           | 0,130                                                  | 0,1235       | 0,1365       | 827                                                                | 785        | 868        |
| Ветковский                 | 0,302                                                  | 0,2869       | 0,3171       | 506                                                                | 481        | 532        |
| Добрушский                 | 0,281                                                  | 0,26695      | 0,29505      | 447                                                                | 425        | 470        |
| Ельский                    | 0,216                                                  | 0,2052       | 0,2268       | 520                                                                | 494        | 546        |
| Кормянский                 | 0,130                                                  | 0,1235       | 0,1365       | 650                                                                | 617        | 682        |
| Лоевский                   | 0,330                                                  | 0,3135       | 0,3465       | 642                                                                | 610        | 674        |
| Мозырский                  | 0,170                                                  | 0,1615       | 0,1785       | 930                                                                | 884        | 977        |
| Наровлянский               | 0,290                                                  | 0,2755       | 0,3045       | 515                                                                | 489        | 540        |
| Речицкий                   | 0,191                                                  | 0,18145      | 0,20055      | 564                                                                | 536        | 593        |
| Хойникский                 | 0,390                                                  | 0,3705       | 0,4095       | 203                                                                | 193        | 214        |
| Чечерский                  | 0,130                                                  | 0,1235       | 0,1365       | 925                                                                | 879        | 971        |
| Среднее                    | 0,249                                                  | 0,237        | 0,262        | 580                                                                | 551        | 609        |
| <b>Могилевская область</b> |                                                        |              |              |                                                                    |            |            |
| Костюковичский             | 0,050                                                  | 0,047        | 0,053        | 1590                                                               | 1511       | 1670       |
| Краснопольский             | 0,124                                                  | 0,118        | 0,130        | 616                                                                | 585        | 647        |
| Славгородский              | 0,099                                                  | 0,094        | 0,104        | 820                                                                | 779        | 861        |
| Чериковский                | 0,049                                                  | 0,047        | 0,052        | 696                                                                | 661        | 731        |
| Среднее                    | 0,081                                                  | 0,077        | 0,085        | 930                                                                | 884        | 977        |
| <b>Среднее, 16 районов</b> | <b>0,165</b>                                           | <b>0,157</b> | <b>0,174</b> | <b>755</b>                                                         | <b>718</b> | <b>793</b> |

\* Расчеты выполнены на основе данных агрохимического и радиологического обследования при условии достижения оптимальной кислотности пахотных почв.

\*\* Расчеты выполнены с учетом затрат стоимости доломитовой муки с внесением для достижения pH в почвах с фактических до оптимальных значений.

В текущий период в ряду районов республики наблюдается значительная часть почв с реакцией среды близкой к нейтральной. В Гомельской области при средневзвешенном показателе  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  в целом на пахотных почвах – 5,78 [13] на загрязненных землях – 5,93 (+0,15), в Могилевской области – 5,75 и 5,84 (+0,09)

соответственно. Доля почв, загрязненных радионуклидами пахотных земель с реакцией среды более 6,01 ( $pH_{KCl}$ ) в Гомельской области составляет 48 %, в Могилевской – 45 %. Доля кислых почв на которых может быть достигнута высокая эффективность по предотвращению коллективной дозы за счет оптимизации кислотности почвы в Гомельской области составляет 26 %, Могилевской – 29 % (табл. 3).

Таблица 3

**Распределение загрязнённых радионуклидами пахотных почв по группам кислотности, ( $pH_{KCl}$ )**

| Область     | По группам кислотности, % |           |           |           |           |           |        |
|-------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
|             | < 4,50                    | 4,51–5,00 | 5,01–5,50 | 5,51–6,00 | 6,01–6,50 | 6,51–7,00 | > 7,00 |
| Брестская   | 2,8                       | 9,1       | 21,7      | 30,6      | 22,8      | 10,3      | 2,8    |
| Гомельская  | 1,9                       | 7,0       | 17,2      | 25,9      | 27,0      | 16,3      | 4,7    |
| Гродненская | 5,2                       | 13,3      | 27,9      | 28,3      | 20,1      | 3,0       | 2,2    |
| Минская     | 1,2                       | 6,4       | 22,2      | 38,6      | 27,2      | 4,4       | 0,2    |
| Могилевская | 3,5                       | 8,8       | 17,1      | 25,5      | 30,0      | 13,4      | 1,7    |
| Беларусь    | 2,3                       | 7,5       | 17,5      | 26,4      | 27,7      | 14,8      | 3,7    |

В Брагинском районе средневзвешенные значения  $pH_{KCl}$  составляют – 6,06, в Хойникском – 6,05, в Кормянском – 5,99, в Могилевской области в Краснопольском – 5,89, Чериковском – 6,02 и т. д. В настоящее время, возможности радикального снижения поступления радиостронция в сельскохозяйственные культуры за счет оптимизации кислотности почв в вышеуказанных районах в значительной степени исчерпаны, поскольку более 60% пахотных почв районов имеют реакцию почв выше  $pH_{KCl} > 5,5$ . Следует отметить, что после аварии на ЧАЭС, известкование кислых почв являлось приоритетным защитным мероприятием и широкомасштабное внесение доломитовой муки в повышенных дозах позволило практически оптимизировать состояние почвенной кислотности загрязненных радионуклидами земель и свести к минимуму переходы радионуклидов в урожай. В отдаленный период после аварии на ЧАЭС основная задача применения данной защитной меры – поддержание достигнутого оптимального уровня реакции почв и известкование отдельных участков с высокой кислотностью, обеспечивая при этом получение растениеводческой продукции с минимальным содержанием радионуклидов на всей площади сельскохозяйственных земель.

## ВЫВОДЫ

Экономическая оценка затрат на предотвращение коллективной дозы за счет оптимизации кислотности почвы под зернофуражные культуры путем внесения доломитовой муки и использование продукции на корм молочному стаду (производство молока цельного) показывает, что в Хойникском и Брагинском районах с высокой плотностью загрязнения  $^{90}Sr$  эти затраты будут минимальны – 203 и 231 долларов США на 1 чел.-Зв на гектар пашни, в Чечерском, Мозырском и Костюковичском районах затраты составляют 925–1590 долларов США. Высокого эффекта на снижение коллективной дозы от оптимизации почвенной кислотности можно ожидать на почвах с плотностью загрязнения  $^{90}Sr$  бо-

лее 0,3 Ки/км<sup>2</sup> (11,1 кБк/м<sup>2</sup>), доля которых составляет по республике менее 62 тыс. га.

В настоящее время возможности радикального снижения поступления радиостронция в сельскохозяйственные культуры за счет оптимизации кислотности почв в вышеназванных районах в значительной степени исчерпаны, поскольку более 60% пахотных земель районов имеют реакцию почв выше  $pH_{KCl} > 5,5$  и низкую плотность загрязнения радиостронцием.

В отдаленный период после аварии на ЧАЭС основная задача применения данной защитной меры – поддержание достигнутого оптимального уровня реакции почв и известкование отдельных участков с высокой кислотностью, обеспечивая при этом получение растениеводческой продукции с минимальным содержанием радионуклидов на всей площади сельскохозяйственных земель.

Полученные данные могут быть использованы для радиолого-экономических оценок эффективности защитных мероприятий и определения дальнейших приоритетов в выборе оптимальных путей снижения дозовых нагрузок <sup>90</sup>Sr на население.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние сельскохозяйственных защитных мероприятий на облучение населения, проживающего на территориях загрязненных после аварии на Чернобыльской АЭС Радиационная биология / А. В. Панов, С. В. Фесенко, Н. И. Санжарова [и др.] // Радиоэкология. – 2006. – № 46(2). – С. 273–279.
2. *Путятин, Ю. В.* Минимизация поступления радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в растениеводческую продукцию: монография / Ю. В. Путятин. – Мн.: Институт почвоведения и агрохимии, 2008. – 255 с.
3. Инструкция по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель / В. В. Лапа, Г. В. Пироговская, И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2019. – 32 с.
4. ГН 2.6.1.8-127-2000. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000). – Мн.: УП ДИЭККОС, 2001. – 124 с.
5. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации: доклад Науч. комитета ООН по действию атомной радиации Генеральной Ассамблее за 1988 г. – М.: Мир, 1993. – Т. 2. – 341 с.
6. Оптимизация радиационной защиты на основе анализа соотношения затраты – выгода / Публикация 37 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 186 с.
7. Age dependent doses to members of the public from intakes of radionuclides: part I / ICRP publication. – Pergamon Press, 1990. – № 56.
8. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Н. Н. Цыбулько, В. В. Лапа, И. М. Богдевич [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, МСХП РБ, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2021. – 144 с.
9. Агрохимические регламенты для повышения плодородия почв и эффективного использования удобрений: учеб. пособие / В. В. Лапа [и др.]. – Горки: БГСХА, 2002. – 48 с.
10. *Клебанович, Н. В.* Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Василюк. – Мн.: Изд-во БГУ, 2003. – 322 с.

11. *Панов, А. В.* Оптимизация защитных мероприятий в сельских населенных пунктах в зоне аварии на Чернобыльской АЭС / А. В. Панов, С. В. Фесенко, Р. М. Алексахин // Докл. Рос. акад. с.-х. наук. – 2005. – № 3. – С. 3–6.

12. *Кенигсберг, Я. Э.* Оценка предотвращенного ущерба при ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в Республике Беларусь / Я. Э. Кенигсберг, Ю. Е. Крюк // Радиация и риск. – 2007. – Т.16. – № 2–4. – С. 27–32.

13. *Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020)* / И. М. Богдевич, В. В. Лапа, М. В. Рак [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн.: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. – 276 с.

## **THE FORECAST OF REDUCING THE COLLECTIVE DOSE OF IRRADIATION OF THE POPULATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS BY OPTIMIZATON THE ACIDITY OF SOILS CONTAMINATED WITH <sup>90</sup>SR AT THE CULTIVATION OF GRAIN FEED CROPS**

**Y. V. Putyatin, I. M. Bogdevitch, I. S. Stanilevich**

### **Summary**

Liming of acidic soils was a priority protective measure, and large-scale application of dolomite flour in high doses made it possible to practically optimize the state of soil acidity of radionuclide-contaminated lands and minimize the transfer of radionuclides into crop production. The results of research on the effectiveness of optimizing soil acidity optimization to reduce the collective irradiation dose of strontium-90 to the population of the Republic of Belarus are presented. Based on the cost-benefit analysis, it is shown that the cost of preventing a collective dose as a result of liming of soils for grain feed crops is 200–1600 \$ per 1 person.-Sv per hectare depending on the density of strontium-90 soil contamination and their acidity.

A high effect on preventing the collective dose of strontium-90 at the cultivation of grain feed crops can be expected when liming sod-podzolic soils with a strontium-90 contamination density of more than 0,30 Ki/km<sup>2</sup> (11 kBq/m<sup>2</sup>). Currently, the share of arable lands with a strontium-90 contamination density of over 0,30 Ki/km is no more than 62 thousand hectares. The share of acidic soils (less than 5,5 pH<sub>KCl</sub>) on which high efficiency can be achieved in preventing collective dose by optimization soil acidity is 26 % in the Gomel region and 29 % in the Mogilev region.

*Поступила 10.03.2026*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАКРО- И МИКРОУДОБРЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ**

**М. В. Рак, Е. Н. Пукалова, С. Г. Кудласевич**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

В условиях преобладающих в структуре сельскохозяйственных угодий Беларуси дерново-подзолистых почв внесение удобрений является основным фактором высокой урожайности сельскохозяйственных культур с хорошим качеством продукции, сохранения и повышения почвенного плодородия. Плодородие почв и уровень применения удобрений на современном этапе развития земледелия являются также наиболее важным условием повышения устойчивости растений к неблагоприятным погодным условиям. За счет научно обоснованного применения удобрений на дерново-подзолистых супесчаных и легкосуглинистых почвах формируется около половины продуктивности растений.

Минеральное питание – одно из основных регулируемых факторов, используемых для целенаправленного управления ростом и развитием растений с целью создания высокого урожая хорошего качества. В последние годы в республике в структуре посевных площадей увеличиваются посевы озимого ячменя. Для сбалансированного питания растений озимого ячменя в целях повышения урожайности и качества зерна особенно важен дифференцированный подход к применению макро- и микроудобрений с учетом обеспеченности почвы доступными формами элементов. При возделывании этой культуры по современным технологиям с ростом урожайности озимого ячменя увеличивается вынос элементов минерального питания, включая микроэлементы, усиливается подвижность питательных веществ, что приводит к необходимости изменения состава применяемых удобрений. Получение высоких урожаев озимого ячменя невозможно без создания оптимального уровня питания, и здесь еще много нерешенных проблем, в частности, необходимы определение потребности растений в элементах минерального питания и разработки нормативов выноса макро- и микроэлементов, что позволит снизить затраты на минеральные удобрения при возделывании этой культуры. При этом важно определить влияние разных доз азотных, медных, марганцевых и цинковых удобрений на фоне внесения фосфорных и калийных удобрений на урожайность и качество зерна озимого ячменя. Для повышения эффективности азота, фосфора и калия в технологии возделывания озимого ячменя большое значение имеет также внесение микроэлементов.

## 1. АГРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МАКРО- И МИКРОУДОБРЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ

Озимые зерновые культуры достаточно требовательны к почвенным условиям. Высокая урожайность озимых зерновых культур обеспечивается при сбалансированном минеральном питании растений. По своему действию на формирование урожайности, затратам и влиянию на плодородие почвы из всех приемов агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур ведущее место занимает система применения удобрений. Озимые зерновые культуры формируют более высокую урожайность на высококультуренных дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных, подстилаемых моренным суглинком почвах, с оптимальным уровнем содержания гумуса и подвижных соединений фосфора и калия. В зависимости от уровня окультуренности почвы доля затрат на применение удобрений существенно изменяется. Поэтому при разработке технологий возделывания озимых зерновых культур на высококультуренных дерново-подзолистых почвах важное значение имеет выявление наиболее оптимальных вариантов применения макро- и микроудобрений на основе оценки их агрономической и экономической эффективности. Ниже представлен ряд результатов полевых опытов по оценке эффективности различных вариантов применения удобрений при возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почвах.

Исследования по изучению влияния доз и сроков применения азотных, медных, марганцевых и цинковых удобрений на урожайность и качество зерна озимого ячменя сорта Буслик проводились в 2023–2025 гг. в двух полевых опытах. В РУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района проведены исследования на дерново-подзолистой супесчаной почве ( $pH_{KCl}$  5,5–6,2, гумус – 2,0–2,3 %,  $P_2O_5$  – 207–240,  $K_2O$  – 199–217, В – 0,3, Cu – 1,4–2,1, Zn – 2,7–3,7,  $Mn_{обм.}$  – 1,2–3,0, S – 1,5–3,3 мг/кг почвы).

В ОАО «Гастелловское» Минского района проведены исследования на дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве ( $pH_{KCl}$  6,1–6,6, гумус – 2,2–2,4 %,  $P_2O_5$  – 740–766,  $K_2O$  – 319–411, В – 0,5–0,6, Cu – 1,9–2,4, Zn – 3,2–4,4,  $Mn_{обм.}$  – 1,8–2,0, S – 3,7–4,4 мг/кг почвы).

В полевом опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве установлено, что двукратная азотная подкормка озимого ячменя (сорт Буслик) в дозах  $N_{50+40}$  и  $N_{70+50}$  (в начале активной вегетации и в стадии первого узла) на фоне внесения  $P_{75}K_{150}$  повышает урожайность зерна на 18,1 и 22,8 ц/га, содержание белка – на 1,4 и 2,3 % при урожайности 55,1 и 59,8 ц/га соответственно (табл. 1).

Некорневые подкормки озимого ячменя микроудобрениями на фоне минерального питания  $N_{90}P_{75}K_{150}$  и  $N_{120}P_{75}K_{150}$  повышали урожайность зерна на 4,6–5,7 и 4,1–4,6 ц/га соответственно. Более высокие прибавки урожайности зерна озимого ячменя отмечены при совместном внесении медных и марганцевых удобрений. Так, некорневая подкормка озимого ячменя медью и марганцем в стадии 1-го узла в дозах по 50 г д. в/га на фоне внесения минеральных удобрений в дозах  $N_{90}P_{75}K_{150}$  и  $N_{120}P_{75}K_{150}$  повышает урожайность зерна на 4,9 и 4,4 ц/га при урожайности 60,0 и 64,1 ц/га соответственно. Двукратное внесение меди и марганца в некорневые подкормки озимого ячменя (осенью в фазе кущения и весной в стадии 1-го узла) в дозах по 50 г д. в/га обеспечивает повышение урожайности зерна на 5,7 ц/га на фоне внесения  $N_{90}P_{75}K_{150}$  и на 4,6 ц/га – на фоне  $N_{120}P_{75}K_{150}$ .

Таблица 1

**Влияние макро- и микроудобрений на урожайность и содержание белка в зерне при возделывании озимого ячменя на супесчаной почве (среднее за 2023–2025 гг.)**

| Варианты                                          | Урожайность зерна, ц/га | Прибавка |      | Содержание белка, % |
|---------------------------------------------------|-------------------------|----------|------|---------------------|
|                                                   |                         | ц/га     | %    |                     |
| Без удобрений                                     | 23,5                    | –        | –    | 8,1                 |
| $P_{75}K_{150}$ – фон                             | 37,0                    | –        | –    | 9,3                 |
| $N_{90}P_{75}K_{150}$ – фон 1                     | 55,1                    | 18,1     | 48,8 | 10,7                |
| Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$                      | 60,0                    | 4,9      | 8,8  | 11,3                |
| Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}Zn_{0,075}$            | 59,7                    | 4,6      | 8,3  | 11,2                |
| Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05} + Cu_{0,05}Mn_{0,05}$ | 60,8                    | 5,7      | 10,4 | 11,4                |
| $N_{120}P_{75}K_{150}$ – фон 2                    | 59,8                    | 22,8     | 61,4 | 11,6                |
| Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$                      | 64,1                    | 4,4      | 7,2  | 12,1                |
| Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}Zn_{0,075}$            | 63,8                    | 4,1      | 6,7  | 12,0                |
| Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05} + Cu_{0,05}Mn_{0,05}$ | 64,4                    | 4,6      | 7,8  | 12,1                |
| $HCP_{05}$                                        | 2,3                     |          |      | 1,1                 |

При возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве двукратная азотная подкормка озимого ячменя в дозах  $N_{50+40}$  и  $N_{70+50}$  (в начале активной вегетации и в стадии 1-го узла) на фоне внесения  $P_{35}K_{90}$  повышает урожайность зерна на 21,8 и 26,7 ц/га, содержание белка – на 0,9 и 1,6 % при урожайности 60,0 и 64,9 ц/га соответственно (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние макро- и микроудобрений на урожайность и содержание белка в зерне при возделывании озимого ячменя на легкосуглинистой почве (среднее за 2023–2025 гг.)**

| Варианты                                          | Урожайность зерна, ц/га | Прибавка |      | Содержание белка, % |
|---------------------------------------------------|-------------------------|----------|------|---------------------|
|                                                   |                         | ц/га     | %    |                     |
| Без удобрений                                     | 24,8                    | –        | –    | 8,8                 |
| $P_{75}K_{150}$ – фон                             | 38,2                    | –        | –    | 9,8                 |
| $N_{90}P_{75}K_{150}$ – фон 1                     | 60,0                    | 21,8     | 57,1 | 10,7                |
| Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$                      | 65,7                    | 5,7      | 9,6  | 11,1                |
| Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}Zn_{0,075}$            | 66,3                    | 6,3      | 10,5 | 11,1                |
| Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05} + Cu_{0,05}Mn_{0,05}$ | 66,7                    | 6,7      | 11,2 | 11,4                |
| $N_{120}P_{75}K_{150}$ – фон 2                    | 64,9                    | 26,7     | 70,0 | 11,4                |
| Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$                      | 69,6                    | 4,7      | 7,2  | 11,9                |
| Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}Zn_{0,075}$            | 70,3                    | 5,4      | 8,3  | 11,8                |
| Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05} + Cu_{0,05}Mn_{0,05}$ | 71,0                    | 6,1      | 9,5  | 12,1                |
| $HCP_{05}$                                        | 2,6                     |          |      | –                   |

Некорневые подкормки озимого ячменя микроудобрениями на фоне внесения минеральных удобрений в дозе  $N_{90}P_{35}K_{90}$  и  $N_{120}P_{35}K_{90}$  повышают урожайность зерна на 5,7–6,7 и 4,7–6,1 ц/га соответственно. При этом некорневая подкормка медью и марганцем в стадии 1-го узла в дозах по 50 г д.в./га на фоне внесения минеральных удобрений в дозах  $N_{90}P_{75}K_{150}$  и  $N_{120}P_{75}K_{150}$  повышает

урожайность зерна на 5,7 и 4,7 ц/га при урожайности 65,7 и 69,6 ц/га соответственно.

Анализ приведенных в таблицах 3 и 4 результатов оценки агроэкономической эффективности применения удобрений показал, что на супесчаной почве двукратная подкормка озимого ячменя азотными удобрениями в дозах  $N_{50+40}$  и  $N_{70+50}$  (в начале активной вегетации и в стадии 1-го узла) на фоне внесения  $P_{75}K_{150}$  обеспечивает прибавку урожайности зерна 18,1 и 22,8 ц/га, прибыль 163 и 185 руб./га при рентабельности 45 и 40 % соответственно (табл. 3). На высокококультуренной легкосуглинистой почве двукратная подкормка озимого ячменя азотными удобрениями в дозах  $N_{50+40}$  и  $N_{70+50}$  на фоне внесения  $P_{35}K_{90}$  обеспечивает прибавку урожайности зерна 21,8 и 26,7 ц/га, прибыль 245 и 274 руб./га при рентабельности 64 и 55 % соответственно.

