

ISSN 0130-8475

Институт почвоведения и агрохимии

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1961 г.

**№ 1(74)
Январь – июнь 2025 г.**

Минск
2025

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, И. Р. ВИЛЬДФЛУШ,
Д. Р. ИСЛАМГУЛОВ, С. А. КАСЬЯНЧИК, Е. Г. МЕЗЕНЦЕВА,
Н. А. МИХАЙЛОВСКАЯ, Г. В. ПИРОГОВСКАЯ,
Ю. В. ПУТЯТИН, М. В. РАК, В. Г. СЫЧЕВ, В. Б. ЦЫРИБКО

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

1(74)

Январь – июнь 2024 г.

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

Адрес редакции: 220108, г. Минск, ул. Казинца, 90
Тел. (017) 351-08-21, факс (017) 374-04-02
E-mail: brissainform@mail.ru

Ответственная за выпуск *Н. Ю. Жабровская*

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

Подписано в печать 19.06.2025. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 11,28. Тираж 50 экз. Заказ 404.

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

© Республиканское научное дочернее унитарное
предприятие «Институт почвоведения и агрохимии», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Матыченкова О. В., Азарёнок Т. Н., Дыдышко С. В. Влияние почвенных и погодных условий на фотосинтетический потенциал и продуктивность сои..... 7

Цырыбка В. Б., Усцінава Г. М., Лагачоў І. А., Гуцько П. С., Юхнавец А. В., Касьянчык С. А. Ацэнка патэнцыяльных рызыкаў праявы дэфляцыі ва ўмовах цэнтральнай часткі паўднёвай глебава-экалагічнай правінцыі Беларусі..... 21

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Мезенцева Е. Г., Кулеш О. Г., Грачёва А. А., Зенькова С. М. Содержание и соотношение основных элементов питания в растениях кукурузы..... 30

Лапа В. В., Гракун, В. В., Хмелевский С. С., Пироговская Г. В., Сороко В. И. Влияние сбалансированности минерального питания на урожайность ячменя и окупаемость минеральных удобрений..... 44

Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Грачёва А. А., Зенькова С. М. Сезонная динамика степени подвижности фосфатов в дерново-подзолистой легкосуглинистой высококультуренной почве 52

Путятин Ю. В., Богдевич И. М., Станилевич И. С., Третьяков Е. С., Довнар В. А. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы на накопление ^{90}Sr зерном овса 63

Рак М. В., Пукалова Е. Н., Кудласевич С. Г., Гук Л. Н. Эффективность внесения макро- и микроудобрений в технологии возделывания озимого ячменя на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве 74

Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Бирюкова О. М., Кирдун Т. М., Симанкова Ю. А. Оценка состояния микробного сообщества дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от способа обработки и систем удобрения..... 82

Пироговская Г. В., Лемешевская А. С. Динамика климатических показателей в центральной части Беларуси за последний 30-летний период 1991–2020 гг. (по данным лизиметрического центра «Минск») 98

Сачивко Е. В., Козловская И. П. Урожайность и качество капусты брокколи в зависимости от применения удобрений..... 110

Милоста Г. М., Лапа В. В., Тарасевич А. Г., Орлов И. М. Урожайность и качество новых ароматических и горьких сортов хмеля в зависимости от уровня минерального питания в почвенно-климатических условиях юго-запада Белорусского Полесья.....	117
--	-----

3. ЮБИЛЕИ

К 100-летию ведущего ученого в области почвоведения Т. А. Романовой	125
--	------------

Рефераты	134
Правила для авторов	140

CONTENTS

1. SOIL RESOURCES AND THEIR RATIONAL USE

Matychenkova O. V., Azarenok T. N., Dydyshko S. V. Influence of soil-agro-climatic factors on photosynthetic potential and productivity of soybeans 7

Tsyrybka V. B., Ustinava G. M., Lahachou I. A., Hutsko P. S., Yukhnovets A. V., Kasyanchik S. A. Assessment of potential risks of deflation in the conditions of the central part of the Southern soil-ecological province of Belarus 21