Таблица 3

**Агроэкономическая эффективность применения азотных подкормок при возделывании озимого ячменя (среднее за 2023–2025 гг.)**

| Варианты                                   | Урожайность | Прибавка | Стоимость прибавки | Общие затраты | Прибыль | Рентабельность, % |
|--------------------------------------------|-------------|----------|--------------------|---------------|---------|-------------------|
|                                            | ц/га        |          | руб/га             |               |         |                   |
| Дерново-подзолистая супесчаная почва       |             |          |                    |               |         |                   |
| P <sub>75</sub> K <sub>150</sub> – фон     | 37,0        | –        | –                  | –             | –       | –                 |
| Фон + N <sub>90</sub>                      | 55,1        | 18,1     | 523                | 360           | 163     | 45                |
| Фон + N <sub>120</sub>                     | 59,8        | 22,8     | 659                | 471           | 188     | 40                |
| Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва |             |          |                    |               |         |                   |
| P <sub>35</sub> K <sub>90</sub> – фон      | 38,2        | –        | –                  | –             | –       | –                 |
| Фон + N <sub>90</sub>                      | 60,0        | 21,8     | 630                | 385           | 245     | 64                |
| Фон + N <sub>120</sub>                     | 64,9        | 26,7     | 772                | 498           | 274     | 55                |

Таблица 4

**Агроэкономическая эффективность применения микроудобрений при возделывании озимого ячменя (среднее за 2023–2025 гг.)**

| Варианты                                                                      | Урожай-<br>ность | Прибав-<br>ка | Стоимость<br>прибавки | Общие<br>затраты | При-<br>быль | Рента-<br>бель-<br>ность,% |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------|-----------------------|------------------|--------------|----------------------------|
|                                                                               | ц/га             |               | руб/га                |                  |              |                            |
| Дерново-подзолистая супесчаная почва                                          |                  |               |                       |                  |              |                            |
| N <sub>90</sub> P <sub>75</sub> K <sub>150</sub> – фон 1                      | 55,1             | –             | –                     | –                | –            | –                          |
| Cu <sub>0,05</sub> Mn <sub>0,05</sub>                                         | 60,0             | 4,9           | 142                   | 66               | 76           | 115                        |
| Cu <sub>0,05</sub> Mn <sub>0,05</sub> + Cu <sub>0,05</sub> Mn <sub>0,05</sub> | 60,8             | 5,7           | 165                   | 102              | 63           | 62                         |
| N <sub>120</sub> P <sub>75</sub> K <sub>150</sub> – фон 2                     | 59,8             | –             | –                     | –                | –            | –                          |
| Cu <sub>0,05</sub> Mn <sub>0,05</sub>                                         | 64,1             | 4,3           | 124                   | 61               | 63           | 103                        |
| Cu <sub>0,05</sub> Mn <sub>0,05</sub> + Cu <sub>0,05</sub> Mn <sub>0,05</sub> | 64,4             | 4,6           | 133                   | 94               | 39           | 41                         |
| Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва                                    |                  |               |                       |                  |              |                            |
| N <sub>90</sub> P <sub>35</sub> K <sub>90</sub> – фон 1                       | 60,0             | –             | –                     | –                | –            | –                          |
| Cu <sub>0,05</sub> Mn <sub>0,05</sub>                                         | 65,7             | 5,7           | 165                   | 71               | 94           | 132                        |
| Cu <sub>0,05</sub> Mn <sub>0,05</sub> + Cu <sub>0,05</sub> Mn <sub>0,05</sub> | 66,7             | 6,7           | 194                   | 109              | 85           | 78                         |
| N <sub>120</sub> P <sub>35</sub> K <sub>90</sub> – фон 2                      | 64,9             | –             | –                     | –                | –            | –                          |
| Cu <sub>0,05</sub> Mn <sub>0,05</sub>                                         | 69,6             | 4,7           | 136                   | 64               | 72           | 112                        |
| Cu <sub>0,05</sub> Mn <sub>0,05</sub> + Cu <sub>0,05</sub> Mn <sub>0,05</sub> | 71,0             | 6,1           | 176                   | 105              | 71           | 68                         |

На супесчаной почве некорневая подкормка озимого ячменя медными и марганцевыми удобрениями в дозах  $\text{Cu}_{0,05}\text{Mn}_{0,05}$  на фоне внесения  $\text{N}_{90}\text{P}_{75}\text{K}_{150}$  и  $\text{N}_{120}\text{P}_{75}\text{K}_{150}$  обеспечивает прибавку урожайности зерна 4,9 и 4,3 ц/га, прибыль 76 и 63 руб/га при рентабельности 115 и 103 % соответственно (табл. 4). На высокоокультуренной легкосуглинистой почве некорневая подкормка озимого ячменя микроудобрениями в дозах  $\text{Cu}_{0,05}\text{Mn}_{0,05}$  на фоне внесения  $\text{N}_{90}\text{P}_{35}\text{K}_{90}$  и  $\text{N}_{120}\text{P}_{35}\text{K}_{90}$  обеспечивает прибавку урожайности зерна 5,7 и 4,7 ц/га, прибыль 94 и 72 руб/га при рентабельности 132 и 112 % соответственно.

## 2. ВЫНОС МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ С УРОЖАЕМ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ

Эффективность удобрений обеспечивается при внесении их по научно обоснованной системе. При разработке системы удобрения большое значение имеет вынос элементов питания урожаем сельскохозяйственных культур. С повышением продуктивности посевов, а следовательно, и отчуждения элементов питания урожаем пропорционально возрастает необходимость применения удобрений с целью компенсации их дефицита в почве.

Для оценки эффективности применения удобрений при возделывании озимого ячменя важное значение имеет химический состав основной и побочной продукции, поскольку внесенные удобрения оказывают значительное влияние на поступление элементов минерального питания в растения, чем определяют как уровень урожайности, так и качество получаемой продукции.

Для формирования урожая зерна и соломы озимого ячменя в разной степени использовались питательные вещества. По содержанию в зерне озимого ячменя макроэлементы располагаются в порядке убывания:  $\text{N} > \text{K} > \text{P} > \text{S}$ , микроэлементы –  $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$ . В соломе озимого ячменя макроэлементы по степени снижения их содержания образуют следующий ряд:  $\text{K} > \text{N} > \text{S} > \text{P}$ , микроэлементы –  $\text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$ .

Содержание меди в зерне озимого ячменя в среднем составляет 1,5–2,7, марганца – 5,6–8,2, цинка – 7,4–11,0 мг/кг сухой массы. Под влиянием комплексного внесения меди и марганца содержание микроэлементов в зерне повышалось на 10,1–12,3 %. Накопление цинка в зерне от некорневой подкормки озимого ячменя цинковым удобрением увеличилось на 12,8–17,8 %.

При возделывании озимого ячменя по современным технологиям с ростом урожайности увеличивается вынос элементов минерального питания, включая микроэлементы, усиливается подвижность питательных веществ, что приводит к необходимости изменения состава применяемых удобрений. Общий вынос элементов минерального питания основной и побочной продукцией растений – достаточно динамичная величина, которая зависит не только от биологии растений, но и от типа почв, уровня получаемых урожаев и интенсивности применения агрохимических средств. В связи с вышеизложенным возникает необходимость определения потребности растений в элементах минерального питания и разработки нормативов выноса макро- и микроэлементов озимым ячменем, что позволит снизить затраты на минеральные удобрения при возделывании этой культуры.

Исходя из экспериментальных данных урожайности зерна и соломы озимого ячменя, химического состава основной и побочной продукции рассчитан общий и удельный вынос элементов питания урожаем озимого ячменя.

При оценке общего и удельного выноса установлено, что за период вегетации с урожаем озимого ячменя в большей мере отчуждается азот и калий и сравнительно меньше – фосфор, кальций, магний и сера. Из микроэлементов с урожаем ячменя больше выносятся марганца, меньше – цинка, а самое низкое значение характерно для меди.

Таким образом, при возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве удельный вынос элементов питания урожаем в среднем составляет: азота – 22,2 кг, фосфора – 6,9, калия – 28,9, кальция – 3,4, магния – 5,7, серы – 3,4 кг, меди – 3,7 г, цинка – 13,2, марганца – 28,5 г на 1 т зерна с соответствующим количеством соломы. На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве удельный вынос соответственно составляет: азота – 21,8 кг, фосфора – 8,6, калия – 40,8, кальция – 3,5, магния – 4,8, серы – 4,7 кг, меди – 5,0 г, цинка – 18,1, марганца – 24,6 г на 1 т зерна с соответствующим количеством соломы (табл. 5). Разработанные нормативы выноса макро- и микроэлементов будут реализованы в сельскохозяйственных организациях республики при разработке системы удобрения озимого ячменя.

Таблица 5

**Удельный вынос элементов питания с урожаем озимого ячменя**

| N общ.                                     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO | MgO | SO <sub>3</sub> | Cu  | Zn   | Mn   |
|--------------------------------------------|-------------------------------|------------------|-----|-----|-----------------|-----|------|------|
| кг/т                                       |                               |                  |     |     |                 | г/т |      |      |
| Дерново-подзолистая супесчаная почва       |                               |                  |     |     |                 |     |      |      |
| 22,2                                       | 6,9                           | 28,9             | 3,4 | 5,7 | 3,4             | 3,7 | 13,2 | 28,5 |
| Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва |                               |                  |     |     |                 |     |      |      |
| 21,8                                       | 8,6                           | 40,8             | 3,5 | 4,8 | 4,7             | 5,0 | 18,1 | 24,6 |

### 3. ДОЗЫ И СРОКИ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ НА СУПЕСЧАНОЙ И ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВАХ

На основании экспериментальных данных полевых и лабораторных исследований разработана система применения азотных, медных и марганцевых удобрений при возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой супесчаной и высококультуренной легкосуглинистой почвах. В таблице 6 приведены дозы и сроки подкормок озимого ячменя азотными, медными и марганцевыми удобрениями. При возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почвах рекомендуется двукратная подкормка азотными удобрениями в дозах N<sub>50–70</sub> (весной в начале вегетации) и N<sub>40–50</sub> (в стадии 1-го узла) на фоне внесения расчетных доз фосфорных и калийных удобрений. Более высокая агроэкономическая эффективность некорневых подкормок озимого ячменя микроэлементами достигается при использовании двух элементов в сочетании Cu<sub>0,05</sub>Mn<sub>0,05</sub> кг д. в/га. Медные и марганцевые удобрения в некорневую подкормку озимого ячменя вносятся в стадии 1-го узла (ДК 31). В период вегетации озимо-

го ячменя обязательным приемом должно быть внесение ретардантов и защита растений от болезней.

Таблица 6

**Дозы и сроки внесения удобрений при возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почвах**

| Дозы удобрений, кг д. в/га                           | Формы удобрений                                               | Сроки применения                                                                                       |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $N_{22}P_{75}K_{120}^*$<br>$N_{11}P_{35}K_{90}^{**}$ | Суперфосфат аммонизированный, хлористый калий                 | Под предпосевную культивацию                                                                           |
| $N_{50-70}$                                          | КАС                                                           | Весной в начале вегетации                                                                              |
| $N_{40-50}$                                          | Карбамид                                                      | В стадии 1-го узла                                                                                     |
| $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$                                 | Микроудобрения с содержанием меди и марганца в хелатной форме | Некорневая подкормка в стадии 1-го узла (ДК 31) в вечернее время.<br>Расход рабочего раствора 200 л/га |

Расчетные дозы фосфорных и калийных удобрений: \* – супесчаная почва; \*\* – высокоокультуренная легкосуглинистая почва.

Рабочий раствор готовится непосредственно перед проведением некорневой подкормки растений путем разведения концентрата микроудобрений водой. При выборе оптимального срока проведения некорневой подкормки следует учитывать погодные условия. Не рекомендуется опрыскивание на сырые или покрытые росой листья, а также в условиях интенсивного солнечного освещения. Опрыскивание посевов растворами микроудобрений лучше проводить в вечернее время или в пасмурную погоду.

## THE USE OF MACRO- AND MICRO FERTILIZERS IN WINTER BARLEY CULTIVATION TECHNOLOGY ON SOD-PODZOLIC SOILS

M. V. Rak, E. N. Pukalova, S. G. Kudlasevich

### Summary

The recommendations provide agroeconomically justified doses, combinations and timing of application of nitrogen, copper, manganese and zinc fertilizers for the cultivation of winter barley on sod-podzolic sandy loam and light loamy soils, providing increased yield and product quality.

## **СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОГО РАПСА И ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ЗВЕНЕ СЕВООБОРОТА**

**Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш, А. А. Грачева, С. М. Зенькова**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Хорошо окультуренные дерново-подзолистые почвы представляют ценность в качестве стратегического резерва. В Беларуси такие почвы составляют основной фонд обрабатываемых земель, из них суглинистые являются наиболее благоприятными для выращивания всех сельскохозяйственных культур с потенциальной продуктивностью на уровне 6–10 т к. ед./га.

Содержание подвижных соединений фосфора и калия в почве – важная характеристика ее плодородия, которая в значительной мере отображает общий уровень окультуренности. В Беларуси принятый интервал оптимальных параметров содержания подвижных фосфатов составляет 150–300 мг/кг почвы, калия – 100–300 мг/кг почвы. По данным последнего тура агрохимических исследований установлено, что доля суглинистых почв, высокообеспеченных подвижным фосфором (более 400 мг/кг почвы) и калием (более 300 мг/кг почвы), составляет соответственно около 4,4 % (42,2 тыс. га) и 32,2 % (309,0 тыс. га) общей обследуемой площади пашни.

Урожайность возделываемых культур до известных пределов возрастает с увеличением содержания фосфора и калия в почве, а эффективность фосфорных и калийных удобрений при этом снижается. Опыт стран с развитым сельским хозяйством показывает, что на почвах высокой обеспеченности доступными для растений соединениями фосфора и калия особая роль в получении высокой урожайности, снижении себестоимости продукции и экологической безопасности отводится прежде всего оптимизации азотного питания сельскохозяйственных культур. В то же время отмечается, что применение моноазотной системы удобрения связано с неизбежным ухудшением фосфатно-калийного и гумусного состояния почвы, а совместное применение органических и минеральных удобрений оказывает благоприятное воздействие на фосфатный и калийный режим почвы.

Оптимизация минерального питания по этапам онтогенеза растений позволяет в большей степени реализовать генетический потенциал продуктивности возделываемых культур и снизить удельные затраты элементов питания на формирование урожайности. Кроме того, важнейшим условием повышения эффективности сельского хозяйства является усиление устойчивости возделываемых культур к погодно-климатическим изменениям, основанное на проведении адаптационных мер, направленных на предотвращение потерь урожая от негативных последствий. В связи с этим современные системы удобрения рапса, зерновых и других культур,

возделываемых на высококультурных почвах, наряду со сбалансированным применением органических, минеральных удобрений и средств защиты растений, должны предусматривать и более интенсивное использование микроудобрений, органоминеральных удобрений, стимуляторов роста растений и т. п. Комплексное их использование в системе удобрения за счет стимуляции метаболизма и усвоения питательных веществ позволит существенно повысить сбор продукции высокого качества.

Для обоснования более эффективных уровней применения удобрений и целенаправленного регулирования почвенного плодородия в современных условиях используется балансовый метод оптимальных доз минеральных удобрений, который основан на количественных нормативах общего и удельного выноса основных элементов питания с урожаем. Многочисленные исследования по изучению химического состава и уровня накопления элементов питания различными сельскохозяйственными культурами показывают, что вынос элементов питания с единицей урожая не является величиной постоянной и изменяется в тех или иных пределах под действием удобрений, состояния почвенного плодородия, погодных условий. Выявлено, что в результате использования новых интенсивных сортов сельскохозяйственных культур и роста уровня урожайности показатели удельного выноса элементов питания в расчете на 1 т зерна (кг/т) отличаются от установленных ранее справочных нормативов. Так как нормативы выноса элементов питания используются при планировании потребности сельского хозяйства в удобрениях, определении баланса элементов питания, необходимо периодически уточнять средние показатели нормативного выноса элементов питания.

Большое значение в условиях интенсивного земледелия имеет научное обоснование баланса питательных элементов. Основой системы применения удобрений на окультуренных дерново-подзолистых почвах должно быть поддержание за ротацию севооборота бездефицитного баланса азота, фосфора и калия в почвах с оптимальным содержанием этих показателей на основе принципов воспроизводства почвенного плодородия и получения экономически обоснованной продуктивности сельскохозяйственных культур с благоприятным качеством товарной продукции. Показатели баланса питательных элементов позволяют сопоставить вынос их с урожаем основной и побочной продукции и возмещение с удобрениями и другими источниками. Исходной информацией для определения баланса азота, фосфора и калия являются статистические данные о внесении минеральных и органических удобрений, уровнях урожайности и валовых сборах возделываемых сельскохозяйственных культур. Рассчитывается баланс путем сопоставления количества элементов питания, поступивших в почву, с их расходом на создание урожая и непроизводительными потерями. Величина потребления и потерь элементов питания зависит от гранулометрического состава и степени окультуренности почвы, вида, доз и сроков внесения удобрений, агротехнических приемов и многих других условий.

Настоящие рекомендации устанавливают требования к выполнению технологических операций по эффективному использованию удобрений под озимый рапс и зерновые культуры, что при среднегодовом применении 200–233 кг д. в/га минеральных удобрений (в комплексе с микроудобрениями и стимуляторами роста растений для озимых пшеницы и рапса) в звене плодосменного севооборота на

фоне последействия соломистого навоза и сидерата обеспечивает экономически обоснованное получение до 39 ц/га маслосемян озимого рапса с содержанием сырого белка до 22 %, до 76 ц/га зерна озимой пшеницы с содержанием до 30 % клейковины, до 67 ц/га зерна овса при сохранении плодородия дерново-подзолистой высокоокультуренной суглинистой почвы.

## **1. СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ ОЗИМОГО РАПСА И ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ЗВЕНЕ ПЛОДОСМЕННОГО СЕВООБОРОТА НА ВЫСОКООКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ**

Технологии получения высокой урожайности зерна озимых и яровых зерновых культур и маслосемян рапса должны учитывать их требования, предъявляемые к почвам, предусматривать размещение посевов по лучшим предшественникам, использование новых высокоурожайных сортов интенсивного типа, обеспечение посевов элементами питания под планируемую урожайность с учетом почвенных условий (система применения удобрений), высокое качество обработки почвы, применение интегрированной системы защиты растений от болезней, вредителей и сорняков, своевременное выполнение всего комплекса агротехнических работ.

По своему действию на формирование урожайности, затратам и влиянию на плодородие почвы из всех приемов агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур ведущее место занимает система применения удобрений.

Полевые технологические исследования проведены на опытных полях Института почвоведения и агрохимии в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области на высокоокультуренной дерново-подзолистой, развивающейся на мощных лессовидных (пылеватых) легких суглинках, суглинистой почве. Почва (Апах.) опытного участка характеризовалась следующим усредненным уровнем агрохимических показателей: pH 6,35, содержание гумуса – 2,6 %, подвижных форм фосфатов – 709 мг/кг и калия – 279 мг/кг почвы (оптимальный уровень кислотности, высокий – гумуса, повышенный – калия и очень высокий – фосфора).

Исследования проводили в стационарном плодосменном севообороте: кукуруза на зеленую массу – яровая пшеница – озимый рапс – озимая пшеница – овес.

Соломистый навоз КРС в дозе 60 т/га и сидерат (зеленая масса редьки масличной) внесены под первую культуру севооборота – кукурузу на зеленую массу. С 60 т/га соломистого навоза влажностью 76 % на 1 га пашни в среднем по 2-м полям внесено: 336 кг азота, 234 кг фосфора и 372 кг калия. С 5,6 т/га сухой биомассы редьки масличной в почву на 1 га в среднем по 2-м полям поступило: 100 кг азота, 47 кг фосфора и 151 кг калия.

Агротехника возделывания озимого рапса и зерновых культур общепринятая в центральной зоне Беларуси для дерново-подзолистых суглинистых почв.

В результате исследований установлено, что показатели удельного выноса основных элементов минерального питания (с 1 т зерна и соответствующим количеством побочной продукции) культурами звена севооборота, возделываемыми на дерново-подзолистой высокоокультуренной суглинистой почве, отличаются от установленных ранее справочных нормативов и в среднем составляют: для

озимого рапса – 36,1 кг азота, 16,0 – фосфора, 22,5 кг калия; для озимой пшеницы – 21,9 кг азота, 7,7 – фосфора, 9,5 кг калия; для овса – 17,8 кг азота, 12,5 кг фосфора, 21,4 кг калия.

## 2. СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ КУЛЬТУР ЗВЕНА СЕВООБОРОТА

### 2.1. Система удобрения озимого рапса

Возделывание рапса, как наиболее приспособленной для почвенно-климатических условий нашей республики маслично-белковой культуры, способствует решению проблемы обеспечения страны растительным маслом и кормовым белком. Ежегодно посевные площади озимого рапса составляют 300–370 тыс. га. Рапс – отличный предшественник для зерновых и других сельскохозяйственных культур, достаточно требователен к пищевому режиму и плодородию почв.

Озимый рапс Темптейшен F<sub>1</sub> возделывали в двух последовательно открывающихся полях. Предшественник – яровая пшеница. Минеральные удобрения в виде аммонизированного суперфосфата и хлористого калия применяли в основном внесение, кроме того, карбамид – в подкормки в два (при возобновлении вегетации и в фазу бутонизации) и в три срока (до посева, при возобновлении вегетации и в фазу бутонизации). Кроме того, в качестве некорневой подкормки для озимого рапса применяли: микроудобрения (м/у) МикроСтим-Марганец (1,0 л/га) и МикроСтим-Бор (1,0 л/га) – в фазу бутонизации; стимулятор роста растений (СРР) Аминофол Плюс – в начале возобновления вегетации и в фазу бутонизации озимого рапса (1,0 + 1,0 л/га).

Аминофол Плюс – специальный антистрессовый агрохимикат с высоким содержанием аминокислот. Применение Аминофол Плюс помогает растениям преодолевать стрессовые ситуации, стимулирует метаболизм и усвоение питательных веществ, что существенно повышает урожайность и качество продукции даже при неблагоприятных условиях. Аминокислоты стимулируют физиологию и рост растения, обеспечивая готовым энергетическим резервом биологические процессы в стрессовых ситуациях. Содержит: всего аминокислот – 50,0 %, азот (N) всего – 8,9 %.

В среднем за 2 года исследований за счет плодородия высококультурной дерново-подзолистой суглинистой почвы получено 20,5 ц/га маслосемян озимого рапса и 19,0 ц/га соломы (табл. 1).

Применение полных минеральных систем удобрения в дозах N<sub>30+90+60</sub>P<sub>20-30</sub>K<sub>70-90</sub> в комплексе с микроудобрениями обеспечило прибавки урожая на минеральном фоне 12,5 ц/га, органическом фоне с последствием навоза – 11,8 ц/га, сидерата – 12,0 ц/га при окупаемости 1 кг минеральных удобрений 4,0–4,4 ц маслосемян при урожайности 31,8–38,0 ц/га. Урожайность соломы при таких системах удобрения варьировала в пределах 28,1–39,1 ц/га, условная прибыль составила 287–518 руб./га при рентабельности 113–163 %.

Некорневые обработки посевов рапса стимулятором роста Аминофол Плюс в сложившихся погодных условиях опыта способствовали тенденции роста урожая на органических фонах с последствием навоза и сидерата на 0,9–1,5 ц/га, а на минеральном фоне – тенденцией его снижения на 0,9 ц/га.

Таблица 1

## Агроэкономическая эффективность систем удобрения озимого рапса

| Система удобрения                                                     | Урожайность, ц/га |        | Прибавка к фону, ц/га маслосемян | Оплата 1 кг N/NPK урожаем маслосемян, ц | Условная прибыль, руб./га | Рентабельность, % |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------|--------|----------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|-------------------|
|                                                                       | маслосемян        | соломы |                                  |                                         |                           |                   |
| Без удобрений – Фон 1                                                 | 20,5              | 19,0   | –                                |                                         |                           |                   |
| Фон 1 + N <sub>30+90+60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> + м/у*  | 33,0              | 28,5   | 12,5                             | 4,2                                     | 338                       | 131               |
| Фон 1 + N <sub>30+90+60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> + м/у** | 32,1              | 29,4   | 11,6                             | 3,9                                     | 261                       | 89                |
| Фон 1 + N <sub>0+120+60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> + м/у** | 32,5              | 32,1   | 12,0                             | 4,0                                     | 278                       | 94                |
| Фон 1 + N <sub>0+120+60</sub> + м/у**                                 | 27,5              | 31,0   | 7,0                              | 3,9                                     | 103                       | 45                |
| Навоз (2-й год ПД***) – Фон 2                                         | 26,2              | 23,7   | –                                |                                         |                           |                   |
| Фон 2 + N <sub>30+90+60</sub> P <sub>20</sub> K <sub>70</sub> + м/у*  | 38,0              | 39,1   | 11,8                             | 4,4                                     | 518                       | 163               |
| Фон 2 + N <sub>30+90+60</sub> P <sub>20</sub> K <sub>70</sub> + м/у** | 38,9              | 39,6   | 12,7                             | 4,7                                     | 518                       | 144               |
| Фон 2 + N <sub>0+120+60</sub> P <sub>20</sub> K <sub>70</sub> + м/у** | 37,2              | 41,8   | 11,0                             | 4,1                                     | 445                       | 127               |
| Фон 2 + N <sub>0+120+60</sub> + м/у**                                 | 32,2              | 42,7   | 6,0                              | 3,4                                     | 258                       | 86                |
| Сидерат (2-й год ПД***) – Фон 3                                       | 19,8              | 19,3   | –                                |                                         |                           |                   |
| Фон 3 + N <sub>30+90+60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> + м/у*  | 31,8              | 28,1   | 12,0                             | 4,0                                     | 287                       | 113               |
| Фон 3 + N <sub>30+90+60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> + м/у** | 33,3              | 27,6   | 13,5                             | 4,5                                     | 312                       | 104               |
| Фон 3 + N <sub>0+120+60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> + м/у** | 30,6              | 29,3   | 10,8                             | 3,6                                     | 197                       | 69                |
| Фон 3 + N <sub>0+120+60</sub> + м/у**                                 | 28,1              | 31,1   | 8,3                              | 4,7                                     | 129                       | 55                |
| Фактор А (фон) – НСР <sub>05</sub>                                    | 3,7               | 2,0    | –                                |                                         |                           |                   |
| Фактор В (удобрения) – НСР <sub>05</sub>                              | 3,4               | 1,7    |                                  |                                         |                           |                   |

\* Микроудобрение.

\*\* Микроудобрение + стимулятор роста.

\*\*\* Последствие.

При перераспределении доз и сроков азотных подкормок с N<sub>30+90+60</sub> на N<sub>0+120+60</sub> урожайность маслосемян на органическом фоне с последствием навоза снизилась на 1,7 ц/га, последствием сидерата – на 2,7 ц/га. На минеральном фоне, наоборот, дополнительно получено 0,4 ц/га маслосемян озимого рапса.

Моноазотная система удобрения (N<sub>0+120+60</sub>) была менее эффективной, чем полная, по отношению к изучаемым фонам прибавка урожая маслосемян составила 6,0–8,3 ц/га при урожайности 27,5–32,2 ц/га. Каждый килограмм азотных удобрений окупался 3,4–4,7 ц маслосемян. Условная прибыль составила 103–258 руб./га при рентабельности 45–86 %.

Максимальная урожайность маслосемян на уровне 38,9 ц/га сформирована при комплексном применении полного минерального удобрения N<sub>30+90+60</sub>P<sub>20</sub>K<sub>70</sub>, микроудобрений МикроСтим-Марганец, МикроСтим-Бор и стимулятора роста растений Аминофол Плюс. Каждый килограмм минеральных удобрений окупался 4,7 ц/га маслосемян, условная прибыль составила 518 руб./га, рентабельность – 144 %.

Из всего комплекса химических показателей качества семян рапса наиболее значимыми являются содержание в них масла и протеина. Выход белка и масла определялся уровнем урожая и содержанием белка и масла в семенах

озимого рапса. Семена с максимальными показателями содержания масла (49,3–49,9 %) и наименьшим – белка (17,5–19,5 %) получены в фоновых вариантах.

Применение минеральных удобрений способствовало увеличению содержания белка и снижению – масла. Наибольшее содержание белка в маслосеменах установлено при системах удобрения, применяемых на фоне последействия соломистого навоза (20,9–21,6 %), а также на фоне последействия сидерата с применением полной ( $N_{0+120+60}P_{30}K_{90}$ ) и моноазотной ( $N_{0+120+60}$ ) систем удобрения в комплексе с микроудобрениями и стимулятором роста растений (21,3–21,8 %). Содержание масла в этих вариантах составило 47,8–48,3 % (табл. 2).

Наибольшие сборы белка (7,3–7,4 ц/га) и масла (16,4–16,7 ц/га) получены при применении полного минерального удобрения ( $N_{30+90+60}P_{20}K_{70}$ ) с микроудобрениями и при дополнительном использовании стимулятора роста растений на органическом фоне с последействием соломистого навоза.

Таблица 2

Показатели качества маслосемян озимого рапса

| Система удобрения                          | Содержание, % |       | Выход, ц/га |       |
|--------------------------------------------|---------------|-------|-------------|-------|
|                                            | белка         | масла | белка       | масла |
| Без удобрений – Фон 1                      | 19,2          | 49,3  | 3,5         | 9,0   |
| Фон 1 + $N_{30+90+60}P_{30}K_{90}$ + м/у*  | 20,5          | 47,9  | 6,0         | 14,1  |
| Фон 1 + $N_{30+90+60}P_{30}K_{90}$ + м/у** | 19,7          | 48,1  | 5,6         | 13,7  |
| Фон 1 + $N_{0+120+60}P_{30}K_{90}$ + м/у** | 19,6          | 48,4  | 5,7         | 14,0  |
| Фон 1 + $N_{0+120+60}$ + м/у**             | 19,4          | 48,4  | 4,8         | 11,8  |
| Навоз (2-й год ПД***) – Фон 2              | 19,5          | 49,7  | 4,5         | 11,6  |
| Фон 2 + $N_{30+90+60}P_{20}K_{70}$ + м/у*  | 21,6          | 48,6  | 7,3         | 16,4  |
| Фон 2 + $N_{30+90+60}P_{20}K_{70}$ + м/у** | 21,8          | 48,3  | 7,4         | 16,7  |
| Фон 2 + $N_{0+120+60}P_{20}K_{70}$ + м/у** | 20,9          | 48,4  | 6,9         | 16,0  |
| Фон 2 + $N_{0+120+60}$ + м/у**             | 21,4          | 48,4  | 6,1         | 13,8  |
| Сидерат (2-й год ПД***) – Фон 3            | 17,5          | 49,9  | 3,1         | 8,8   |
| Фон 3 + $N_{30+90+60}P_{30}K_{90}$ + м/у*  | 20,3          | 47,9  | 5,7         | 13,6  |
| Фон 3 + $N_{30+90+60}P_{30}K_{90}$ + м/у** | 20,6          | 47,6  | 6,1         | 14,1  |
| Фон 3 + $N_{0+120+60}P_{30}K_{90}$ + м/у** | 21,3          | 47,8  | 5,8         | 13,0  |
| Фон 3 + $N_{0+120+60}$ + м/у**             | 21,8          | 47,8  | 5,5         | 12,0  |
| Фактор А (фон) – НСР <sub>05</sub>         | 0,3           | 0,5   | –           |       |
| Фактор В (удобрения) – НСР <sub>05</sub>   | 0,3           | 0,4   |             |       |

\* Микроудобрение.

\*\* Микроудобрение + стимулятор роста.

\*\*\* Последействие.

Наиболее эффективными системами удобрения при возделывании озимого рапса в звене севооборота оказались следующие:

- комплексное применение полного минерального удобрения в дозе  $N_{30+90+60}P_{20}K_{70}$  в сочетании с микроудобрениями МикроСтим-Марганец, МикроСтим-Бор отдельно и при введении в систему удобрения стимулятора роста растений Аминофол Плюс на фоне 2-го года последействия навоза. Такие системы

удобрения обеспечивают получение с 1 га 38,0–38,9 ц маслосемян с содержанием 21,6–21,8 % белка, 48,3–48,4 % жира при 7,3–7,4 ц выхода сырого белка и 16,4–16,7 ц масла, 39,1–39,6 ц соломы, 518 руб. условного чистого дохода при 144–163 % рентабельности;

- комплексное применение полного минерального удобрения в дозе  $N_{30+90+60}P_{30}K_{90}$  в сочетании с микроудобрениями МикроСтим-Марганец, МикроСтим-Бор, а также при добавлении в систему удобрения стимулятора роста растений Аминофол Плюс на фоне 2-го года последствий сидерата. Данные системы удобрения способствуют получению с 1 га 31,8–33,3 ц маслосемян с содержанием 20,3–20,6 % белка, 47,6–47,9 % жира при 5,5–6,1 ц выхода сырого белка и 12,0–13,8 ц масла, 27,6–28,1 ц соломы, 287–312 руб. условного чистого дохода при 104–113 % рентабельности.

При возделывании озимого рапса на высокоокультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве с высоким содержанием подвижных соединений фосфора и повышенным содержанием калия возможно применение моноазотной системы удобрения ( $N_{180}$ ) на фоне последствий соломистого навоза и сидерата. Такие системы удобрения обеспечивают получение с 1 га 28,1–32,2 ц маслосемян с содержанием 21,4–21,8 % белка, 47,8–48,4 % жира при 5,7–6,1 ц выхода сырого белка и 13,6–14,1 ц масла, 31,1–42,7 ц соломы, 129–258 руб. условного чистого дохода при 55–86 % рентабельности.

## 2.2. Система удобрения озимой пшеницы

Озимая пшеница – одна из наиболее продуктивных и ценных культур, зерно которой используется для продовольственных целей. В Республике Беларусь в последние годы посевные площади под этой культурой составляют порядка 600 тыс. га, или 27 % всей площади пашни. Характерными особенностями культуры являются более высокая потребность в элементах питания, менее развитая корневая система и ее слабая усваивающая способность. Основную массу элементов питания (более 60 %) растения озимой пшеницы потребляют до начала колошения. Наибольшая потребность в азоте определяется в период кущения, фосфора – в первые дни после всходов, а также в более поздние сроки – от выхода в трубку до цветения, когда он оказывает положительное влияние на образование семян. В этот же период (от выхода в трубку до цветения) потребляется и основное количество калия.

Озимую пшеницу сорта Элегия возделывали в двух последовательно открывающихся полях. Предшественник – озимый рапс. Минеральные удобрения в виде аммонизированного суперфосфата и хлористого калия применяли в основное внесение. Азотные удобрения в виде карбамида вносили в три срока (при возобновлении вегетации, стадию 1 узла и фазу флаг-листа) и в четыре срока (при посеве, возобновлении вегетации, стадию 1 узла и фазу флаг-листа). В качестве некорневой подкормки на посевах культуры использовали: микроудобрение МикроСтим-Медь, Марганец (1,0 + 1,0 л/га) – в стадию 1 узла и фазу флаг-листа; стимулятор роста растений Экогум АФ (2,0 + 2,0 л/га) – в начале возобновления вегетации и фазу флаг-листа.

Экогум АФ – гуминовое удобрение нового поколения с повышенной способностью проникновения через клеточные мембраны и большей физиологической

активностью по сравнению с аналогами. Гуминовые и фульвокислоты, входящие в состав Экогум АФ, оказывают непосредственное влияние на клеточные оболочки, повышая их проницаемость и транспорт минеральных соединений в активные метаболические места. Экогум АФ содержит: гуминовые кислоты 40 г/л и фульвокислоты, азот (N – 200 г/л), фосфор ( $P_2O_5$  – 90 г/л) и более 30 элементов минеральных и органических веществ.

Урожайность зерна озимой пшеницы в фоновых вариантах варьировала в пределах 40,3–44,5 ц/га, соломы – 21,9–28,5 ц/га. Применение минеральных удобрений способствовало существенному повышению урожайности как основной, так и побочной продукции. За счет минеральных удобрений в дозах  $N_{0+70+40+50}P_{20-35}K_{35-60}$  в комплексе с микроудобрением МикроСтим-Медь, Марганец дополнительно получено 22,1–25,6 ц/га зерна при окупаемости 1 кг минеральных удобрений 8,8–10,9 кг зерна. При таких системах удобрения получено 61–151 руб./га чистого дохода при 24–58 % рентабельности (табл. 3).

Таблица 3

**Агроэкономическая эффективность систем удобрения озимой пшеницы**

| Система удобрения                                 | Урожайность, ц/га |        | Прибавка к фону, ц/га зерна | Оплата 1 кг N/NPK урожаем зерна, кг | Условная прибыль, руб./га | Рентабельность, % |
|---------------------------------------------------|-------------------|--------|-----------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------|
|                                                   | зерна             | соломы |                             |                                     |                           |                   |
| Без удобрений – Фон 1                             | 42,1              | 28,5   | –                           |                                     |                           |                   |
| $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^*$              | 67,7              | 47,3   | 25,6                        | 10,2                                | 93                        | 33                |
| $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$           | 74,3              | 44,8   | 32,2                        | 12,9                                | 160                       | 52                |
| $N_{20+60+40+40}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$          | 70,0              | 44,5   | 27,9                        | 11,2                                | 112                       | 38                |
| $N_{20+60+40+40} + м/у^{**}$                      | 64,0              | 43,3   | 21,9                        | 13,7                                | 104                       | 49                |
| Навоз (3-й год ПД***) – Фон 2                     | 44,5              | 22,4   | –                           |                                     |                           |                   |
| Фон 2 + $N_{0+70+40+50}P_{20}K_{35} + м/у^*$      | 67,9              | 42,9   | 23,4                        | 10,9                                | 151                       | 58                |
| Фон 2 + $N_{0+70+40+50}P_{20}K_{35} + м/у^{**}$   | 75,1              | 45,5   | 30,6                        | 14,2                                | 236                       | 82                |
| Фон 2 + $N_{20+60+40+40}P_{20}K_{35} + м/у^{**}$  | 75,8              | 46,0   | 31,3                        | 14,6                                | 244                       | 84                |
| Фон 2 + $N_{20+60+40+40} + м/у^{**}$              | 75,2              | 42,2   | 30,7                        | 19,2                                | 276                       | 110               |
| Сидерат (3-й год ПД***) – Фон 3                   | 40,3              | 21,9   | –                           |                                     |                           |                   |
| Фон 3 + $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^*$      | 62,4              | 43,2   | 22,1                        | 8,8                                 | 61                        | 24                |
| Фон 3 + $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$   | 69,1              | 43,1   | 28,8                        | 11,5                                | 139                       | 48                |
| Фон 3 + $N_{20+60+40+40}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$  | 70,2              | 39,7   | 29,9                        | 12,0                                | 153                       | 52                |
| Фон 3 + $N_{20+60+40+40} + м/у^{**}$              | 67,3              | 42,0   | 27,0                        | 16,9                                | 176                       | 78                |
| НСР <sub>05</sub> (фактор А <sub>фон</sub> )      | 5,0               | 4,6    | –                           |                                     |                           |                   |
| НСР <sub>05</sub> (фактор В <sub>варианты</sub> ) | 4,5               | 4,2    |                             |                                     |                           |                   |

\* Микроудобрение.

\*\* Микроудобрение + стимулятор роста.

\*\*\* Последствие.

Дополнительные двукратные подкормки посевов озимой пшеницы стимулятором роста растений Экогум АФ способствовали достоверному увеличению урожайности зерна на 6,6–7,2 ц/га зерна (10–11 %). При таких системах удобрения получено 139–236 руб./га чистого дохода при 48–82 % рентабельности.

Перераспределение доз и азотных удобрений с  $N_{0+70+40+50}$  на  $N_{20+60+40+40}$  на фонах с последствием соломистого навоза и сидерата было малоэффективным приемом с тенденцией роста урожая зерна на 0,7–1,1 ц/га. На минеральном фоне при этом отмечено снижение урожая на 4,3 ц/га.

Моноазотные системы удобрения на фонах с последствием навоза и сидерата несущественно уступали полным по уровню урожайности, а каждый килограмм азотных удобрений окупался 16,9–19,2 кг зерна при 176–276 руб./га чистого дохода и 78–110 % рентабельности. На фоне без использования органических удобрений при исключении из системы удобрения фосфорных и калийных удобрений отмечено достоверное снижение урожайности зерна на 6,0 ц/га (см. табл. 3).

Одними из наиболее важных показателей качества зерна озимой пшеницы является содержание белка и клейковины. Наименьшим содержанием белка (9,6 %) характеризовалось зерно, полученное в варианте без удобрений, а также на органических фонах 3-го года последствия соломистого навоза и сидерата (10,7–10,9 %). Зерно, полученное в варианте без удобрений и на фоне последствием сидерата с содержанием клейковины на уровне 23,4–23,7 %, относится к 3 классу качества (табл. 4).

Таблица 4

## Показатели качества зерна озимой пшеницы

| Система удобрения                                | Содержание, % |            | Выход, ц/га |            |
|--------------------------------------------------|---------------|------------|-------------|------------|
|                                                  | белка         | клейковины | белка       | клейковины |
| Без удобрений – Фон 1                            | 9,6           | 23,7       | 3,5         | 57,3       |
| $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^*$             | 12,9          | 28,4       | 7,5         | 92,0       |
| $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$          | 13,0          | 28,0       | 8,3         | 101,0      |
| $N_{20+60+40+40}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$         | 13,0          | 27,5       | 7,8         | 95,2       |
| $N_{20+60+40+40} + м/у^{**}$                     | 12,9          | 27,2       | 7,1         | 87,0       |
| Навоз (3-й год ПД <sup>***</sup> ) – Фон 2       | 10,9          | 22,0       | 4,2         | 60,5       |
| Фон 2 + $N_{0+70+40+50}P_{20}K_{35} + м/у^*$     | 12,9          | 29,2       | 7,5         | 92,3       |
| Фон 2 + $N_{0+70+40+50}P_{20}K_{35} + м/у^{**}$  | 13,1          | 29,9       | 8,4         | 102,1      |
| Фон 2 + $N_{20+60+40+40}P_{20}K_{35} + м/у^{**}$ | 13,2          | 30,3       | 8,6         | 103,0      |
| Фон 2 + $N_{20+60+40+40} + м/у^*$                | 13,1          | 30,0       | 8,4         | 102,3      |
| Сидерат (3-й год ПД <sup>***</sup> ) – Фон 3     | 10,7          | 23,4       | 3,7         | 54,7       |
| Фон 3 + $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^*$     | 12,7          | 28,6       | 6,8         | 84,9       |
| Фон 3 + $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$  | 12,9          | 28,9       | 7,6         | 94,0       |
| Фон 3 + $N_{20+60+40+40}P_{30}K_{60} + м/у^{**}$ | 12,9          | 29,3       | 7,8         | 95,5       |
| Фон 3 + $N_{20+60+40+40} + м/у^{**}$             | 12,9          | 29,2       | 7,4         | 91,5       |
| Фактор А (фон) – НСР <sub>05</sub>               | 0,3           | 1,0        | –           |            |
| Фактор В (удобрения) – НСР <sub>05</sub>         | 0,3           | 0,9        |             |            |

\* Микроудобрение.

\*\* Микроудобрение + стимулятор роста.

\*\*\* Последствие.

Азотные удобрения – основное средство повышения белковости зерна. Их применение в составе полного удобрения обеспечило по опыту получение зерна с содержанием белка 12,7–13,2 %.

Некорневые подкормки посевов озимой пшеницы стимулятором роста растений, изменение кратности доз азотных удобрений с их перераспределением по фазам вегетации, исключение фосфорных и калийных удобрений из системы удобрения не оказали значимого влияния на изменение содержания сырого протеина.

Практически при всех изучаемых минеральных системах удобрения полученное зерно относится ко 2 классу качества (содержание клейковины не менее 28 %). Максимальные значения показателя (30,0–30,3 %) характерны для минеральных систем удобрения на фоне последствия соломистого навоза.

Наиболее эффективными системами удобрения при возделывании озимой пшеницы в звене севооборота оказались следующие:

- комплексное применение полного минерального удобрения ( $N_{0+70+40+50}P_{20}K_{35}$  и  $N_{20+60+40+40}P_{20}K_{35}$  в сочетании с микроудобрением МикроСтим-Медь, Марганец и стимулятором роста растений Экогум АФ на фоне 3-го года последствия соломистого навоза. В результате с 1 га получено 75,1–75,8 ц зерна 2 класса качества с содержанием 13,1–13,2 % белка, 29,9–30,3 % клейковины, 45,5–46,0 ц соломы при окупаемости 1 кг минеральных удобрений 14,2–14,6 кг зерна, 236–244 руб. условной прибыли и 82–84 % рентабельности;
- комплексное применение полного минерального удобрения ( $N_{0+70+40+50}P_{30}K_{60}$  и  $N_{20+60+40+40}P_{30}K_{60}$ ) в сочетании с микроудобрением МикроСтим-Медь, Марганец и стимулятором роста растений Экогум АФ на фоне 3-го года последствия сидерата, за счет чего с 1 га получено 69,1–70,2 ц зерна 2 класса качества с содержанием 12,9 % белка, 28,9–29,3 % клейковины, 39,7–43,1 ц соломы при окупаемости 1 кг минеральных удобрений 11,5–12,0 кг зерна, 139–153 руб. условной прибыли и 48–52 % рентабельности.

При возделывании озимой пшеницы на высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве с высоким содержанием подвижных соединений фосфора и повышенным – калия возможно использование моноазотной системы удобрения ( $N_{160}$ ) на фоне последствия соломистого навоза и сидерата. Такие системы удобрения обеспечивают получение с 1 га 67,3–75,2 ц зерна с содержанием 12,9–13,1 % белка, 29,2–30,0 % клейковины при 7,4–8,4 ц выхода сырого белка и 91,5–102,3 ц клейковины, 42,0–42,2 ц соломы, 176–276 руб. условного чистого дохода при 78–110 % рентабельности.

### 2.3. Система удобрения овса

Около 80 % получаемого зерна овса расходуется на кормление скота. Овес хорошо использует последствие органических удобрений, поэтому размещается в севооборотах третьей-пятой культурой после внесения органических удобрений. Он менее требователен к условиям произрастания и кислотности почвы, чем другие яровые зерновые культуры, обладает высоким потенциалом биологической продуктивности. Ежегодно посевные площади овса в стране составляют порядка 135 тыс. га.

Овес сорта Квант, завершающую культуру севооборота, возделывали в двух последовательно открывающихся полях. Предшественник – озимая пшеница. На посевах овса азотные подкормки проводили в два приема: однократно – в основное внесение и в два срока – в основное внесение и в стадию 1-го узла.

В среднем за 2 года исследований урожайность зерна в фоновых вариантах достигала 46,9–51,3 ц/га, соломы – 37,6–43,4 ц/га. При таких системах удобрения содержание белка в зерне было наименьшим по опыту – 7,4–7,7 %.

Минеральные удобрения оказали положительное достоверное влияние на повышение урожайности зерна культуры. Применение  $N_{60}P_{20-35}K_{35-60}$  способствовало дополнительному сбору урожая 10,6–16,2 ц/га зерна, при окупаемости 1 кг минеральных удобрений 7,1–12,6 кг зерна овса. Содержание белка при этом возросло, составив 7,9–9,5 %.

Дополнительная азотная подкормка посевов в стадию 1-го узла культуры, не оказав существенного влияния на повышение урожайности зерна, способствовала достоверному росту белковости зерна до 10,1–10,5 %.