2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION

Mezentseva E. G., Kulesh O. G., Gracheva A. A., Zenkova S. M. The content and ratio of the main elements of nutrients in corn plants 30

Lapa V. V., Grakun, V. V., Khmelevsky S. S., Pirogovskaya G. V., Soroko V. I. Effect of balanced mineral nutrition on barley yield and payment of mineral fertilizers 44

Kulesh O. G., Mezentseva E. G., Gracheva A. A., Zenkova S. M. Seasonal dynamics of the degree of phosphate mobility in sod-podzolic light loamy highly cultivated soil 52

Putyatin Yu. V., Bogdevich I. M., Stanilevich I. S., Tretyakov E. S., Dovnar V. A. Influence of agrochemical properties of sod-podzolic sandy loam soil on accumulation of ^{90}Sr by oat grain 63

Rak M. V., Pukalova E. N., Kudlasevich S. G., Guk L. N. Effectiveness of applying macro- and micro fertilization in technology of winter barley cultivation on sod-podzolic lightly carbonaceous soil 74

Bogatyreva E. N., Seraya T. M., Biryukova O. M., Kirdun T. M., Simankova Y. A. Assessment of the state of the microbial community of sod-podzolic sandy loam soil depending on the treatment method and fertilizer systems 82

Pirogovskaya G. V., Lemeshevskaya A. S. The dynamics of climatic indicators in the central part of Belarus over the last 30-year period 1991–2020 (according to the lysimetric center «Minsk») 98

Sachivko E. V., Kozlovskaya I. P. Yield and quality of broccoli cabbage depending on the application of fertilizers 110

Milosta G. M., Lapa V. V., Tarasevich A. G., Orlov I. M. Yield and quality of bitter and aromatic hop varieties depending on the level of mineral nutrition in the soil and climatic conditions of the Republic of Belarus.....	117
--	-----

3. OUR JUBILEES

On the occasion of the 100th anniversary of the leading scientist in the field of soil science, T. A. Romanova	125
---	------------

Summaries	134
Instructions for authors	140

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4:633.34

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СОИ

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

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск

ВВЕДЕНИЕ

Абиотические факторы (свет, температура, осадки и др.) играют ведущую роль в формировании уровня фотосинтетической продуктивности сельскохозяйственных культур. Вся генетическая информация, определяющая потенциал продуктивности и другие качества посевов, реализуется в онтогенезе – в процессах роста и репродуктивного развития. Вместе с тем, рост и развитие – интегральное выражение многочисленных сложных физиологических процессов, таких как фотосинтез, водообмен, питание и др. с последующим анализом указанных процессов и явлений – имеет исключительное значение для изучения динамики формирования параметров продуктивности растений, выращенных в определенных агрометеорологических условиях [1, 2, 3].

Посевы полевых культур, в том числе и сои, – могучие фотосинтезирующие системы, которые по возможности поглощают солнечную энергию намного (в 2–5 раз) превышают естественные угодья, в том числе луга, пастбища и лесные насаждения. Фотосинтез – основной источник формирования биомассы растений. Он также обеспечивает энергией все процессы роста, обмена энергии. Оптимальная площадь листовой поверхности (40–60 тыс. м²/га) должна приходиться на период активной вегетации растений. Эффективность фотосинтеза каждого отдельного растения, как и агроценоза в целом, обусловлена большим количеством факторов. Формирование урожая сельскохозяйственных культур является результатом фотосинтеза, в процессе которого из простых веществ образуются богатые энергией сложные и разнообразные по химическому составу органические соединения. Как известно, интенсивность накопления органического вещества зависит от площади листовой поверхности (ПЛП), определяемой биометрическими параметрами растений и, в значительной степени, зависящей от режима их питания, а также продолжительностью активной деятельности листьев. Мощность ассимиляционного аппарата и продолжительность его работы является решающим фактором продуктивности фотосинтеза, обуславливающим количественные и качественные показатели урожая. На формирование фотосинтетического потенциала (ФСП) посевов влияют как биотические, так и абиотические факторы. Биотические факторы – это срок сева, норма и глубина высева, обработка почвы, система удобрения, регуляторы роста и др., способствуют использованию абиотических факторов – солнечного света,