Моноазотные системы удобрения ( $N_{90}$ ) обеспечили получение дополнительных 8,3–12,3 ц/га зерна при урожайности 59,2–59,5 ц/га, уступая полным минеральным системам в урожае основной продукции на 2–7 %. В этих вариантах каждый 1 кг азотных удобрений окупался 8,2–13,7 кг зерна.

Азотные удобрения оказали достоверное положительное влияние на увеличение содержания белка в зерне овса. По отношению к изучаемым фонам при внесении азотных удобрений в дозе  $N_{60}$  содержание белка увеличилось на 0,5–1,8 %, в дозе  $N_{90}$  в составе полного удобрения – 1,5–2,8, в дозе  $N_{90}$  (моноазот) – 2,1–2,5, в дозе  $N_{60+30}$  – 2,2–2,8 % (табл. 5).

Таблица 5

**Агроэкономическая эффективность систем удобрения овса**

| Система удобрения                                 | Урожайность, ц/га           |        | Прибавка к фону, ц/га зерна | Оплата 1 кг N/NPK урожаем зерна, кг | Содержание белка, % | Выход белка, ц/га | Условная прибыль, руб./га | Рентабельность, % |
|---------------------------------------------------|-----------------------------|--------|-----------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|
|                                                   | зерна                       | соломы |                             |                                     |                     |                   |                           |                   |
| Без удобрений – Фон 1                             | 49,5                        | 37,6   | –                           | –                                   | 7,4                 | 3,2               | –                         | –                 |
| $N_{60}P_{30}K_{60}$                              | 60,1                        | 39,2   | 10,6                        | 7,1                                 | 7,9                 | 4,1               | –22                       | –                 |
| $N_{60+30}P_{30}K_{60}$                           | 62,0                        | 51,6   | 12,5                        | 7,0                                 | 10,1                | 5,4               | –43                       | –                 |
| $N_{90}P_{30}K_{60}$                              | 64,3                        | 47,3   | 14,8                        | 9,0                                 | 8,9                 | 4,9               | –22                       | –                 |
| $N_{90}$                                          | 59,5                        | 41,2   | 10,0                        | 8,2                                 | 9,9                 | 5,1               | 2                         | 2                 |
| Навоз (4-й год ПД*) – Фон 2                       | 51,3                        | 42,4   | –                           | –                                   | 7,7                 | 3,4               | –                         | –                 |
| Фон 2 + $N_{60}P_{20}K_{35}$                      | 65,8                        | 58,5   | 14,5                        | 12,6                                | 9,5                 | 5,4               | 40                        | 27                |
| Фон 2 + $N_{60+30}P_{20}K_{35}$                   | 66,5                        | 58,5   | 15,2                        | 10,5                                | 10,5                | 6,0               | 18                        | 10                |
| Фон 2 + $N_{90}P_{20}K_{35}$                      | 63,9                        | 59,3   | 12,6                        | 8,7                                 | 10,5                | 5,8               | –3                        | –                 |
| Фон 2 + $N_{90}$                                  | 59,6                        | 51,1   | 8,3                         | 9,2                                 | 9,8                 | 5,0               | 4                         | 4                 |
| Сидерат (4-й год ПД*) – Фон 3                     | 46,9                        | 43,4   | –                           | –                                   | 7,4                 | 3,0               | –                         | –                 |
| Фон 3 + $N_{60}P_{30}K_{60}$                      | 63,1                        | 52,0   | 16,2                        | 10,8                                | 8,9                 | 4,8               | –6                        | –                 |
| Фон 3 + $N_{60+30}P_{30}K_{60}$                   | 64,5                        | 51,0   | 17,6                        | 9,8                                 | 10,2                | 5,7               | –21                       | –                 |
| Фон 3 + $N_{90}P_{30}K_{60}$                      | 60,7                        | 53,4   | 13,8                        | 7,7                                 | 9,3                 | 4,9               | –54                       | –                 |
| Фон 3 + $N_{90}$                                  | 59,2                        | 46,7   | 12,3                        | 13,7                                | 9,6                 | 4,9               | 0                         | –                 |
| НСР <sub>05</sub> (фактор $A_{\text{фон}}$ )      | $F_{\text{факт.}} < F_{05}$ | 6,4    | –                           |                                     | 0,5                 | –                 |                           |                   |
| НСР <sub>05</sub> (фактор $B_{\text{варианты}}$ ) | 3,3                         | 5,8    |                             |                                     |                     |                   |                           |                   |

\* Последствие.

Тем не менее полученные прибавки урожая зерна овса не компенсировали затраты на закупку и внесение минеральных удобрений, практически все применяемые системы удобрения оказались убыточны. На минеральном фоне исключение составил вариант с применением  $N_{90}$ , где условная прибыль составила 2 руб./га при рентабельности 2 %. На органическом фоне с последствием соломистого навоза за счет применения  $N_{60}P_{20}K_{35}$ ,  $N_{60+30}P_{20}K_{35}$  и  $N_{60}$  условная прибыль составила 4–40 руб./га при рентабельности 4–27 %.

Наилучшими системами удобрения овса при возделывании в звене севооборота оказалось комплексное применение полного минерального удобрения  $N_{60}P_{20}K_{35}$  и  $N_{60+30}P_{20}K_{35}$  на фоне 4-го года последствия соломистого навоза, за счет чего с 1 га получено 65,8–66,5 ц зерна с содержанием 9,5–10,5 % белка, 58,5 ц соломы при окупаемости 1 кг минеральных удобрений 10,5–12,6 кг зерна, 18–40 руб./га условной прибыли и 10–27 % рентабельности.

При возделывании овса на высокоокультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве с высоким содержанием подвижных соединений фосфора и повышенным – калия возможно (при дефиците фосфорных и калийных удобрений) использование моноазотной системы удобрения ( $N_{90}$ ) на фоне последствия соломистого навоза. Такая система удобрения обеспечивает получение с 1 га 59,6 ц зерна с содержанием 9,8 % белка при 5,0 ц выхода сырого белка, 51,1 ц соломы, 4 руб. условного чистого дохода при 4 % рентабельности.

### **3. ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР ЗВЕНА СЕВООБОРОТА И БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ**

В результате сельскохозяйственного использования почвы претерпевают существенные изменения, при этом изменяется интенсивность процессов превращения и миграции элементов питания, потребления и вынос их растениями. Величина потребления и потерь элементов питания зависит от гранулометрического состава и степени окультуренности почвы, характера ее сельскохозяйственного использования, вида, доз и сроков применения удобрений, агротехнических приемов и других условий. Что предопределяет необходимость периодического уточнения приходных и расходных статей баланса элементов питания. Для объективной оценки эффективности применяемых систем удобрения целесообразно проводить балансовые расчеты не менее чем за 5 лет (ротацию севооборота). Необходимо определить тот уровень применения удобрений, который обеспечивал бы максимальную продуктивность при сбалансированности элементов питания. Основой системы применения удобрений на окультуренных дерново-подзолистых почвах должно быть поддержание за ротацию севооборота бездефицитного баланса фосфора, калия в почвах с оптимальными их показателями на основе принципов воспроизводства почвенного плодородия.

Оптимальные параметры интенсивности баланса азота, предложенные Институтом почвоведения и агрохимии, для суглинистых почв при среднегодовой продуктивности культур севооборота более 6 т к. ед/га составляют 130–140 %. Оптимальные параметры интенсивности баланса фосфора при высоком содержании его под-

вижных форм (301–400 мг/кг) составляют 40–50 %, баланса калия при содержании подвижных форм калия 200–300 мг/кг – 100–120 %. Приведенные данные в таблице 7 свидетельствуют, что за севооборот расход основных элементов питания в основном превышал их поступление (табл. 6).

Таблица 6

**Баланс элементов питания и продуктивность культур звена севооборота на высокоокультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве**

| Среднегодовая доза удобрений за звено севооборота        | Баланс элементов питания*, ± |                               |                  | Интенсивность баланса, % |                               |                  | Среднегодовая продуктивность, т к. ед/га |
|----------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------|------------------------------------------|
|                                                          | N                            | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N                        | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |                                          |
| Без удобрений – Фон 1                                    | –101                         | –59                           | –104             | 21                       | 3                             | 10               | 5,5                                      |
| N <sub>133</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>         | –43                          | –51                           | –71              | 81                       | 37                            | 52               | 8,2                                      |
| N <sub>143</sub>                                         | –34                          | –72                           | –119             | 84                       | 10                            | 17               | 7,4                                      |
| Соломистый навоз – Фон 2                                 | –56                          | –20                           | –53              | 69                       | 71                            | 62               | 6,0                                      |
| Фон 2 + N <sub>133</sub> P <sub>20</sub> K <sub>47</sub> | –15                          | –21                           | –43              | 95                       | 77                            | 76               | 8,9                                      |
| Фон 2 + N <sub>143</sub>                                 | –13                          | –37                           | –72              | 95                       | 59                            | 56               | 8,6                                      |
| Сидерат – Фон 3                                          | –53                          | –40                           | –57              | 54                       | 22                            | 42               | 5,2                                      |
| Фон 3 + N <sub>133</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub> | 2                            | –27                           | –15              | 101                      | 59                            | 88               | 8,2                                      |
| Фон 3 + N <sub>143</sub>                                 | 7                            | –50                           | –69              | 103                      | 23                            | 41               | 7,5                                      |

\* Баланс элементов питания рассчитан за севооборот.

Согласно балансовым расчетам, оптимальными системами удобрения, способствующими сохранению почвенного плодородия при высоком уровне продуктивности, следует считать:

- внесение минеральных удобрений в среднегодовых дозах N<sub>143</sub> и N<sub>133</sub>P<sub>20</sub>K<sub>47</sub> на органическом фоне с применением соломистого навоза, где при продуктивности звена севооборота на уровне 8,6–8,9 т к. ед/га, обеспечивается интенсивность азота 95 %, фосфора – 59–77, калия – 56–76 % при сохранении достигнутого уровня плодородия почвы. Следует отметить, что применение моноазотной системы удобрения при повышенном и высоком содержании подвижных фосфатов и калия в почве возможно только в течение одной ротации с целью недопущения деградации фосфатного и калийного состояния;

- внесение минеральных удобрений в среднегодовой дозе N<sub>133</sub>P<sub>30</sub>K<sub>70</sub> на органическом фоне с заделкой зеленой массы сидерата, что при продуктивности звена севооборота на уровне 8,2 т к. ед/га, обеспечивается интенсивность азота 101 %, фосфора – 59 и калия – 88 % при сохранении достигнутого уровня плодородия почвы. При этом следует учитывать, что степень минерализации питательных веществ из сидерата в первый год использования в 2 раза выше, чем из подстилочного навоза, а основная масса питательных элементов легко-гидролизуема и доступна в основном первой и второй культуре севооборота.

Технологические схемы применения удобрений при возделывании озимого рапса и зерновых культур в звене плодосменного севооборота на высокоокультуренных дерново-подзолистых суглинистых почвах приведены в таблице 7.

Таблица 7

**Системы удобрения озимого рапса и зерновых культур в звене плодосменного севооборота на высококультуренных дерново-подзолистых суглинистых почвах**

| Культура                                                      | Дозы удобрений, кг д. в/га                                              | Формы удобрений                                                                                                                                                     | Сроки применения                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Органические удобрения вносят под первую культуру севооборота |                                                                         |                                                                                                                                                                     |                                                                                                               |
| Озимый рапс                                                   | $N_{0-30}P_{20-30}K_{70-90}$                                            | Карбамид или КАС, аммофос, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий, комплексные удобрения: 6-20-30; 8-18-25; 7-16-31; 5-16-35 (В, Мн, S, регулятор роста)     | До посева                                                                                                     |
|                                                               | $N_{90-120}$                                                            | Карбамид, сульфат аммония или КАС                                                                                                                                   | Весной в начале вегетации                                                                                     |
|                                                               | $N_{60}$                                                                | Карбамид                                                                                                                                                            | В фазу бутонизации                                                                                            |
|                                                               | $Mn_{0,075} B_{0,15}$                                                   | Жидкие хелатные микроудобрения МикроСтим-Марганец (1,0 л/га), МикроСтим-Бор (1,0 л/га)                                                                              | Некорневая подкормка в фазу бутонизации                                                                       |
|                                                               | СРР*                                                                    | Аминофол Плюс (1,0 л/га) и др. Расход рабочего раствора 200 л/га                                                                                                    | Некорневые подкормки: 1-я – в начале возобновления весенней вегетации; 2-я – в фазу бутонизации               |
| Озимая пшеница                                                | $N_{0-20}P_{20-30}K_{35-60}$                                            | Карбамид или КАС, аммофос, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий, комплексные удобрения: 5-16-35; 7-21-36; 7-16-31                                          | До посева                                                                                                     |
|                                                               | $N_{60-70}$                                                             | Карбамид или КАС в разведении с водой в соотношении 1:3                                                                                                             | Весной в начале вегетации                                                                                     |
|                                                               | $N_{40}$                                                                | Карбамид                                                                                                                                                            | В фазе появления флагового листа                                                                              |
|                                                               | $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$                                                    | Жидкие хелатные микроудобрения МикроСтим-Медь Л (0,65 л/га), МикроСтим-Марганец (1,0 л/га), МикроСтим-Медь, Марганец (1,0 л/га)                                     | Некорневые подкормки: 1-я – в стадию 1-го узла; 2-я – в фазу появления флагового листа                        |
| Озимая пшеница                                                | СРР*                                                                    | Экогум АФ (2,0 л/га), Экосил (0,06 л/га) и др. Расход рабочего раствора 200 л/га                                                                                    | Некорневые подкормки: 1-я – в начале возобновления весенней вегетации; 2-я – в фазу появления флагового листа |
| Овес                                                          | $N_{60}P_{20}K_{35}$                                                    | Карбамид или КАС, аммофос, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий, комплексные удобрения: 13-11-18; 16-12-20; 14-11-19; 13-8-17 (Cu, Mn, S, регулятор роста) | До посева                                                                                                     |
|                                                               | Дополнительная подкормка посевов для повышения содержания белка в зерне |                                                                                                                                                                     |                                                                                                               |
|                                                               | $N_{30}$                                                                | Карбамид                                                                                                                                                            | В стадию 1-го узла                                                                                            |

\* Стимулятор роста растений.

## **FERTILIZER SYSTEM FOR THE CULTIVATION OF WINTER RAPESEED AND GRAIN CROPS IN THE CROP ROTATION LINK**

**E. G. Mezentseva, O. G. Kulesh, A. A. Gracheva, S. M. Zenkova**

### **Summary**

The developed recommendations for highly cultivated sod-podzolic loam soils consider new methodological and practical provisions for the effective use of fertilizer systems depending on the level of intensification of winter rapeseed and grain crops cultivation in the crop rotation link. A new regulatory framework is presented for the complex use of macro- and micro-fertilizers, plant growth stimulants against the background of the post-action of straw manure and siderate.

Requirements have been established for the implementation of technological operations for the effective use of fertilizers for winter and spring crops with a yield of up to 7,6 t/ha of grain and winter rape up to 3,9 t/ha of oilseeds in the link of fruit-shifting crop rotation of various levels of intensification, preservation of the fertility of sod-podzolic loamy soils.

УДК 631.8:633.353:631.445.2

## **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ УДОБРЕНИЙ ПОД КОРМОВЫЕ БОБЫ НА ЗЕРНО НА ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ**

**Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, Т. М. Кирдун, Ю. А. Симанкова**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Одной из важнейших проблем животноводства Республики Беларусь является дефицит растительного белка в кормовом рационе, что приводит к значительному перерасходу зерновых культур или другого корма с невысоким содержанием белка.

По зоотехническим нормам в кормовой единице должно содержаться 105–115 г сырого белка. Фактическое содержание белка в кормах, заготавливаемых в Беларуси, составляет 75–80 г/к. ед., или около 75 % нормы. Для того чтобы сбалансировать корм по белку, в республике существует практика закупки зерна сои и соевого шрота за рубежом. Однако эту проблему можно решить расширением посевных площадей под зернобобовыми культурами.

Наряду с соей и горохом, большой интерес в качестве источника протеина представляют кормовые бобы с содержанием сырого белка, в зависимости от сорта, погодных условий и технологии возделывания, от 25 до 33 %. Кормовые бобы относятся к биологически ценным кормам. В 1 кг зерна содержится 1,10–1,29 кормовых единиц и 230–300 г переваримого протеина. В белке семян бобов основную часть (50–78 %) занимает водорастворимая фракция. Переваримость

зерна составляет 86 %, зеленой массы – 72 %. В протеине бобов содержатся ценные аминокислоты (тирозин, триптофан, лизин, аргинин, гистидин, метионин), водорастворимые углеводы и сравнительно немного антипитательных веществ (гликозидов, танинов, ингибиторов, протеаз), большое количество минеральных веществ (калий, натрий, кальций, фосфор, магний, железо, сера, марганец, кобальт, медь, цинк). Семена богаты витаминами С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, РР, Е, ниацином, рибофлавином, каротином, аскорбиновой кислотой, тиамином.

Кормовые бобы обладают высоким потенциалом урожайности, характеризуясь довольно большими ее колебаниями. Стабильность урожая зависит от биологических особенностей сорта, его адаптации к определенным условиям, технологии возделывания.

Кроме того, бобы могут сыграть значительную роль не только в укреплении кормовой базы, но и в восстановлении почвенного плодородия. Кормовые бобы, как и другие бобовые культуры, способны усваивать атмосферный азот благодаря симбиозу корневых систем с клубеньковыми бактериями. Уровень симбиотической фиксации атмосферного азота у кормовых бобов при оптимальных условиях составляет 70–80 % от общей их потребности в азоте.

В Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений по состоянию на 2025 г. включено 9 сортов кормовых бобов зарубежной селекции. В республике кормовые бобы возделываются на небольших площадях. Одной из причин этого является отсутствие адаптированной для условий республики технологии возделывания, позволяющей максимально реализовать генетический потенциал сортов кормовых бобов. В связи с этим основными направлениями исследований были: разработка агрономически обоснованных систем удобрения для высоко- и среднекультуренных почв при традиционной и мелкой обработке почвы, установление нормативов выноса основных макро- и микроэлементов с 1 т зерна и соответствующим количеством соломы. Важным также является определение содержания элементов питания в соломе и пожнивно-корневых остатках бобов с целью оценки культуры как предшественника.

## АГРОТЕХНИКА КОРМОВЫХ БОБОВ

Рекомендуются системы удобрения кормовых бобов с планируемой урожайностью 30–40 ц/га на среднекультуренных дерново-подзолистых почвах и 40–60 ц/га – на высококультуренных.

В течение трех лет проводили полевые опыты с кормовыми бобами сорта Траппет на трех полях на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве со слабокислой и близкой к нейтральной реакцией почвенной среды, средним и повышенным содержанием гумуса и подвижных форм фосфора, низким и средним содержанием подвижных форм калия и на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с нейтральной реакцией почвенной среды, высоким содержанием гумуса и подвижных форм калия и очень высоким содержанием подвижных форм фосфора.

На каждом поле исследования проводили 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. Данную систему обработки почвы применяли четвертый год подряд.

Применяли минеральную систему удобрения и органоминеральную, где в качестве органических удобрений использовали подстилочный навоз КРС и солому предшественника (озимая рожь).

После уборки предшественника, измельченную солому равномерно распределяли по полю, вносили компенсирующие дозы азота в виде КАС или микробиологическое удобрение Жыцень в дозе 3 л/га и задисковывали. Через две недели в 1-м блоке проводили вспашку, во 2-м – дискование в один след.

Подстилочный навоз вносили осенью под зяблевую вспашку в дозе 40 т/га. Фосфорные и калийные удобрения вносили в дозах согласно схеме опыта: осенью под вспашку и дискование или весной под культивацию.

В фазу начала бутонизации согласно схеме опыта проводили некорневые подкормки посевов микроудобрением с биостимулятором МикроСтим-Молибден, Бор ( $\text{Mo}_{0,05}\text{B}_{0,05}$ ) (1 л/га).

На среднеокультуренной почве минеральные удобрения вносили в полной дозе ( $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ ,  $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ ), рассчитанной под планируемую урожайность, в вариантах с подстилочным навозом КРС в дозе 40 т/га –  $\text{P}_{40}\text{K}_{90}$ .

На высокоокультуренной легкосуглинистой почве дозы фосфорных и калийных удобрений, рассчитанные под планируемую урожайность, снижали с использованием понижающих коэффициентов, учитывающих содержание подвижных форм фосфора и калия в почве ( $\text{N}_{30}\text{P}_{20}\text{K}_{100}$ ,  $\text{P}_{20}\text{K}_{100}$ ), в вариантах с подстилочным навозом КРС в дозе 40 т/га –  $\text{K}_{50}$ .

Защита от сорняков:

- Гезагард, КС – 3–4 л/га, после посева до всходов по влажной почве;
- Пульсар, ВР – 0,75–1,0 л/га, в фазу 1–3 листьев культуры и в ранние фазы роста сорняков;
- Фюзилад Фортэ, КЭ – 0,75–2,0 л/га, против однолетних и многолетних злаковых сорняков.

Защита от вредителей:

- Биская, МД – 0,2–0,3 л/га, клубеньковые долгоносики, бобовая зерновка (контактно-кишечное действие);
- Актара, ВДГ – 0,1 кг/га, против фасоловой зерновки, 1-я обработка в начале образования лопаток, 2-я – за месяц до сбора урожая (системный, на бобах не зарегистрирован).

Защита от болезней:

- Солигор, КЭ – 0,6–0,8 л/га, против альтернариоза, фузариоза, черноватой пятнистости, ржавчины, шоколадной пятнистости, ложной мучнистой росы;
- Пиктор Актив, КС – 0,4 л/га, против шоколадной пятнистости, ржавчины, мучнистой росы;
- Элатус Риа, КЭ – 0,4 л/га, против альтернариоза, фузариоза, черноватой пятнистости, шоколадной пятнистости, ржавчины.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КОРМОВЫХ БОБОВ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ОКУЛЬТУРЕННОСТИ**

Погодные условия, сложившиеся в период вегетации кормовых бобов, существенно отклонялись от климатической нормы данной зоны. В районе проведения опытов на дерново-подзолистой супесчаной почве (Узденский р-н) ГТК в 2023 г.

составил 0,7, в 2024 г. – 1,1; в 2025 г. – 2,75. На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (Минский район) ГТК в 2023 г. составил 0,5, в 2024 г. – 1,37, в 2025 г. – 2,64 при средне-многолетнем ГТК – 1,5. Погодные условия периода вегетации в 2023 г. начиная с июня и до третьей декады июля были крайне неблагоприятны для роста и развития кормовых бобов. Учитывая, что данная культура очень требовательна к влажности почвы, с середины июня до середины июля влажность почвы была близка к влажности завядания, что отрицательно сказалось на формировании урожайности зерна кормовых бобов. Наиболее благоприятным годом для кормовых бобов был 2025 г.

Для реализации потенциальной продуктивности растений влажность почвы в течение вегетации должна быть в диапазоне 60–100 % ППВ (полная полевая влагоемкость).

Снижение влажности почвы ниже влажности разрыва капилляров наносит особенно большой ущерб бобовым культурам, под которые не вносят азотные удобрения. На симбиотическую фиксацию азота воздуха растения затрачивают много углеводов. При низкой влажности почвы необходимость формирования мелких корешков отвлекает углеводы от клубеньков, и из-за недостатка энергии симбиотическая фиксация азота воздуха сначала снижается, а потом прекращается полностью. Начинается отмирание клубеньков.

За счет эффективного плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы в погодных условиях вегетационного периода 2025 г. (ГТК 2,75) в блоке вспашки сформировано 50,3 ц/га зерна, что в 3,1 раза выше, чем в сильно засушливом 2023 г. (ГТК 0,7) и в 1,6 раза выше, чем в 2024 г. (ГТК 1,1). В среднем за три года фосфорно-калийные удобрения ( $P_{60}K_{120}$ ) способствовали росту урожайности зерна на 4,0 ц/га (+12 % к контролю) (табл. 1). Эффективность азотных удобрений ( $N_{30}$ ) отмечена только в неблагоприятном по погодным условиям 2023 г. (ГТК 0,7): урожайность выросла на 24 % относительно фосфорно-калийного фона.

Таблица 1

**Влияние удобрений на урожайность зерна кормовых бобов на дерново-подзолистой супесчаной почве, ц/га**

| Вариант                                                                                 | Урожайность |         |         |         | Прибавка<br>к контролю |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|---------|---------|------------------------|
|                                                                                         | 2023 г.     | 2024 г. | 2025 г. | среднее |                        |
| Вспашка                                                                                 |             |         |         |         |                        |
| Без удобрений (контроль 1)                                                              | 16,0        | 31,9    | 50,3    | 32,7    | –                      |
| P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>                                                        | 16,1        | 40,0    | 53,9    | 36,7    | 4,0                    |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>                                        | 19,8        | 39,0    | 54,7    | 37,8    | 5,1                    |
| ПН КРС, 40 т/га + P <sub>40</sub> K <sub>90</sub>                                       | 16,8        | 40,2    | 60,1    | 39,0    | 6,3                    |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> + Mo <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub> | 21,6        | 42,4    | 60,5    | 41,5    | 8,8                    |
| Солома + N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>                               | 18,9        | 33,8    | 58,5    | 37,1    | 4,4                    |
| Солома + Жыцень + N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>                      | 20,2        | 33,9    | 62,1    | 38,7    | 6,0                    |
| Солома + N <sub>46(КАС)</sub> + N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>        | 20,1        | 33,0    | 56,2    | 36,4    | 3,7                    |
| N <sub>30</sub> + P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> под вспашку осенью                   | 18,4        | 30,0    | 53,8    | 34,1    | 1,4                    |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + K <sub>120</sub> под вспашку осенью                   | 17,9        | 29,8    | 53,7    | 33,8    | 1,1                    |

| Вариант                                                                                 | Урожайность |         |         |         | Прибавка<br>к контролю |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|---------|---------|------------------------|
|                                                                                         | 2023 г.     | 2024 г. | 2025 г. | среднее |                        |
| Дискование                                                                              |             |         |         |         |                        |
| Без удобрений (контроль 2)                                                              | 16,1        | 30,6    | 48,8    | 31,8    | –                      |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>                                        | 20,5        | 38,4    | 58,9    | 39,3    | 7,5                    |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> + Mo <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub> | 24,3        | 41,8    | 62,6    | 42,9    | 11,1                   |
| Солома + Жыцень, 3 л/га + N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>              | 23,6        | 42,5    | 53,1    | 39,8    | 8,0                    |
| Солома + N <sub>46</sub> (КАС) + N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>       | 24,5        | 42,7    | 54,1    | 40,4    | 8,6                    |
| N <sub>30</sub> + P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> под обработку осенью                 | 20,6        | 40,2    | 57,0    | 39,3    | 7,5                    |
| НСР <sub>05</sub> (удобрения)                                                           | 1,6         | 2,6     | 3,2     | 2,6     | 2,6                    |
| НСР <sub>05</sub> (обработка почвы)                                                     | 1,4         | 2,4     | 3,0     | 2,4     | 2,4                    |

Внесение с осени под вспашку подстилочного навоза КРС в дозе 40 т/га и весной под культивацию  $P_{40}K_{90}$  по сравнению с контролем увеличило урожайность зерна на 6,3 ц/га (+19 %). Некорневая подкормка в фазу бутонизации микроудобрениями ( $Mo_{0,05}B_{0,05}$ ) на фоне  $N_{30}P_{60}K_{120}$  обеспечила прибавку урожайности зерна кормовых бобов 8,8 ц/га (+27 %). Запашка соломы предшественника (озимая рожь) в среднем за три года не оказала существенного влияния на урожайность, при этом в зависимости от погодных условий по годам эффективность соломы была разной: в 2023 г. существенной разницы не отмечено, в 2024 г. снижение урожайности на 5,2 ц/га, в 2025 г. за счет соломы получено 3,8 ц/га зерна (+7 %). Не оказала существенного влияния на урожайность кормовых бобов и солома, обработанная целлюлозоразлагающим препаратом Жыцень в дозе 3 л/га или КАС. Внесение  $P_{60}K_{120}$  и  $K_{120}$  под вспашку осенью в среднем за три года привело к недополучению урожая по сравнению с весенним внесением 3,7 и 4,0 ц/га соответственно.

В блоке дискования в варианте без удобрений получено в среднем за три года 31,8 ц/га зерна кормовых бобов. Минеральные удобрения ( $N_{30}P_{60}K_{120}$ ) обеспечили рост урожайности на 7,5 ц/га (+24 % к контролю). В результате проведения некорневых подкормок микроудобрениями ( $Mo_{0,05}B_{0,05}$ ) на фоне  $N_{30}P_{60}K_{120}$  получена максимальная в блоке урожайность зерна – 42,9 ц/га. В блоке дискования сроки внесения  $P_{60}K_{120}$  не влияли на урожайность кормовых бобов. По сравнению с блоком вспашки в среднем по аналогичным вариантам с удобрениями урожайность была выше на 2,6 ц/га.

За счет эффективного плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в погодных условиях вегетационного периода 2025 г. (ГТК 2,64) в блоке вспашки сформировано 61,4 ц/га зерна, что в 2,8 раза выше, чем в сильно засушливом 2023 г. (ГТК 0,5) и в 1,2 раза выше, чем в 2024 г. (ГТК 1,37). В среднем за три года фосфорные и калийные удобрения ( $P_{20}K_{100}$ ) способствовали росту урожайности зерна на 5,4 ц/га (+12 % к контролю) (табл. 2). Эффективность азотных удобрений ( $N_{30}$ ) отмечена только в неблагоприятном по погодным условиям 2023 г. (ГТК 0,5): урожайность выросла на 3,6 ц/га (15 %) относительно фосфорно-калийного фона, в то время как во влажном 2025 г. урожайность снизилась на 5,9 ц/га (12 %).

Таблица 2

**Влияние удобрений на урожайность зерна кормовых бобов  
на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, ц/га**

| Вариант                                                                                 | Урожайность |         |         |         | Прибавка к контролю |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------------------|
|                                                                                         | 2023 г.     | 2024 г. | 2025 г. | среднее |                     |
| Вспашка                                                                                 |             |         |         |         |                     |
| Без удобрений (контроль 1)                                                              | 22,1        | 50,8    | 61,4    | 44,8    | –                   |
| P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>                                                        | 24,4        | 61,3    | 64,8    | 50,2    | 5,4                 |
| N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>                                        | 28,0        | 61,7    | 58,9    | 49,5    | 4,7                 |
| Подстилочный навоз КРС, 40 т/га + K <sub>50</sub>                                       | 26,9        | 61,0    | 60,3    | 49,4    | 4,6                 |
| N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub> + Mo <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub> | 31,9        | 62,4    | 65,6    | 53,3    | 8,5                 |
| Солома + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>                               | 29,2        | 60,0    | 57,5    | 48,9    | 4,1                 |
| Солома + Жыцень, 3 л/га + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>              | 28,2        | 61,0    | 61,7    | 50,3    | 5,5                 |
| Солома + N <sub>42</sub> (КАС) + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>       | 30,2        | 62,0    | 62,5    | 51,6    | 6,8                 |
| N <sub>30</sub> + P <sub>20</sub> K <sub>100</sub> под вспашку осенью                   | 27,0        | 62,5    | 61,7    | 50,4    | 5,6                 |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + K <sub>100</sub> под вспашку осенью                   | 29,8        | 64,1    | 59,6    | 51,2    | 6,4                 |
| Дискование                                                                              |             |         |         |         |                     |
| Без удобрений (контроль 2)                                                              | 21,2        | 50,9    | 62,5    | 44,9    | –                   |
| N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>                                        | 25,0        | 59,8    | 58,9    | 47,9    | 3,0                 |
| N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub> + Mo <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub> | 29,2        | 62,1    | 62,7    | 51,3    | 6,4                 |
| Солома + Жыцень, 3 л/га + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>              | 29,5        | 59,2    | 65,3    | 51,3    | 6,4                 |
| Солома + N <sub>42</sub> (КАС) + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>       | 27,8        | 57,6    | 65,3    | 50,2    | 5,3                 |
| N <sub>30</sub> + P <sub>20</sub> K <sub>100</sub> под обработку осенью                 | 32,5        | 58,2    | 61,5    | 50,7    | 5,8                 |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + K <sub>100</sub> под обработку осенью                 | 29,5        | 57,9    | 62,5    | 50,0    | 5,1                 |
| НСР <sub>05</sub> (удобрения)                                                           | 2,3         | 3,6     | 3,2     | 3,1     | 3,1                 |
| НСР <sub>05</sub> (обработка почвы)                                                     | 2,1         | 3,2     | 3,0     | 2,8     | 2,8                 |

Внесение с осени под вспашку подстилочного навоза КРС в дозе 40 т/га и весной под культивацию  $K_{50}$  по сравнению с контролем увеличило урожайность зерна на 4,6 ц/га (+10 %). Некорневая подкормка в фазу бутонизации микроудобрениями ( $Mo_{0,05}B_{0,05}$ ) на фоне  $N_{30}P_{20}K_{100}$  обеспечила прибавку урожайности зерна кормовых бобов 8,5 ц/га (+19 % к контролю), за счет микроэлементов получено 3,8 ц/га. Запашка соломы предшественника (озимая рожь) в среднем за три года не оказала существенного влияния на урожайность. Достоверно не влияла на урожайность кормовых бобов и солома, обработанная целлюлозоразлагающим препаратом Жыцень в дозе 3 л/га или КАС. Сроки внесения  $P_{20}K_{100}$  и  $K_{100}$  (под вспашку осенью или весной под культивацию) не оказали существенного влияния на урожайность зерна кормовых бобов.

В блоке дискования в варианте без удобрений в среднем за три года получена аналогичная урожайность зерна кормовых бобов (44,9 ц/га), что и в блоке вспашки (44,8 ц/га). Минеральные удобрения ( $N_{30}P_{20}K_{100}$ ) обеспечили рост урожайности на 3,0 ц/га (+7 % к контролю). В результате проведения некорневых подкормок микроудобрениями ( $Mo_{0,05}B_{0,05}$ ) на фоне  $N_{30}P_{20}K_{100}$  получено 51,3 ц/га зерна, за счет микроудобрений получено 3,4 ц/га (7 %). В блоке дискования сроки внесения фосфорных и калийных удобрений не влияли на урожайность кормовых бобов.

По сравнению с блоком вспашки в блоке дискования в среднем по аналогичным вариантам существенной разницы в урожае зерна не было.

На среднеоккультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве содержание сырого протеина в зерне кормовых бобов в среднем за три года в вариантах без удобрений составило 28,8 и 28,5 %, в вариантах с удобрениями в зависимости от системы удобрения изменялось в довольно узких пределах: от 29,5 до 30,6 % при среднем показателе 29,9 %, сбор сырого белка составил 898–1079 кг/га (табл. 3).

Таблица 3

**Содержание сырого белка в зерне кормовых бобов и сбор его с урожаем**

| Вариант                                        | Среднеоккультуренная почва |                   | Высокооккультуренная почва |                   |
|------------------------------------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
|                                                | Содержание белка, %        | Сбор белка, кг/га | Содержание белка, %        | Сбор белка, кг/га |
| <b>Вспашка</b>                                 |                            |                   |                            |                   |
| Без удобрений (контроль 1)                     | 28,8                       | 842               | 29,7                       | 1185              |
| РК                                             | 29,6                       | 971               | 29,5                       | 1311              |
| НПК <sup>1</sup>                               | 30,6                       | 1026              | 30,8                       | 1365              |
| ПН КРС, 40 т/га + РК                           | 30,5                       | 1049              | 30,2                       | 1323              |
| НПК + Mo <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub>     | 30,0                       | 1070              | 30,7                       | 1458              |
| Солома + НПК                                   | 29,7                       | 977               | 31,3                       | 1378              |
| Солома + Жыцень, 3 л/га + НПК                  | 29,7                       | 1035              | 31,2                       | 1405              |
| Солома + N <sup>1</sup> <sub>(КАС)</sub> + НПК | 29,9                       | 966               | 30,5                       | 1407              |
| N + РК под вспашку осенью                      | 29,5                       | 899               | 30,4                       | 1371              |
| NP + K под вспашку осенью                      | 30,2                       | 898               | 30,4                       | 1395              |
| <b>Дискование</b>                              |                            |                   |                            |                   |
| Без удобрений (контроль 2)                     | 28,5                       | 815               | 29,4                       | 1172              |
| НПК                                            | 29,9                       | 1039              | 30,4                       | 1304              |
| N + РК под обработку осенью                    | 29,5                       | 1028              | 29,5                       | 1331              |
| Солома + Жыцень, 3 л/га + НПК                  | 29,6                       | 1051              | 30,4                       | 1396              |
| Солома + N <sub>(КАС)</sub> + НПК              | 29,9                       | 1079              | 29,6                       | 1328              |
| НСП <sub>05</sub> (удобрения)                  | 2,1                        | –                 | 2,0                        | –                 |
| НСП <sub>05</sub> (обработка почвы)            | 1,8                        | –                 | 1,8                        | –                 |

<sup>1</sup> Для супесчаной почвы – N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>120</sub>, N<sub>46</sub>(КАС); для легкосуглинистой – N<sub>30</sub>P<sub>20</sub>K<sub>100</sub>, N<sub>42</sub>(КАС).

На высокооккультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве содержание белка в зерне кормовых бобов было в пределах 29,4–31,3 % при среднем показателе 30,4 %, сбор сырого белка составил 1172–1458 кг/га.

Внесение удобрений способствовало увеличению не только содержания белка в зерне, но и критических и незаменимых аминокислот (табл. 4).

Следует отметить, что зерно кормовых бобов характеризуется, по сравнению с другими культурами, высоким содержанием таких критических аминокислот, как лизин (15,80–17,57 г/кг зерна на супесчаной почве, 14,37–16,20 г/кг на легкосуглинистой почве) и треонин (12,42–13,57 г/кг зерна и 11,42–12,50 г/кг зерна соот-

ветственно). Содержание критических аминокислот на легкосуглинистой почве в неудобренном варианте составило 30,03 г/кг зерна, незаменимых – 76,20 г/кг зерна.

Таблица 4

**Аминокислотный состав кормовых бобов, среднее за 2024–2025 гг., г/кг зерна**

| Вариант                                                                                 | Лизин | Треонин | Метионин | Валин | Изолейцин | Лейцин | Фенилаланин | Сумма<br>аминокислот |                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|----------|-------|-----------|--------|-------------|----------------------|-----------------------|
|                                                                                         |       |         |          |       |           |        |             | Крити-<br>ческие     | Неза-<br>мени-<br>мые |
| Дерново-подзолистая супесчаная почва                                                    |       |         |          |       |           |        |             |                      |                       |
| Без удобрений                                                                           | 15,80 | 12,42   | 5,67     | 9,93  | 8,82      | 13,80  | 9,69        | 33,89                | 76,13                 |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>                                        | 16,98 | 13,54   | 5,27     | 10,36 | 9,78      | 16,61  | 10,21       | 35,79                | 82,75                 |
| ПН КРС, 40 т/га + P <sub>40</sub> K <sub>90</sub>                                       | 17,49 | 13,57   | 4,86     | 10,62 | 9,96      | 17,19  | 10,87       | 35,92                | 84,57                 |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> + Mo <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub> | 17,57 | 13,26   | 5,54     | 9,79  | 9,15      | 16,26  | 10,09       | 36,37                | 81,65                 |
| Среднее, мг/г белка                                                                     | 56,6  | 44,0    | 17,8     | 34,0  | 31,5      | 53,3   | 34,1        | 118,4                | 271,2                 |
| Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва                                              |       |         |          |       |           |        |             |                      |                       |
| Без удобрений                                                                           | 14,37 | 11,42   | 4,25     | 11,00 | 9,67      | 16,22  | 9,26        | 30,03                | 76,20                 |
| N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>                                        | 15,08 | 12,50   | 4,68     | 12,02 | 10,28     | 17,11  | 10,24       | 32,26                | 81,91                 |
| ПН КРС, 40 т/га + K <sub>50</sub>                                                       | 16,20 | 11,56   | 4,31     | 11,79 | 9,86      | 16,82  | 10,17       | 32,06                | 80,69                 |
| N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub> + Mo <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub> | 16,20 | 11,66   | 3,93     | 11,73 | 10,04     | 16,36  | 10,05       | 31,79                | 79,97                 |
| Среднее, мг/г белка                                                                     | 50,9  | 38,8    | 14,1     | 38,3  | 32,8      | 54,8   | 32,7        | 103,8                | 262,4                 |

На супесчаной почве содержание аминокислот было выше. Максимальное содержание аминокислот отмечено в варианте с органоминеральной системой удобрения (ПН КРС, 40 т/га + P<sub>40</sub>K<sub>90</sub>): критических – 35,92 г/кг зерна, незаменимых – 84,57 г/кг зерна. В результате в 1 г белка в среднем содержалось 262,4 мг на легкосуглинистой почве и 271,2 мг незаменимых аминокислот на супесчаной почве.

## НОРМАТИВЫ УДЕЛЬНОГО ВЫНОСА ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ С УРОЖАЕМ КОРМОВЫХ БОБОВ

Для расчета доз внесения удобрений под планируемый урожай сельскохозяйственных культур необходимо знать удельный (нормативный) вынос элементов питания с 1 т основной и соответствующим количеством побочной продукции. Поскольку кормовые бобы – культура новая и ранее нормативы выноса для условий Республики Беларусь не разрабатывались, установление содержания элементов питания в зерне и соломе данной культуры, вынос их с урожаем является весьма актуальным.

На основании урожайности, химического состава зерна и соломы рассчитан хозяйственный и удельный вынос элементов питания с урожаем кормовых бобов в среднем за 2023–2025 гг. (табл. 5, 6).

Таблица 5

**Удельный вынос элементов питания с урожаем кормовых бобов  
на дерново-подзолистой супесчаной почве, среднее за 2023–2025 гг., кг/т**

| Вариант                                                                                 | N    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO | MgO |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------|------------------|-----|-----|
| <b>Вспашка</b>                                                                          |      |                               |                  |     |     |
| Без удобрений (контроль 1)                                                              | 41,7 | 9,1                           | 19,6             | 3,1 | 2,5 |
| P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>                                                        | 44,2 | 9,2                           | 21,6             | 3,3 | 2,4 |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>                                        | 43,6 | 8,9                           | 21,2             | 3,4 | 2,6 |
| ПН КРС, 40 т/га + P <sub>40</sub> K <sub>90</sub>                                       | 44,5 | 9,7                           | 24,5             | 2,9 | 2,6 |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> + Mo <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub> | 43,4 | 8,6                           | 21,5             | 3,2 | 2,7 |
| Солома + N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>                               | 42,9 | 8,5                           | 20,5             | 3,0 | 2,5 |
| Солома + Жыцень + N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>                      | 43,2 | 9,5                           | 21,6             | 3,1 | 2,7 |
| Солома + N <sub>46</sub> (КАС) + N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>       | 42,3 | 9,4                           | 20,4             | 2,8 | 2,6 |
| N <sub>30</sub> + P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> под вспашку осенью                   | 43,0 | 8,5                           | 21,9             | 3,1 | 2,5 |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + K <sub>120</sub> под вспашку осенью                   | 43,8 | 8,8                           | 22,0             | 3,3 | 2,7 |
| <b>Дискование</b>                                                                       |      |                               |                  |     |     |
| Без удобрений (контроль 2)                                                              | 42,2 | 9,2                           | 20,3             | 2,9 | 2,6 |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>                                        | 43,0 | 9,0                           | 22,0             | 3,0 | 2,5 |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> + Mo <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub> | 43,1 | 8,4                           | 25,4             | 3,1 | 2,6 |
| Солома + Жыцень, 3 л/га + N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>              | 43,2 | 8,3                           | 22,4             | 3,1 | 2,5 |
| Солома + N <sub>46</sub> (КАС) + N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>       | 43,2 | 8,1                           | 23,4             | 2,9 | 2,5 |
| N <sub>30</sub> + P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> под обработку осенью                 | 42,8 | 8,5                           | 22,4             | 3,2 | 2,7 |
| Среднее                                                                                 | 41,7 | 8,6                           | 21,3             | 3,0 | 2,5 |

Таблица 6

**Удельный вынос элементов питания с урожаем кормовых бобов  
на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, среднее за 2023–2025 гг., кг/т**

| Вариант                                                                                 | N    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO | MgO |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------|------------------|-----|-----|
| <b>Вспашка</b>                                                                          |      |                               |                  |     |     |
| Без удобрений (контроль 1)                                                              | 42,7 | 10,6                          | 19,5             | 2,6 | 1,7 |
| P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>                                                        | 43,3 | 11,1                          | 21,2             | 2,8 | 1,7 |
| N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>                                        | 44,7 | 10,6                          | 20,6             | 2,6 | 1,6 |
| ПН КРС, 40 т/га + K <sub>50</sub>                                                       | 42,3 | 10,8                          | 23,1             | 2,5 | 1,7 |
| N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub> + Mo <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub> | 44,5 | 10,5                          | 20,4             | 2,3 | 1,6 |
| Солома + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>                               | 44,8 | 10,7                          | 21,6             | 2,5 | 1,6 |
| Солома + Жыцень, 3 л/га + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>              | 44,7 | 11,1                          | 21,8             | 2,6 | 1,6 |
| Солома + N <sub>42</sub> (КАС) + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>       | 44,1 | 10,8                          | 20,1             | 2,4 | 1,4 |
| N <sub>30</sub> + P <sub>20</sub> K <sub>100</sub> под вспашку осенью                   | 43,2 | 10,8                          | 22,1             | 2,6 | 1,5 |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + K <sub>100</sub> под вспашку осенью                   | 44,5 | 11,2                          | 22,6             | 2,7 | 1,6 |
| <b>Дискование</b>                                                                       |      |                               |                  |     |     |
| Без удобрений (контроль 2)                                                              | 42,6 | 11,6                          | 20,3             | 2,5 | 1,5 |
| N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>                                        | 44,2 | 11,3                          | 21,7             | 2,6 | 1,6 |
| N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub> + Mo <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub> | 41,7 | 11,3                          | 20,9             | 2,8 | 1,6 |
| Солома + Жыцень, 3 л/га + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>              | 43,2 | 11,0                          | 21,7             | 2,6 | 1,6 |

Окончание табл. 6

| Вариант                                                                           | N    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO | MgO |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------|------------------|-----|-----|
| Солома + N <sub>42</sub> (КАС) + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub> | 43,1 | 10,8                          | 21,1             | 2,5 | 1,6 |
| N <sub>30</sub> + P <sub>20</sub> K <sub>100</sub> под обработку осенью           | 42,7 | 11,7                          | 22,1             | 2,5 | 1,5 |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + K <sub>100</sub> под обработку осенью           | 42,5 | 11,3                          | 22,9             | 2,8 | 1,6 |
| Среднее                                                                           | 41,3 | 10,4                          | 20,4             | 2,5 | 1,5 |

Установлено, что на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве в 2023 г. с длительным бездождным периодом во время вегетации урожайность зерна была в пределах 16,0–24,5 ц/га, хозяйственный вынос составил 64–111 кг азота, 16–24 – фосфора и 29–62 кг калия. В 2024 г. при более благоприятных условиях увлажнения урожайность зерна составила 30,6–42,7 ц/га, хозяйственный вынос азота – 115–171 кг, фосфора – 26–33 и калия – 58–107 кг; в 2025 г. при урожайности 48,8–62,6 ц/га хозяйственный вынос азота составил 216–285 кг, фосфора – 37–61 и калия – 100–158 кг. Несмотря на большую разницу в данных хозяйственного выноса по годам, удельный вынос был близким.

Так, в среднем за три года с 1 т зерна кормовых бобов и соответствующим количеством побочной продукции на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве вынесено 41,7 кг азота, 8,6 – фосфора, 21,3 – калия, 3,0 – кальция и 2,5 кг магния.

На высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в 2023 г. при урожайности зерна кормовых бобов 21,2–31,9 ц/га вынесено 90–141 кг/га азота, 25–45 – фосфора, 47–92 – калия, 9,7–16,4 – кальция и 3,9–7,8 кг/га магния. В условиях 2024 г. с урожайностью 50–60 ц/га зерна кормовых бобов хозяйственный вынос составил: 216–283 кг/га азота, 51–64 – фосфора, 91–142 – калия, 10,3–14,7 – кальция и 7,3–10,8 кг/га магния. В 2025 г. с урожайностью 57,5–65,6 ц/га вынесено 244–296 кг/га азота, 62–79 – фосфора, 107–148 – калия, 6,0–9,7 – кальция и 5,4–8,4 кг/га магния. Нормативный вынос с 1 т зерна и соответствующим количеством соломы в среднем за три года составил: азота – 41,3 кг, фосфора – 10,4, калия – 20,4, кальция – 2,5, магния – 1,5 кг.

Таким образом, нормативный вынос макроэлементов с урожаем кормовых бобов на дерново-подзолистых супесчаной и легкосуглинистой почвах был близким и в среднем составил: азота – 41,5 кг/т, фосфора – 9,5, калия – 20,9, кальция – 2,8, магния – 2,0 кг/т.

Содержание микроэлементов и серы в зерне и соломе кормовых бобов представлено в таблице 7.

Таблица 7

**Содержание микроэлементов и серы в зерне и соломе  
кормовых бобов и их вынос с урожаем**

| Показатель                           | Cu   | Zn    | Mn    | B     | Co   | S, %        |
|--------------------------------------|------|-------|-------|-------|------|-------------|
| Дерново-подзолистая супесчаная почва |      |       |       |       |      |             |
| Зерно, мг/кг                         | 9,69 | 24,36 | 16,01 | 5,66  | 0,40 | 0,09        |
| Солома, мг/кг                        | 3,0  | 5,88  | 54,38 | 14,16 | 0,30 | 0,06        |
| Хозяйственный вынос, г/га            | 35   | 87    | 124   | 37    | 1,7  | 3,7 (кг/га) |
| Удельный вынос, г/т                  | 9,4  | 23,0  | 32,9  | 9,9   | 0,45 | 1,0 (кг/т)  |

| Показатель                                        | Cu   | Zn    | Mn    | B     | Co   | S, %        |
|---------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|------|-------------|
| <b>Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва</b> |      |       |       |       |      |             |
| Зерно, мг/кг                                      | 8,67 | 27,99 | 9,49  | 8,59  | 0,47 | 0,09        |
| Солома, мг/кг                                     | 5,84 | 14,54 | 13,20 | 21,01 | 1,03 | 0,06        |
| Хозяйственный вынос, г/га                         | 45   | 139   | 58    | 64    | 3,4  | 4,6 (кг/га) |
| Удельный вынос, г/т                               | 9,0  | 27,8  | 11,6  | 12,8  | 0,67 | 1,0 (кг/т)  |

В среднем за три года на дерново-подзолистой супесчаной почве с урожаем вынесено **Cu – 35 г/га, Zn – 87, Mn – 124, B – 37, Co – 1,7 г/га, S – 3,7 кг/т. Удельный вынос микроэлементов с урожаем кормовых бобов составил: Cu – 9,4 г/т, Zn – 23,0, Mn – 32,9, B – 9,9, Co – 0,45 г/т, S – 1,0 кг/т.**

На легкосуглинистой почве, по сравнению с супесчаной, в зерне кормовых бобов содержание марганца было существенно ниже в связи с тем, что разной была кислотность почвенного раствора: pH легкосуглинистой почвы 6,5, супесчаной – 5,6, а при pH выше 6,0 марганец слабо доступен растениям. В результате хозяйственный вынос микроэлементов и серы с урожаем кормовых бобов в среднем составил **Cu – 45 г/га, Zn – 139, Mn – 58, B – 64, Co – 3,4 г/га, S – 1,0 кг/га; удельный вынос с 1 т основной продукции и соответствующим количеством побочной составил: Cu – 9,0 г, Zn – 27,8, Mn – 11,6, B – 12,8, Co – 0,67 г, S – 1,0 кг.**

## **НОРМАТИВЫ НАКОПЛЕНИЯ ПОЖНИВНЫХ И КОРНЕВЫХ ОСТАТКОВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КОРМОВЫХ БОБОВ**

Полевые культуры играют неодинаковую роль в пополнении органического вещества почвы, что обусловлено биологическими особенностями культур. Кормовые бобы – относительно новая культура для сельскохозяйственных организаций Беларуси, в связи с этим отсутствуют данные по количеству пожнивно-корневых остатков, которые она оставляет после уборки.

При возделывании кормовых бобов на среднеоккультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве в варианте без удобрений по вспашке при урожайности зерна 31,9 (27,4 ц/га на сухое вещество) масса пожнивных остатков составила 18,5 ц/га сухого вещества (табл. 8).

Внесенные удобрения оказали небольшое влияние на изменение их веса (прирост не превышал 14 %). По дискованию количество пожнивных остатков в варианте без удобрений было ниже, чем по вспашке – 14,9 ц/га, но при этом внесение минеральных удобрений обеспечило увеличение данного показателя до уровня 20,6 ц/га.

Применяемые способы обработки почвы не влияли на накопление корней кормовых бобов в пахотном слое супесчаной почвы: в вариантах без удобрений их количество составило 16,0–17,5 ц/га, при внесении удобрений – увеличилось на 21–45 % и достигло 21,1–25,5 ц/га. В составе растительных остатков на супесчаной почве преобладали корни, их превышение над пожнивными остатками в среднем по опытным вариантам составило 10 %.

Общее накопление пожнивно-корневых остатков при возделывании кормовых бобов на супесчаной почве в вариантах без удобрений было на уровне 30,9–

36,0 ц/га, при внесении удобрений – 39,9–46,5 ц/га. При таком их количестве они имели большой удельный вес в общей биомассе растений – 4–52 %. При этом при урожайности зерна кормовых бобов на супесчаной почве 30,7 ц/га сухого вещества коэффициент выхода пожнивно-корневых остатков составил 1,3.

Таблица 8

**Влияние систем удобрения и способа обработки почвы на накопление пожнивных и корневых остатков кормовыми бобами на дерново-подзолистых почвах, ц/га сухого вещества**

| Вариант                                                   | Пож-<br>нивные<br>остатки | Корни | Солома | Зерно | Общая<br>биомасса | Доля ПКО <sup>1</sup><br>в общей<br>биомассе, % |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------|-------|-------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Дерново-подзолистая супесчаная почва</b>               |                           |       |        |       |                   |                                                 |
| <b>Вспашка</b>                                            |                           |       |        |       |                   |                                                 |
| Без удобрений (контроль 1)                                | 18,5                      | 17,5  | 12,7   | 27,4  | 76,1              | 47                                              |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>          | 18,4                      | 21,7  | 22,7   | 33,5  | 96,4              | 42                                              |
| ПН КРС, 40 т/га + P <sub>40</sub> K <sub>90</sub>         | 18,8                      | 21,1  | 17,4   | 34,6  | 91,9              | 43                                              |
| Солома + N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> | 21,1                      | 25,4  | 13,1   | 29,1  | 90,6              | 51                                              |
| <b>Дискование</b>                                         |                           |       |        |       |                   |                                                 |
| Без удобрений (контроль 2)                                | 14,9                      | 16,0  | 11,3   | 26,4  | 68,6              | 45                                              |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>          | 20,6                      | 22,4  | 15,6   | 33,0  | 91,6              | 47                                              |
| <b>Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва</b>         |                           |       |        |       |                   |                                                 |
| <b>Вспашка</b>                                            |                           |       |        |       |                   |                                                 |
| Без удобрений (контроль 1)                                | 18,7                      | 15,3  | 11,3   | 43,7  | 89,0              | 38                                              |
| N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>          | 19,3                      | 15,5  | 15,7   | 53,1  | 103,6             | 34                                              |
| ПН КРС, 40 т/га + K <sub>50</sub>                         | 22,5                      | 15,3  | 19,3   | 52,4  | 109,5             | 35                                              |
| Солома + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub> | 22,7                      | 15,1  | 12,2   | 51,6  | 101,6             | 37                                              |
| <b>Дискование</b>                                         |                           |       |        |       |                   |                                                 |
| Без удобрений (контроль 2)                                | 12,1                      | 11,3  | 8,7    | 43,8  | 75,9              | 31                                              |
| N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>          | 17,5                      | 13,8  | 10,2   | 51,4  | 92,9              | 34                                              |

<sup>1</sup> ПКО – пожнивно-корневые остатки.

Количество пожнивных остатков на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве было практически таким же, как и на супесчаной (по вспашке – 18,7–22,7 ц/га, по дискованию – 12,1–17,5 ц/га). По влиянию применяемых удобрений на их накопление отмечены тенденции, схожие с наблюдаемыми на супесчаной почве. Корневые остатки в варианте без удобрений по вспашке достигли 15,3 ц/га сухого вещества, по дискованию – 11,3 ц/га. Под влиянием вносимых удобрений при традиционной обработке почвы нарастания корневой массы не наблюдалось, при поверхностной – установлено положительное действие минеральных удобрений на развитие корневой системы (прирост на уровне 22 %). Увеличение урожайности кормовых бобов на легкосуглинистой почве до 43,7–52,4 ц/га и снижение накопления корней, как следствие, сопровождалось уменьшением долевого участия пожнивно-корневых остатков в общей биомассе растений (31–38 %) при более низком коэффициенте выхода пожнивно-корневых остатков (0,7 ц на 1 ц зерна) по сравнению с супесчаной почвой.

В целом кормовые бобы характеризовались довольно высокой долей пожнивно-корневых остатков в общей биомассе растений (в среднем по опыту): на супесчаной почве – 46 %, на легкосуглинистой – 35 %. В абсолютном выражении в дерново-подзолистые супесчаную и легкосуглинистую почвы после уборки урожая в среднем поступило пожнивно-корневых остатков кормовых бобов в вариантах без удобрений – 28,7–33,5 ц/га, при внесении удобрений – 35,4–43,6 ц/га.

Пожнивные и корневые остатки сельскохозяйственных культур, в том числе и кормовых бобов, поступая в почву, обогащают ее элементами питания, что играет большую роль в повышении плодородия почвы. Процентное содержание органического вещества в пожнивных и корневых остатках кормовых бобов на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве характеризовалось практически одинаковыми величинами и составило 93,4–95,4 %. При выходе стерни и корней в зависимости от систем удобрения и способа обработки почвы на уровне 14,9–21,1 и 16,0–25,4 ц/га соответственно в почву поступает 1420–2000 и 1518–2380 кг/га соответственно органического вещества (табл. 9).

Таблица 9

**Количество элементов питания, аккумулированных в пожнивно-корневых остатках кормовых бобов на дерново-подзолистых почвах, кг/га**

| Вариант                                                   | N    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO  | MgO | Органическое вещество |
|-----------------------------------------------------------|------|-------------------------------|------------------|------|-----|-----------------------|
| <b>Дерново-подзолистая супесчаная почва</b>               |      |                               |                  |      |     |                       |
| Вспашка                                                   |      |                               |                  |      |     |                       |
| Без удобрений (контроль 1)                                | 39,7 | 7,0                           | 49,2             | 16,0 | 3,2 | 3403                  |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>          | 41,6 | 7,0                           | 57,8             | 15,9 | 4,1 | 3776                  |
| ПН КРС, 40 т/га + P <sub>40</sub> K <sub>90</sub>         | 45,3 | 7,9                           | 76,4             | 18,1 | 4,3 | 3754                  |
| Солома + N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> | 49,3 | 8,5                           | 73,1             | 18,6 | 4,4 | 4380                  |
| Дискование                                                |      |                               |                  |      |     |                       |
| Без удобрений (контроль 2)                                | 35,1 | 6,1                           | 40,1             | 13,1 | 3,1 | 2938                  |
| N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>          | 47,7 | 8,6                           | 66,1             | 16,5 | 4,1 | 4052                  |
| <b>Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва</b>         |      |                               |                  |      |     |                       |
| Вспашка                                                   |      |                               |                  |      |     |                       |
| Без удобрений (контроль 1)                                | 23,2 | 5,6                           | 51,1             | 10,9 | 4,1 | 3243                  |
| N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>          | 25,4 | 6,3                           | 54,0             | 11,6 | 4,0 | 3279                  |
| ПН КРС, 40 т/га + K <sub>50</sub>                         | 26,3 | 6,8                           | 65,9             | 11,6 | 4,5 | 3608                  |
| Солома + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub> | 26,2 | 6,4                           | 67,9             | 12,5 | 4,0 | 3598                  |
| Дискование                                                |      |                               |                  |      |     |                       |
| Без удобрений (контроль 2)                                | 18,6 | 4,7                           | 39,3             | 9,7  | 3,1 | 2229                  |
| N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>          | 21,0 | 5,3                           | 51,9             | 10,4 | 3,0 | 3004                  |

Содержание азота в стерне кормовых бобов на супесчаной почве варьировало в пределах 0,59–0,70 %, фосфора – 0,14–0,17, калия – 1,42–2,38, кальция – 0,44–0,64, магния – 0,07–0,11 %; в корнях содержалось 1,36–1,59 % азота, 0,21–0,25 – фосфора, 1,15–1,50 – калия, 0,29–0,38 – кальция и 0,11–0,12 % магния.

В результате в дерново-подзолистую супесчаную почву с пожнивно-корневыми остатками больше всего поступает калия – 40,1–76,4 кг/га в зависимости от системы удобрения и способа обработки почвы. Количество поступившего азота составило 35,1–49,3 кг/га при более низких показателях по кальцию –13,1–18,6 кг/га, фосфору –6,1–8,6 и магнию – 3,1–4,4 кг/га.

На высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, как и на супесчаной, содержание органического вещества в стерне и корнях кормовых бобов в условиях текущего года также характеризовалось равновеликими величинами и составило 94,1–96,5 % и 94,3–95,6 % соответственно. В результате на этой почве в зависимости от системы удобрения и способа обработки с пожнивными остатками поступило 1158–2168 кг/га органического вещества, что было сопоставимо с показателями, полученными на супесчаной почве.

Содержание азота на высококультуренной почве в стерне по вариантам опыта составило 0,42–0,50 %, фосфора – 0,13–0,17, калия – 1,58–2,06, кальция – 0,32–0,48, магния – 0,07–0,10 %. В корнях кормовых бобов содержание азота (0,99–1,11 %), фосфора (0,20–0,25) и магния (0,13–0,18 %) было значительно выше, чем в стерне, калия (1,32–1,40 %) – ниже, как и на супесчаной почве.

Неодинаковое количество пожнивно-корневых остатков и разное содержание элементов питания в них приводят к различиям в их поступлении в почву. При этом основные закономерности по накоплению элементов питания в стерне и корнях на легкосуглинистой почве аналогичны наблюдаемым на супесчаной.

В результате на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с пожнивно-корневыми остатками в зависимости от системы удобрения и способа обработки поступило 18,6–26,3 кг/га азота, 4,7–6,8 – фосфора, 39,3–67,9 – калия, 9,7–12,5 – кальция, 3,0–4,5 – магния и 2229–3608 кг/га органического вещества.

По вспашке с пожнивно-корневыми остатками кормовых бобов в дерново-подзолистую легкосуглинистую почву поступало больше азота, зольных элементов питания и органического вещества, чем по дискованию.

В целом по поступлению из пожнивно-корневых остатков кормовых бобов в высоко- и среднекультуренные дерново-подзолистые почвы основные элементы питания можно расположить в следующем убывающем порядке:  $K_2O > N > CaO > P_2O_5 > MgO$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кормовые бобы – культура очень чувствительная к недостатку влаги в почве и слабо отзывчивая на внесение удобрений на средне- и высококультуренных почвах. Коэффициент вариации урожайности по годам (2023–2025 гг.) на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве составил 40–45 %, на среднекультуренной супесчаной – 50–55 %; коэффициент вариации урожайности по вариантам удобрения составил всего 10 % в неблагоприятном 2023 г. и 4–7 % в 2025 г.

Эффективность азотных удобрений ( $N_{30}$ ) отмечена только в неблагоприятном по погодным условиям 2023 г.: на супесчаной почве (ГТК 0,7) урожайность выросла на 24 % относительно фосфорно-калийного фона; на легкосуглинистой почве

(ГТК 0,5) – на 15 %; во влажном 2025 г. урожайность зерна на легкосуглинистой почве (ГТК 2,64) снизилась на 12 %.

Фосфорные и калийные удобрения под кормовые бобы на сред-неокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве, где в качестве зяблевой обработки почвы применяется вспашка, следует вносить весной; если применяется дискование в качестве зяблевой обработки почвы, сроки внесения значения не имеют. На высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в технологии возделывания кормовых бобов сроки внесения фосфорных и калийных удобрений (под вспашку или диски осенью или весной под культивацию) значения не имеют.

Фосфорные и калийные удобрения под кормовые бобы следует применять в дозах из расчета планируемой урожайности и содержания подвижных форм фосфора и калия в почве, используя разработанные нормативы удельного выноса.

Из микроэлементов эффективны молибден и бор, внесенные в фазу начала бутонизации в дозе по 50 г/га д. в. (МикроСтим-Молибден, Бор).

На среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве рекомендуется внесение  $N_{30}P_{60}K_{120} + Mo_{0,05}B_{0,05}$ , что обеспечило в среднем за 3 года 41,5 ц/га зерна кормовых бобов с содержанием сырого протеина 30,0 % при сборе 1070 кг/га и содержании аминокислот критических 36,37 г/кг зерна, незаменимых 81,65 г/кг зерна. На высококультуренной легкосуглинистой почве в среднем за три года внесение  $N_{30}P_{20}K_{100} + Mo_{0,05}B_{0,05}$  обеспечило 53,3 ц/га (прибавка к контролю 8,5 ц/га) с содержанием сырого протеина 30,7 % при сборе 1458 кг/га и содержании аминокислот критических 31,79 г/кг зерна, незаменимых 79,97 г/кг зерна.

Нормативы удельного выноса макро- и мезоэлементов питания урожаем кормовых бобов на дерново-подзолистых супесчаной и легкосуглинистой почвах составляют: азота – 41,5 кг/т, фосфора – 9,5, калия – 20,9, кальция – 2,8, магния – 2,0, серы – 1,0 кг/т.

В среднем за три года на дерново-подзолистой супесчаной почве с урожаем вынесено Cu – 35 г/га, Zn – 87, Mn – 124, B – 37, Co – 1,7 г/га. Удельный вынос микроэлементов с урожаем кормовых бобов составил: Cu – 9,4 г/т, Zn – 23,0, Mn – 32,9, B – 9,9, Co – 0,45 г/т.

На легкосуглинистой почве вынос микроэлементов с урожаем кормовых бобов в среднем составил Cu – 45 г/га, Zn – 139, Mn – 58, B – 64, Co – 3,4 г/га, S – 1,0 кг/га, удельный вынос с 1 т основной продукции и соответствующим количеством побочной составил: Cu – 9,0 г, Zn – 27,8, Mn – 11,6, B – 12,8, Co – 0,67 г.

На среднекультуренной почве при урожайности зерна кормовых бобов 14–20 ц/га сухого вещества коэффициент выхода пожнивно-корневых остатков составляет 1,5, при 26–35 ц/га – 1,3; на высококультуренной при урожайности 19–25 ц/га – 1,3, при 43–53 ц/га – 0,7. При урожайности зерна на дерново-подзолистых почвах 30–50 ц/га с пожнивно-корневыми остатками кормовых бобов в зависимости от системы удобрения и способа обработки в удобренных вариантах в почву поступает 21,0–49,3 кг/га азота, 5,3–8,6 – фосфора, 51,9–76,4 – калия, 10,4–18,6 – кальция, 3,0–4,5 кг/га магния и 3,0–4,4 т/га органического вещества.

## RECOMMENDATIONS FOR THE USE OF FERTILIZERS FOR FEED BEANS FOR GRAIN ON SOD-PODZOLIC SOILS

T. M. Seraya, E. N. Bogatyreva, T. M. Kirdun, Yu. A. Simankova

### Summary

Agronomically justified doses and terms of application of fertilizers for forage beans have been developed, depending on the method of basic processing and the degree of cultivation of sod-podzolic soils, standards for the specific removal of nutrients by the crop of corn beans and standards for the accumulation of crop and root residues by forage beans are presented and the contents of the batteries in them.

УДК 632.954:63

## ФОРМИРОВАНИЕ АССОРТИМЕНТА ХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ КОНТРОЛЯ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ В XX–XXI ВЕКАХ

Е. А. Якимович

*Институт защиты растений,  
аг. Прилуки, Минский район, Минская область*

Сельскохозяйственные культуры характеризуются достаточно низкой конкурентоспособностью. По данным РУП «Институт защиты растений» общий вклад гербицидов в суммарный сохраненный урожай интегрированной системы защиты в посевах сахарной свеклы составляет – 81 %, кукурузы на зерно – 70 %, озимых и яровых зерновых культур – 39–45 %, картофеля – 25 %, озимого рапса – 24 %.

Проблемы культивирования растений занимали древних аграриев со времен неолитической революции, когда охотники и собиратели превратились в земледельцев и скотоводов. Борьба с сорняками велась всеми доступными способами: прополкой, скашиванием и вырыванием с корнем. Известно, что одним из первых в мире неселективных гербицидов стала смесь соли и золы. Применять ее начали еще в XII в. до н. э. Так, например, Библия упоминает, что после победы над врагами на Ближнем Востоке ее часто разбрасывали на полях, чтобы поверженные народы не смогли вновь использовать эти земли. Точно так же поступали и римские легионеры [1].

Вплоть до середины XX века использовались лишь механические и агротехнические методы борьбы с сорняками, основанные на различных приемах обработки почвы (лушение, культивация, полупар), севооборотах и очистке семенного материала.

Без использования гербицидов было бы невозможно полностью механизировать производство зерновых, кукурузы, рапса, сахарной свеклы, картофеля и других сельскохозяйственных культур.

**Формирование ассортимента гербицидов.** Планомерные исследования по созданию и совершенствованию ассортимента гербицидов в СССР следует отнести к периоду введения системы регистрации пестицидов, агрохимикатов и организации Госкомиссии по химическим средствам борьбы с вредителями, болезнями и сорняками (1960 г.) и создания географической сети регистрационных испытаний пестицидов, включавшей токсикологические лаборатории ВИЗР и сотрудничающие с ними научно-исследовательские учреждения [2].

Среди первых органических гербицидов, появившихся в начале 1940 г. и включенных в каталог «Химические средства защиты растений» в 1962 г. и в 1977 г. [2, 3] был 4,6-динитро-о-крезол (ДНОК) (динитрофенолы). Действие препарата основывалось на разобщении окислительного фосфорилирования не только в растениях, но и в теплокровных животных, включая человека.

Доминирующими гербицидами из группы «феноксигербицидов», «производных феноксиксусной кислоты» или «гормональных» гербицидов был 2,4-Д, синтезированный в 1942 г., 2М-4Х (МЦПА) – в 1945 г. [4]. К феноксикарбоксилатам также относятся 2,4,5-Т, 2,4-ДБ, 2,4,5-ТП, 2М-4ХП и пр. Гербициды обладают сложными механизмами действия, напоминающими механизмы действия ауксинов (гормонов роста). Они влияют на деление клеток, активируют метаболизм фосфатов и изменяют метаболизм нуклеиновых кислот. В современном ассортименте гербицидов остались препараты только на основе 2,4-Д и МЦПА.

Триазины являются сильными ингибиторами фотосинтетического переноса электронов. Их избирательность зависит от способности толерантных растений разлагать или метаболизировать исходное соединение (восприимчивые растения этого не делают). Первый триазин под названием «Атразин» был изобретен в 1958 г. Перечень гербицидов из данной группы достаточно широк: симазин, атразин, пропазин, прометрин и пр.

В 60-х годах на мировом рынке появилось много гербицидов из разных химических классов:

- хлоротолурон, разработанный в 1969 г., и линурон (производные мочевины) [4], которые достаточно сильно поглощались почвой, а затем и корнями сорных растений. Механизм их действия заключается в ингибировании фотосинтеза – производства растительных сахаров – и, косвенно, в ингибировании реакции Хилла. Несмотря на многочисленность и давность этой группы, постоянно появляются новые соединения, например изопротурон (изобретен в 1971 г.);

- пропанил (анилиды), известен на рынке с 1962 г. Подавлял сорные растения за счет влияния на процесс фотосинтеза;

- алахлор был зарегистрирован в 1969 г., ацетохлор – в 1976 г. Особенностью группы хлорацетамиды (алахлор, пропахлор, ацетохлор, метолахлор его более новая форма (С-метолахлор) является то, что они все рекомендованы для защиты кукурузы от сорняков и обладают почвенным действием. Эффект данных гербицидов основан на подавлении синтеза длинноцепочечных жирных кислот в сорном растении путем ингибирования ферментов элонгазы и геранилгеранилпирофосфатазы, опосредованно влияя таким образом на синтез гиббереллинов;

- хлоридозон (пиридазины) и фенмедифам (фенилкарбаматы) были открыты в 60-х годах. Гербициды действуют на сорные растения путем ингибирования

фотосинтеза и реакции Хилла. Всасываются через корни. Данные гербициды используются для химпрополки свеклы.

- дикамба (бензойная кислота), благодаря своему влиянию на рост растений, была открыта Циммерманом и Хитчкоком в 1942 г., а как гербицид была зарегистрирована в 1967 г. Считается, что механизм действия данной группы препаратов, заключается в нарушении синтеза белка с последующим нарушением формирования клеток в сорных растениях.

В 70-х годах появляются гербициды, содержащие такие популярные действующие вещества как глифосат, пендиметалин, изопротурон, метамитрон, клопиралид и метазахлор.

Глифосат (глицины) является неселективным послевсходовым препаратом. Механизм его действия заключается в блокировании синтеза ароматических аминокислот, что приводит к ингибированию метаболизма нуклеиновых кислот и синтеза белка. Для глифосата зарегистрировано несколько солевых форм.

Трифлуралин и пендиметалин являются примерами динитроанилинов. Трифлуралин был разработан в 1960-х годах; пендиметалин на мировом рынке появился в 1972 г. Динитроанилины ингибируют рост как корней, так и побегов при поглощении корнями сорняков. Имеют сложный механизм действия: ингибируют ряд ферментативных систем, блокируют деление клеток и нарушают энергетический обмен. Это вызывает быструю остановку роста проростков и их последующую гибель.

Следует учитывать, что регистрация и применение гербицидов в мире (на территории США и Европы) не обеспечивает их регистрацию на территории Республики Беларусь, что видно из таблицы.

Таблица

**Регистрация гербицидов в мире и в Республике Беларусь  
(составлено автором на основе [5])**

| Действующее вещество | Регистрация |                          |
|----------------------|-------------|--------------------------|
|                      | в мире, г.  | в СССР (до 1991 г.) и РБ |
| 2,4-Д                | 1942        | Спустя 20 лет (1962)     |
| МЦПА                 | 1945        | Спустя 17 лет (1962)     |
| Атразин              | 1957        | Нет данных               |
| Хлоридазон           | 1962        | Спустя 33 года (1995)    |
| Фенмедифам           | 1967        | Спустя 21 год (1988)     |
| Хлортолурун          | 1969        | Спустя 29 лет (1988)     |
| Изопротурон          | 1974        | Спустя 21 год (1995)     |
| Глифосат             | 1974        | Спустя 15 лет (1989)     |
| Хлорсульфурон        | 1979        | Спустя 16 лет (1995)     |
| Флузиафоп-П-бутил    | 1980        | Спустя 23 год (2003)     |
| Феноксапроп-П-этил   | 1989        | Спустя 6 лет (1995)      |
| Йодосульфурон-метил  | 1999        | Через год (2000)         |
| Форамсульфурон       | 2002        | Спустя 3 года (2005)     |

В начале 80-х на рынке появились новые действующие вещества – **изопротурон** из класса производных мочевины и метамитрон из класса триазины.

Изопротурон поглощается корнями сорных растений и блокирует процесс фотосинтеза; метамитрон функционирует как ингибитор PSII, связываясь с серином 264 на белке D1.

Гербициды пиклорам и клопиралид (пиридинкарбоксильная группа) – относятся к гормональным гербицидам и перемещаются как по флоэме, так и по ксилеме сорных растений. Их механизм действия аналогичен механизму действия синтетических ауксинов, действующих подобно природному растительному гормону индолилуксусной кислоте, а также подобно родственным фенокси- и бензойным гербицидам.

С 80-х годов XX века начинаются три десятилетия инноваций в области разработки гербицидов, давших сельскому хозяйству более 130 новых действующих веществ, значительно повысивших эффективность борьбы с сорняками.

Значимым этапом стало появление класса арилоксифеноксипропионатов (FOPs) – **семейства высокоактивных послевсходовых гербицидов, высокоэффективных** против широкого спектра злаковых сорняков. Ранний этап этого класса представлен такими химическими соединениями, как диклофоп-метил, феноксапроп-П-этил, флуазифоп-П-бутил, хизалофоп-этил, позднее появились галоксифоп-метил, хизалофоп-тефурил, пропаквизафоп.

Бентазон – единственный представитель группы гетероциклических соединений с тремя и более гетероатомами в цикле, который уничтожает широколистные сорняки, подавляя фотосинтез. Он отличается от других ингибиторов фотосинтеза, таких как триазины и фенилмочевины, тем, что его транслокация очень ограничена. Он применяется в послевсходовый период и требует тщательного покрытия листьев сорных растений рабочим раствором для достижения высокой эффективности прополки.

За последние 40 лет ни одна из групп гербицидов не оказала более широкого влияния в плане химического разнообразия и применения при выращивании культур, как ингибиторы ацетолактатсинтазы (ALS). **Этот фермент является ответственным за разветвленную цепь биосинтеза аминокислот.** К данному классу относятся: сульфонилмочевины, имидазолиноны, триазолиноны, триазолопириидины:

- сульфонилмочевины – это меристематические ингибиторы, обладающие как листовым, так и почвенным действием. Характеризуются низкими нормами расхода (10–40 г/га). Их стойкость варьируется от очень длительной до умеренной, и они обладают очень низкой токсичностью для млекопитающих. Это достаточно большая группа действующих веществ: хлорсульфурон, метсульфурон-метил, сульфометурон-метил, тифенсульфурон-метил, никосульфурон, триасульфурон, амидосульфурон, этаметсульфурон-метил, форамсульфурон, йодосульфурон-метил, мезосульфурон-метил, римсульфурон, трибенурон-метил. На протяжении четырех десятилетий группа сульфонилмочевин остается одной из самых перспективных для открытия новых препаратов среди всех классов гербицидов;

- имидазолиноны – относительно новый класс препаратов, впервые появившийся в 1981 г. Одним из последних соединений этой группы стал имазамокс, представленный в 1998 г. [6]. Данные действующие вещества являются меристематическими ингибиторами, которые подавляют биосинтез разветвленных аминокислот. Они обладают как листовым, так и почвенным действием.

Стойкость в почве варьируется от умеренной до длительной. Имазапир используется в качестве неселективного гербицида широкого спектра действия; имазетапир – для сои и имазамокс – для озимого рапса, а также для других бобовых культур;

- триазолопиримидины были представлены на рынке в 1990 г. Первыми представителями класса стали такие действующие вещества как флуметсулам, метосулам, хлорансулам и диклосулам. В настоящее время флуметсулам применяется в Республике Беларусь в составе комбинированных препаратов. К современным разработкам данного класса относятся пенексулам и флорасулам. Механизм их действия аналогичен сульфонилмочевинам и имидазолинонам [6];

- пиноксаден – представитель нового химического класса фенилпиразолинов, механизм действия которого основан на ингибировании фермента ацетил-СоА-карбоксилазы. Изучение пиноксадена началось в 1990 годах; после успешных полевых испытаний в Европе и США (2000–2004 г.) препарат получил разрешение на применение в этих странах в 2006 г. [7];

- мезотрион – действующее вещество из класса трикетон, входящее в состав современных гербицидов (бензоилциклогександионы). Является ингибитором 4-гидроксифенилпируватдиоксигеназы (4-HPPD). Применяется чаще всего в смеси с сульфонилмочевинными гербицидами на кукурузе.

Классификация гербицидов по механизму действия хорошо изложена в различных книгах и интернет-источниках [8, 9], по химической структуре и механизмам влияния – [6, 10]. Формирование ассортимента гербицидов во временном ракурсе в зависимости от их механизма действия отображено на рисунке.

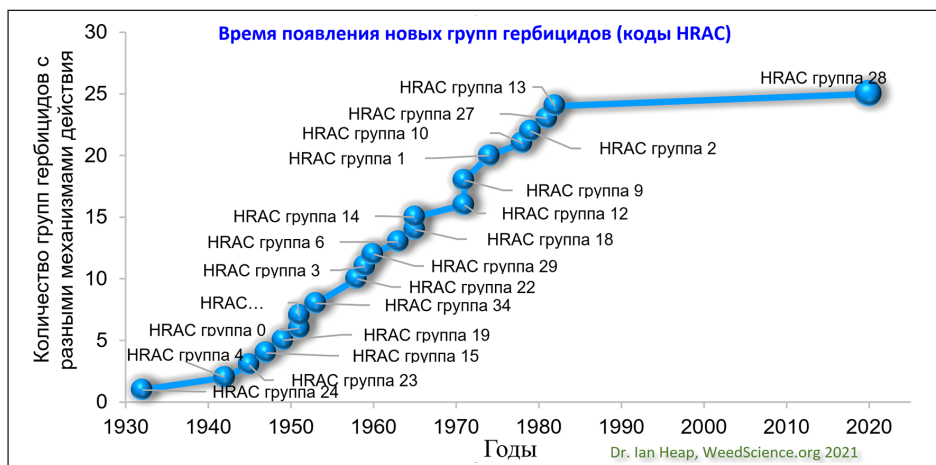


Рис. Хронология появления гербицидов с разным механизмом действия [11]

Эффективное применение современных гербицидов часто связано с включением антидотов или специальных защитных добавок. К наиболее распространенным относятся: феноксапроп-П-этил; клодинафоп-пропаргил, галаксифен-метил для защиты посевов зерновых культур от злаковых сорняков; мефенпир-диэтил защищает применение сульфонилмочевин в посевах зерновых культур; изоксадифен-этил и ципросульфамид – современные антидоты в посевах кукурузы.

Ряд инновационных гербицидов с новыми механизмами действия находятся на стадии активной коммерциализации. К ним относят:

- циклопириморат (Mitsui chemicals), который обесцвечивает и в конечном итоге уничтожает сорняки на рисовых полях. Механизм его действия основан на ингибировании ферментативного пути, в результате которого образуется пластохинон, молекула, необходимая для фотосинтеза. Относится к химическому классу фенилпиридазин-4-илформиатов и активно внедряется в Азии;

- тетрафлупиролимет (FMC) – это инновационное действующее вещество гербицидов (компания FMC), представляющее первый за 40 лет новый класс гербицидов. Механизм его действия заключается в ингибировании фермента, который является частью образования пиримидина, предшественника нуклеотида. Препарат используется как почвенный гербицид для подавления злаковых сорняков в посевах риса;

- цинметилин – инновационное соединение (компания BASF), предназначено для борьбы с устойчивыми злаковыми сорняками в посевах озимой пшеницы и ячменя. Механизм действия препарата заключается в ингибировании биосинтеза жирных кислот в растениях. Цинметилин часто применяется в комбинациях с другими веществами, такими как металохлор или метазахлор [12].

Совершенствование ассортимента осуществляется путем создания более безопасных для использования форм препаратов. В 1960–1970 гг. препаративными формами гербицидов в основном были растворимые и смачивающиеся порошки, концентраты эмульсии и водорастворимые концентраты, водные растворы. В конце 1980–1990 гг. наряду с этими формами препаратов начинали появляться вододиспергируемые гранулы, сухая текучая суспензия, концентраты суспензии, водно-гликолиевые растворы. В настоящее время появлялись и новые препаративные формы: масляная дисперсия, суспензионная эмульсия, масляно-водная эмульсия, микрокапсулированная суспензия, концентрат коллоидного раствора и пр.

Применение гербицидов регулируется строгими санитарно-экологическими нормами. В период СССР были запрещены к применению крайне опасные гербициды с высокой токсичностью для теплокровных животных (ДНОК, диносеб, пентахлорфенол и пентахлорфенолят натрия). В конце XX века из «Государственного реестра средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь» был исключен ряд препаратов на основе феноксимасляных (2,4-ДМ, 2М-4ХМ) и феноксипропионовых кислот (2,4-ДП; 2М-4ХП), ароматических аминов – трефлан, хлорацетанилидов – рамрод, бензойной кислоты – банвел, трисбен, амибен, из производных карбаминовой кислоты – карбин и бетанал, тиокарбаминовой – эптам, тиллам, триаллат, ордрам, фенилмочевины – афалон, аресин, диурон, фенурон и др., пиридазина – пирамин, пиримидина – вензар, большая группа триазинов – атразин, пропазин, семерон. Сокращение числа разрешенных к применению препаратов было обусловлено рядом причин, в том числе ограничениями, связанными с токсичностью некоторых гербицидов для теплокровных животных и экологической опасностью для окружающей среды.

В 2008 г. ассортимент гербицидов в Республике Беларусь был представлен 214 гербицидами [13], к 2017 г. их число возросло до 319 [14], в настоящий момент (апрель 2026 г.) – 413 препаратов [15]. Для основных сельскохозяйственных

культур он практически сформирован и соответствует современным мировым тенденциям.

Совершенствование ассортимента гербицидов как в мире, так и в Республике Беларусь идет по пути поиска более эффективных препаратов, обладающих широким спектром действия и высокой избирательностью для культурных растений, применяющихся в небольших нормах расхода и разрушающихся в почве в течение одного вегетационного периода; экологически безопасных – не обладающих последствием и малотоксичных для человека, живых объектов окружающей среды; не накапливавшихся в продуктах урожая, грунтовых водах и экономически выгодных для применения.

Хотя в ближайшее время не ожидается появления гербицидов с новыми механизмами действия, в настоящий момент рынок средств защиты растений формируется за счет создания и разработки новых премиксов, сочетающих существующие активные вещества с целью повышения эффективности и борьбы с резистентностью сорных растений.

**Новые технологии в защите растений.** Анализ публикаций в предметной области позволил выявить прорывные направления разработки новых средств и технологий защиты растений, в которых наиболее активно в настоящее время проводятся научные исследования.

В середине 1990 годов были созданы трансгенные растения, устойчивые к глифосату (ГМО). В США доля посевов сои, выращиваемой по технологии **Roundup Ready** достигла 95 % [16].

Смещение акцентов с синтеза новых действующих веществ на создание глифосатустойчивых сельскохозяйственных культур внесло сильные изменения в секторе разработки гербицидов. Темпы создания новых соединений в сравнении с количеством препаратов-дженериков значительно снизились [5].

Следует отметить, что в мире отмечается рост устойчивости сорняков к гербицидам, что является серьезной проблемой. Массовое применение гербицидов в последнее десятилетие, особенно в развитых странах, спровоцировало появление большого количества сорных видов, устойчивых к гербицидам [17]. Согласно мировым данным, наиболее высокий уровень гербицидной резистентности зафиксирован в США, Австралии и Китае, а также в ряде Европейских стран [18]. В сложившихся условиях очень важной задачей становится разработка стратегий уничтожения растений, устойчивых к ГМО [19].

В ответ на распространение сорняков, устойчивых к глифосату, биотехнологические компании разработали генетически модифицированные культуры с комбинированной устойчивостью к нескольким действующим веществам. На современном рынке представлены генетически модифицированные культуры с комбинированной устойчивостью к гербицидам: глифосат + дикамба, 2,4-Д + глифосат, изоксафлутол + глифосат, мезотрион + глюфосинат + изоксафлутол и технологию с ингибитором ацетолактатсинтазы (ALS) + глифосат [20].

Еще одной инновацией при разработке новых гербицидов за последние 30 лет можно назвать открытие способа борьбы с сорняками без выведения трансгенных сортов (не ГМО), например:

- система Clearfield® (Клеарфилд) – это производственная технология выращивания масличных культур (прежде всего подсолнечника и рапса), объединяю-

щая использование высокоурожайных гибридов, устойчивых к гербицидам группы имидазолинонов, и послевсходовое применение гербицидов [21];

- использование STS-технологии, например STS-соя (Sulfonylurea Tolerant Soybeans) – это возделывание специальных сортов сои, обладающих повышенной устойчивостью к сульфонилмочевинным гербицидам. Использование STS-технологии позволяет эффективно защищать посевы, обеспечивая чистоту полей и снижение последствий гербицидов на последующие культуры в севообороте [22];

- возделывание подсолнечника по технологии Экспресс. В связи со специфической генетикой высеваются гибриды подсолнечника устойчивого к трибенурон-метилу [21].

В последнее десятилетие активно обсуждается использование нанотехнологий в разработке препаративных форм пестицидов. Преимущественно это относится к наночастицам – наноразмерным аналогам препаративных форм с контролируемым высвобождением химических гербицидов [23]. В их состав могут входить компоненты, высвобождающие действующие вещества при определенных условиях, например, при заданном уровне pH, освещенности, температуры, влажности, а также при наличии определенных растительных ферментов [24].

В традиционном земледелии основным методом применения гербицидов является тракторный опрыскиватель. Однако в ближайшей перспективе, в рамках развития точного и интеллектуального земледелия значительная роль возможно перейдет к беспилотным авиационным системам. С каждым годом интерес к их использованию растет. Беспилотные летательные аппараты в сельском хозяйстве смогут решать следующие задачи: создание высокоточных электронных карт полей и 3D-моделей рельефа поля; оперативный мониторинг состояния посевов и картирования всходов; объективную оценку всхожести сельскохозяйственных культур; прогнозирование биологической урожайности и экологический мониторинг сельскохозяйственных земель; точечное опрыскивание посевов химическими препаратами и др. операции [25, 26].

Современное научное сообщество в области гербологии все чаще призывают уделять больше внимания изучению экологии и популяционной биологии сорняков. Что необходимо для разработки стратегий борьбы, которые позволят сократить использование гербицидов. Необходимо сосредоточить усилия на поиске новых технологий борьбы с сорняками.

Предполагается, что в рамках защиты окружающей среды и здоровья потребителей в ближайшие годы в сельском хозяйстве будут активно развиваться альтернативные методы борьбы с сорняками, связанные с использованием нехимических методов – физических и биологических, а также технологии точного земледелия.

Прототипами действующих веществ химических гербицидов могут служить природные фитотоксины растительного или микробного происхождения. Прогресс в использовании природных соединений для борьбы с сорными растениями, установление механизмов действия фитотоксинов на растения, разработка стабильных препаративных форм и контролируемое высвобождение в почве, станут научной основой для подбора синергетических смесей природных и синтетических гербицидов [27].

В 80–90 гг. XX века были проведены исследования (особенно в США и Канаде, меньше – в Европе, Израиле, Китае, Японии и Австралии) по созданию биогербицидов как более безопасной альтернативы синтетических химических веществ. Биопестициды представляют собой природные или полуприродные агенты или организмы, способные в определенной степени контролировать определенные виды сорных растений. В качестве биогербицидов относят ряд микроорганизмов (бактерии, вирусы и грибы) и некоторых насекомых (например, паразитические осы и бабочка-красавица).

Первым зарегистрированным микогербицидом стал препарат на основе гриба *Phytophthora palmivora*, вызывающего гниль молочая; проводилось также изучение патогенов *Puccinia canaliculata* и *Xanthomonas campestris* для борьбы с осокой и мятликом [6]. В Канаде зарегистрирован биогербицид *Phoma macrostoma* для использования на газонах с целью уничтожения одуванчика [28].

Прогнозируется, что к концу 2040 или началу 2050 годов биопестициды сравняются по объему рынка с синтетическими (химическими) пестицидами [29].

## ВЫВОДЫ

К началу XXI века ассортимент гербицидов в Республике Беларусь для основных сельскохозяйственных культур практически сформирован. Совершенствование ассортимента идет в нескольких направлениях: синтез новых веществ с более низкими нормами расхода, усовершенствование препаративных форм и способов использования гербицидов, внедрения комбинированных препаратов, появления более избирательных гербицидов, экологически и токсикологически безопасных. Производство гербицидов прошло свой путь формирования ассортимента – от высокотоксичных для окружающей среды и последующих культур севооборота до более безопасных, с избирательным механизмом действия. Перспективы в гербологии направлены на переход от сплошного химического опрыскивания к биологическим методам (биогербицидам) и локальному применению препаратов с помощью беспилотных летательных аппаратов, что снижает пестицидную нагрузку и повышает эффективность борьбы с сорными растениями; разработку и использование новых форм гербицидов, безопасных для окружающей среды, с высокой избирательной способностью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гербициды: как совершенствовались способы борьбы с сорняками на полях // Первая фумигационная группа. – URL: <https://fumigation1.ru/companystati/2246-gerbicidyi-kak-sovershenstvovalis-sposobyi-borbyi-s-sornyakami-na-polyah> (дата обращения: 01.04.2026).
2. Маханькова, Т. А. Формирование ассортимента гербицидов в России / Т. А. Маханькова, В. И. Долженко, А. С. Голубев // Агрохимия. – 2022. – № 11. – С. 50–61.
3. Химические средства защиты растений: (Продукция, выпускаемая серийно): Каталог / Предприятия-изготовители: Вурнар. хим. з-д, пгт Вурнары, Чуваш. АССР [и др.]; НИИ техн.-экон. исследований (НИИТЭХим), ВНИИ хим. средств защиты растений (ВНИИХСЗР). – М.: [б. и.], 1977. – 41 с.

4. Захаренко, В. А. Гербициды / В. А. Захаренко. – М.: Агропромиздат, 1990. – 240 с.
5. Киселекова, А. Гербициды: прошлое и будущее / А. Киселекова // Наше сельское хозяйство. Серия: Агрономия. – 2013. – № 19. – С. 36–43.
6. Ware, G. W. An Introduction to Herbicides (2<sup>nd</sup> edition) / G. W. Ware, D. M. Whitacre // The Pesticide Book / G. W. Ware, D. M. Whitacre. – 6<sup>nd</sup> edition. – Ohio: MeisterPro Information Resources, 2004. – 488 p. – URL: <https://ipmworld.umn.edu/ware-intro-herbicides> (date of access: 03.04.2026).
7. Гервик, К. Разработка гербицидов за тридцать прошедших лет. Обзор прошлого и размышления над будущим / К. Гервик // AGROXXI. – URL: <https://www.agroxxi.ru/stati/razrabotka-gerbicidov-za-tridcat-proshedshih-let.html> / (дата обращения: 01.04.2026).
8. Новая система классификации механизмов действия гербицидов HRAC / HRAC Европа 2021. – URL: [https://www.hracglobal.com/europe/files/HRAC-Classification-System-2021\\_Russian.pdf](https://www.hracglobal.com/europe/files/HRAC-Classification-System-2021_Russian.pdf) (date of access: 02.04.2026).
9. Методические указания по оценке эффективности гербицидов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений, Белорус. гос. технол. ун-т; под ред.: Е. А. Якимович, С. В. Сороки. – Мн.: Колорград, 2024. – 139 с.
10. Compendium of Pesticide Common Names. Herbicides // BCPC. – URL: [http://www.bcpcepesticidecompendium.org/class\\_herbicides.html](http://www.bcpcepesticidecompendium.org/class_herbicides.html) (date of access: 04.04.2026).
11. Current Status of the International Herbicide-Resistant Weed Database // International herbicide-resistant weed database. – 2026. – 6 april. – URL: <http://www.weedscience.org/Home.aspx> (date of access: 06.04.2026).
12. Teicher, H. Crop Protection Horizons: Emerging Mechanisms of Action Shaping the Future / H. Teicher // LinkedIn 2025. 14 apr. – URL: <https://www.linkedin.com/pulse/crop-protection-horizons-emerging-mechanisms-action-teicher-phd-ptkef> (дата обращения: 03.04.2024).
13. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Гл. гос. инспекция по семеноводству, карантину и защите растений; сост.: Р. А. Новицкий [и др.]. – Мн.: Белбланкавид, 2008. – 460 с.
14. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Гл. гос. инспекция по семеноводству, карантину и защите растений; сост.: А. В. Пискун [и др.]. – Мн.: Промкомплекс, 2017. – 688 с.
15. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь (информация на 26.03.2026) // Государственное учреждение «Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений». – URL: <https://ggiskzr.by/reestr-szr/> (дата обращения: 01.04.2026).
16. Южанинова, Л. Глифосат: применение на российском и глобальном рынках / Л. Южанинова // AgroXXI. – 2020. – 6 апр. – URL: <https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschita-rastenii/zrast/glifosat-primenenie-na-rossiiskom-i-globalnom-rynkah.html> (дата обращения: 02.04.2026).

17. *Beckie, H. J.* Herbicide-resistant weed management: focus on glyphosate / H. J. Beckie // *Pest Management Science*. – 2011. – 67 (9). – P. 1037–1048. – DOI: 10.1002/ps.2195.
18. *Paul, S. K.* Herbicidal weed management practices: History and future prospects of nanotechnology in an eco-friendly crop production system / S. K. Paul, S. Mazumder, R. Naidu // *Heliyon*. – 2024. – Vol. 10, iss. 5, e26527. – DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e26527.
19. *Praczyk, T.* Stan aktualny i kierunki rozwoju herbologii / T. Praczyk, G. Skrzypczak // *Progress in Plant Protection / Postępy w Ochronie Roślin*. – 2011. – Vol. 51, iss. 1. – P. 354–363.
20. *Mesnage, R.* Herbicides: Brief history, agricultural use, and potential alternatives for weed control / R. Mesnage, A. Szekacs, J. G. Zaller // *Herbicides. Chemistry, efficacy, toxicology, and environmental impacts* / ed. by: R. Mesnage, J. G. Zaller. – London, 2021. – P. 1–20. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/352760642\\_Herbicides\\_Brief\\_history\\_agricultural\\_use\\_and\\_potential\\_alternatives\\_for\\_weed\\_control](https://www.researchgate.net/publication/352760642_Herbicides_Brief_history_agricultural_use_and_potential_alternatives_for_weed_control) (date of access: 03.02.2026).
21. Optimising Clearfield and ExpressSun sunflower technologies for Central European conditions / M. Jursňk, V. Fendrychová, M. Kolářová [et al.] // *Plant Protection Science*. – 2017. – Vol. 53, iss. 4. – P. 265–272. – URL: <https://doi.org/10.17221/2/2017-PPS> (date of access: 03.02.2026).
22. What is Sulfonylurea (SR) Soybean Technology? // *Crop Science*. – 2023. – 4 october. – URL: <https://www.cropscience.bayer.us/articles/bayer/sulfonylurea-soybean-technology> (date of access: 04.04.2026).
23. Nanotechnology-based delivery systems: highlights in agricultural applications / J. L. Oliveira, E. V. R. Campos, M. C. Camara [et al.] // *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*. – 2019. – № 12 (3). – С. 311–328.
24. Advances in targeted pesticides with environmentally responsive controlled release by nanotechnology / B. Huang, F. Chen, Y. Shen [et al.] // *Nanomaterials*. – 2018. – Vol. 8, iss. 2. – P. 102. – URL: <https://doi.org/10.3390/nano8020102> (date of access: 03.02.2026).
25. *Сорока, С.* Интеллектуальные системы для защиты растений / С. Сорока, А. Жуковский // *Наука и инновации*. – 2021. – № 3(217). – С. 31–34.
26. Применение сельскохозяйственного беспилотного летательного аппарата для обработки сельскохозяйственных культур / Д. В. Кудрявцев, А. Г. Магдин, А. А. Горбунов [и др.] // *Агротехника и энергообеспечение*. – 2021. – № 2(31). – С. 37–44.
27. *Берестецкий, А. О.* Перспективы разработки новых гербицидов на основе природных соединений / А. О. Берестецкий // *Вестник защиты растений*. – 2023. – Т. 106, вып. 1. – С. 5–25. – DOI:10.31993/2308-6459-2023-106-1-15502.
28. *Bailey, K.* *Phoma macrostoma*: the science of a bioherbicide to control broad-leaved weeds / K. Bailey // *Saskatoon Research Centre, Canada*. – URL: [https://landscapeontario.com/attach/1389760431.Phoma\\_Macrostoma.pdf](https://landscapeontario.com/attach/1389760431.Phoma_Macrostoma.pdf) (date of access: 02.04.2026).
29. *Umetsu, N.* Development of novel pesticides in the 21st century / N. Umetsu, Y. Shirai // *Journal of Pesticide Science*. – 2020. – Vol. 45, iss. 2. – P. 54–74. – DOI: 10.1584/jpestics.D20-201.

## **THE ASSORTMENT FORMATION OF CHEMICAL MEANS OF WEED CONTROL IN THE XX–XXI CENTURIES**

**E. A. Yakimovich**

### **Summary**

This article provides a historical perspective on the development of herbicide product lines worldwide and in the Republic of Belarus over a period of more than 80 years, from the 1940s to the present. Currently, the range of herbicides for major agricultural crops in the Republic of Belarus is almost complete. Prospects in herbology include a transition from overall chemical spraying to localized application of products using unmanned aerial vehicles (agrodrones), new premixes, and bioherbicides, which reduces the pesticide load and increases the effectiveness of weed control; development and use of new forms of environmentally safe herbicides with high selectivity.

*Поступила 09.04.2026*

## ИГОРЬ РОБЕРТОВИЧ ВИЛЬДФЛУШ

10 мая 2026 г. ушел из жизни известный белорусский ученый-агрохимик, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Лауреат Государственной премии Республики Беларусь Игорь Робертович Вильдфлуш. Весь научный и трудовой путь от аспиранта до заведующего кафедрой агрохимии он прошел в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. В этом отношении он продолжил научную династию своего отца, тоже известного белорусского ученого в области агрохимии Роберта Тенисовича Вильдфлуша.



Игорь Робертович Вильдфлуш внес большой вклад в развитие агрохимической науки, хотя, работая в учебном вузе, совмещать основную работу по подготовке студентов с научной работой очень сложно. Работа заведующим кафедрой агрохимии требовала много времени и сил по организации учебного процесса для студентов, подготовки и проведения курсов лекций, практических занятий со студентами, работа с аспирантами и, конечно, организация научной работы. Именно научная работа помогала Игорю Робертовичу постоянно актуализировать преподавание курса агрохимии, включая в план лекций новейшие научные результаты исследований. И на фоне большой организаторской и преподавательской работы на кафедре агрохимии Игорь Робертович находил время заниматься научной работой. Его научные достижения впечатляют: 500 научных публикаций, больше 20 учебников и учебных пособий по агрохимии, создание научной школы по вопросам комплексного применения средств химизации в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Под его руководством защищены 1 докторская и более 10 кандидатских диссертаций.

Опытное поле кафедры агрохимии по типу гранулометрического состава является типичным для условий Могилевской области, а тематика и схемы полевых опытов всегда делали рекомендации ученых кафедры под руководством Игоря Робертовича актуальными и востребованными в сельскохозяйственном производстве.

Научная педагогическая деятельность Игоря Робертовича была отмечена высокими государственными наградами. Он был награжден двумя медалями «За трудовое отличие», а в 2002 г. ему в составе коллектива авторов кафедры агрохимии и ученых Института почвоведения и агрохимии была присуждена Государственная премия Республики Беларусь в области науки и техники.

Талантливый ученый, человек огромной работоспособности, скромный, всегда готовый прийти на помощь – все это далеко не полная характеристика Игоря Робертовича Вильдфлуша. Таким он навсегда останется в памяти не только родных и близких, но и всех, с кем он работал – преподавателей, аспирантов и студентов.



Директор Института почвоведения и агрохимии,  
доктор с.-х. наук, профессор Ю. К. Шашко  
академик НАН Беларуси А. Р. Цыганов  
академик НАН Беларуси В. В. Лапа  
академик НАН Беларуси И. М. Богдевич

# РЕФЕРАТЫ

## 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.47

**Азарёнок Т. Н., Матыченкова О. В., Дыдышко С. В.** Усовершенствование шкалы оценочных баллов дерново-подзолистых почв для сои и проса // Почвоведение и агрохимия. – 2026. – № 1(76). – С. 29–40.

В результате проведенных исследований выявлены зависимости урожайности сои и проса на зерно от содержания физической глины и запасов гумуса в исследуемых почвах различного гранулометрического состава. Коэффициенты корреляции ( $r$ ) для сои составили соответственно 0,68 и 0,70, а для проса – 0,63 и 0,57. Получены уравнения регрессии для прогнозирования изменения урожайности сои и проса в зависимости от изменения величины приведенных показателей и построения моделей плодородия почв.

Установлены диапазоны урожайности сои и проса для 11 почвенных разновидностей дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава и подстиления. Наибольшая среднемноголетняя урожайность сои отмечена на дерново-подзолистых средне- и легкосуглинистых мощных почвах – 28,4 ц/га, самая низкая – на связнопесчаных мощных почвах и переходящих в **рыхлые** – **9,5 ц/га**. Наибольшая средняя урожайность проса на зерно получена на дерново-подзолистых **связносупесчаных мощных и подстилаемых легкими и средними суглинками** почвах – 38,6 ц/га, **самая низкая – на связнопесчаных мощных почвах и переходящих в рыхлые** – 14,7 ц/га.

На основании полученных данных урожайности сои и проса на дерново-подзолистых почвах легкосуглинистого, связно-, рыхлосупесчаного и связнопесчаного гранулометрического состава и их статистической обработки проведена качественная оценка этих почв и рассчитаны оценочные баллы их плодородия. Наибольший балл бонитета почв для сои получен для средне- и легкосуглинистых мощных почв – 63, наименьший – для связнопесчаных мощных почв и переходящих в **рыхлые** – 21. По просу наибольший балл присвоен **связносупесчаным мощным и подстилаемым легкими и средними суглинками** почвам – 60, наименьший – **связнопесчаным мощным почвам и переходящих в рыхлые** – 23. Полученные баллы являются исходными и для определения фактического балла конкретного поля или рабочего участка, если это необходимо, нужно применять поправочные коэффициенты.

Табл. 3. Рис. 4. Библиогр. 12.

УДК 631.415

**Киндеев А. Л., Воробей М. В., Архипова Н. В., Давыдович Ю. С., Якушев А. А.** Расчетная экономическая эффективность известкования пахотных дерново-подзолистых легкосуглинистых почв при переходе на системы точного земледелия // Почвоведение и агрохимия. – 2026. – № 1(76). – С. 40–50.

Настоящее исследование посвящено необходимости учета внутрипольных особенностей распределения кислотности почвы при проведении известкования на примере двух сельскохозяйственных полей площадью 18,6 и 30 га с дерново-подзолистыми легкосуглинистыми почвами. Дается обоснование перехода на более современный методологический и технологический уровень проведения работ по внесению  $\text{CaCO}_3$ , основанный на современных методах обработки и анализа геоданных и геостатистики. Приводятся особенности проведения пробоотбора методом точечного отбора проб по грид сетке и его преимущества перед методом элементарных участков. Произведенные расчеты показывают, что средняя рентабельность проведения известкования на исследуемых полях составляет 55,0 и 40,4 % с доходом 249,8 и 208,6 долл. США для первого и второго участка соответственно (13,7 и 6,75 долл. США/га). На основании расчетов выдвигается предположение о необходимости снижения доз известкования при внутрипольном учете пространственного распределения кислотности почв для III группы кислотности.

Табл. 2. Рис. 3. Библиогр. 23.

## 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.8:631.582:633.112.9

**Мезенцева Е. Г., Кулеш О. Г., Грачева А. А., Зенькова С. М.** Системы удобрения озимой пшеницы в звеньях севооборотов с разным уровнем интенсификации // Почвоведение и агрохимия. – 2026. – № 1(76). – С. 51–61.

В технологическом опыте на высококультурной дерново-подзолистой суглинистой почве проведены исследования по изучению различных систем удобрения при возделывании озимой пшеницы. Наиболее эффективным оказалось комплексное применение полного минерального удобрения  $\text{N}_{160}\text{P}_{20/30}\text{K}_{35/60}$  и моноазота ( $\text{N}_{160}$ ) в комплексе с микроудобрением МикроСтим-Медь, Марганец и стимулятором роста растений на фоне 3-го года последействия соломистого навоза и сидерата. Применение таких систем удобрения обеспечивает получение до 76 ц зерна 2-го класса качества с содержанием 13 % белка, 30 % клейковины, высокую агроэкономическую эффективность возделывания. При таком уровне урожайности показатели удельного выноса основных элементов питания озимой пшеницей составляют:  $\text{N} - 21,9 \text{ кг/га}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5 - 7,7$ ,  $\text{K}_2\text{O} - 9,3 \text{ кг/га}$ .

Табл. 5. Рис. 3. Библиогр. 9.

УДК 631.415:631.82

**Пироговская Г. В., Лапа В. В., Сороко В. И., Хмелевский С. С., Некрасова И. Н., Гарбузова Т. В., Соглаев С. Н., Купченко О. В.** Эффективность использования сыromолотого доломита и гранулированной доломитовой муки для известкования кислых дерново-подзолистых почв в Беларуси // Почвоведение и агрохимия. – 2026. – № 1(76). – С. 62–71.

Приведены результаты сравнительной эффективности известковых мелиорантов (сыromолотого доломита, гранулированной и пылевидной доломитовой муки) на фоне NPK в первый год действия при возделывании пшеницы яровой

(2024 г.) и в первый год последствия – при возделывании горохо-овсяной смеси (2025 г.). Показано влияние известковых мелиорантов на урожайность этих культур, качество основной и побочной продукции, сдвиг почвенной кислотности от 1 т известковых мелиорантов в год действия и первый год последствия.

Табл. 7. Библиогр. 9.

УДК 631.82:633.11:633.15

**Рак М. В., Пукалова Е. Н., Гузова Н. С., Кудласевич С. Г., Гук Л. Н.** Влияние цинкового удобрения на урожайность и накопление цинка в продукции озимой пшеницы, кукурузы и бобовых культур при разных уровнях обеспеченности супесчаной почвы этим элементом // Почвоведение и агрохимия. – 2026. – № 1(76). – С. 72–79.

В статье представлены результаты исследований по эффективности некорневых подкормок сельскохозяйственных культур цинковым удобрением при разных уровнях обеспеченности супесчаной почвы этим элементом. Некорневые подкормки цинковым удобрением наиболее эффективны при низкой и средней обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком. Потребление цинка растениями возрастает линейно с повышением его концентрации в почве и с увеличением дозы цинкового удобрения.

Табл. 3. Рис. Библиогр. 10.

УДК 631.17:631.415.1:632.15

**Путятин Ю. В., Богдевич И. М., Станилевич И. С.** Прогноз снижения коллективной дозы населения Республики Беларусь за счет оптимизации кислотности почв загрязненных  $^{90}\text{Sr}$  при возделывании зернофуражных культур // Почвоведение и агрохимия. – 2026. – № 1(76). – С. 80–88.

Известкование кислых почв являлось приоритетным защитным мероприятием и широкомасштабное внесение доломитовой муки в повышенных дозах позволило практически оптимизировать состояние почвенной кислотности загрязненных радионуклидами земель и свести к минимуму переходы радионуклидов в растениеводческую продукцию. Представлены результаты исследований по изучению эффективности оптимизации почвенной кислотности на снижение коллективной дозы облучения стронцием-90 на население Республики Беларусь. На основании анализа «затраты-выгода» показано, что затраты на предотвращение коллективной дозы при известковании почв под зернофуражные культуры составляют 200–1600 \$ на 1 чел.-Зв на 1 гектар в зависимости от плотности загрязнений почв  $^{90}\text{Sr}$  и их кислотности. Высокий эффект на предотвращение коллективной дозы стронция-90 при возделывании зернофуражных культур можно ожидать при известковании дерново-подзолистых почв с плотностью загрязнения стронцием-90 более 0,30 Ки/км<sup>2</sup> (11 кБк/м<sup>2</sup>). В настоящее время доля пахотных земель с плотностью загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  свыше 0,30 Ки/км составляет не более 62 тыс. га. Доля кислых почв (менее 5,5 pH<sub>KCl</sub>), на которых может быть достигнута высокая эффективность по предотвращению коллективной дозы за счет оптимизации кислотности почвы составляет в Гомельской области – 26%, Могилевской – 29 %.

Табл. 3. Библиогр. 13.

УДК 631.8:633.16:631.445.2

**Рак М. В., Пукалова Е. Н., Кудласевич С. Г.** Применение макро- и микроудобрений в технологии возделывания озимого ячменя на дерново-подзолистых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2026. – № 1(76). – С. 89–95.

В рекомендациях приведены агроэкономически обоснованные дозы, сочетания и сроки внесения азотных, медных, марганцевых и цинковых удобрений при возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистых супесчаных и легкосуглинистых почвах, обеспечивающих повышение урожайности и качества продукции

Табл. 6.

УДК 631.8:[633.853.494+633.1]:631.582

**Мезенцева Е. Г., Кулеш О. Г., Грачева А. А., Зенькова С. М.** Система удобрения при возделывании озимого рапса и зерновых культур в звене севооборота // Почвоведение и агрохимия. – 2026. – № 1(76). – С. 96–110.

В разработанных рекомендациях для высокоокультуренных дерново-подзолистых суглинистых почв рассматриваются новые методические и практические положения по эффективному использованию систем удобрения в зависимости от уровня интенсификации возделывания озимого рапса и зерновых культур в звене севооборота. Представлена новая нормативная база по комплексному применению макро- и микроудобрений, стимуляторов роста растений на фоне последствий соломистого навоза и сидерата.

Установлены требования к выполнению технологических операций по эффективному использованию удобрений под озимые и яровые зерновые культуры урожайностью до 7,6 т/га зерна и озимый рапс до 3,9 т/га маслосемян в звене плодосменного севооборота разного уровня интенсификации, сохранению плодородия дерново-подзолистых суглинистых почв.

Табл. 7.

УДК 631.8:633.353:631.445.2

**Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Кирдун Т. М., Симанкова Ю. А.** Рекомендации по применению удобрений под кормовые бобы на зерно на дерново-подзолистых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2026. – № 1(76.). – С. 110–125.

Разработаны агрономически обоснованные дозы и сроки применения удобрений под кормовые бобы в зависимости от способа основной обработки и степени окультуренности дерново-подзолистых почв, представлены нормативы удельного выноса элементов питания урожаем кормовых бобов и нормативы накопления пожнивнокорневых остатков кормовыми бобами и содержания в них элементов питания.

Табл. 9.

УДК 632.954:63

**Якимович Е. А.** Формирование ассортимента химических средств защиты растений с целью контроля сорных растений в XX–XXI веках // Почвоведение и агрохимия. – 2026. – № 1(76). – С. 125–136.

В статье в историческом аспекте изложены вопросы формирования ассортимента гербицидов в мире и в Республике Беларусь, более чем за 80-летний период, начиная с 1940 г. и до настоящего времени. В настоящий момент ассортимент гербицидов в Республике Беларусь для основных сельскохозяйственных культур практически сформирован. Перспективы в гербологии направлены на переход от сплошного химического опрыскивания к локальному применению препаратов с помощью беспилотных летательных аппаратов (агродронов), новым премиксам и к биогербицидам, что снижает пестицидную нагрузку и повышает эффективность борьбы с сорными растениями; разработку и использование новых форм гербицидов, безопасных для окружающей среды, с высокой избирательной способностью.

Табл. Рис. Библиогр. 29.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия», согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 09.02.2026 № 30 (с изменениями, внесенными приказом от 31.03.2026 № 72), 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.