осадков, а также уменьшению негативного влияния экстремальных показателей влажности воздуха и почвы [4–6]. Листья – основной орган фотосинтеза, хоть частично эту роль выполняют также зеленые стебли, соцветия в начале их образования и даже корни (например, опорные корни у кукурузы). Для оптимального прохождения фотосинтеза посев должен иметь определенную площадь листовой поверхности – ключевой параметр, отражающий материальный и энергетический обмен в процессах фотосинтеза и питательных веществ растений в агроэкосистемах, прогнозирования их роста и продуктивности в конкретных агрометеорологических условиях. Ее можно считать мерой фотосинтезирующей биомассы [4, 5]. Избыточная влага почвы, как и ее недостаток, влияет на рост растений и развитие семян сои; при этом стресс, вызванный как избытком почвенной влаги, так и ее недостатком приводит к снижению содержания азота, фосфора, калия, кальция, магния и меди в листьях сои. Это может привести к ухудшению роста растений, снижению показателей площади листовой поверхности и фотосинтетического потенциала [6]. Поскольку основу продуктивности растений составляют продукты фотосинтеза, а его эффективность зависит от генетических особенностей, экологических факторов среды и применяемых агротехнических приемов, то изучение почвенно-агрометеорологического потенциала условий возделывания сои и установление его влияния на изменчивость фотосинтетической деятельности данной культуры обуславливают актуальность проводимых исследований.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для характеристики почвенных условий проведения исследований по установлению продуктивности и фотосинтетического потенциала сои сорта «Адесса» на рабочем участке № 12 ОАО «Игнатичи» Минского района были заложены 2 полуямы: на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах (фото 1) и на дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных легкосуглинистых почвах (фото 2). Балл плодородия составил 72,3 и 72,6 соответственно, а индекс окультуренности – 0,95 и 0,91. Дополнительно для характеристики почвенно-агрохимических свойств объектов исследования были заложены по 4 прикопки на каждую разновидность. Исследования проводились в 2023–2024 гг.

Отбор почвенных образцов для исследования агрохимических свойств почв проводили согласно принятой методике [7, 8]. Почвенные образцы из генетических горизонтов отбирали вертикальной колонкой по профилю, начиная с нижних и заканчивая верхними горизонтами. Все аналитические исследования выполнены согласно общепринятым методам, имеющим ГОСТ [9]. В результате исследований установлено, что почвы – объекты исследования – имеют «слабокислую» и «близкую к нейтральной» реакцию почвенной среды (рН 5,85–6,08), «высокое» содержание гумуса (2,81 %), «высокое» средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора (397–339 мг/кг), «высокое» и «очень высокое» средневзвешенное содержание подвижных форм калия (320–458 мг/кг).

Плотность сложения почвы (г/см³) определялась кольцами Копецкого в 4-кратной повторности, влажность почвы (%) – термостатно-весовым методом [10, 11]. Запасы продуктивной или доступной влаги (ДАВ, мм) – расчетным путем по Иванову [11].

Полуяма 1С-23 заложена на пахотных землях ОАО «Игнатиичи» Минского района Минской области, за д. Дергаи (53°45'37,1"с. ш. 27°36'44,5" в. д.), h = 199 м



Фото 1. Почва: дерново-палево-подзолистая суглинистая, развивающаяся на мощных лессовидных легких суглинках ($I_{ок.} = 0,95$)

Полуяма 6 заложена на пахотных землях ОАО «Игнатиичи» Минского района Минской области за д. Дергаи (53°45'32,1"с. ш. 27°36'41,2" в. д.), h = 195 м



Фото 2. Почва: дерново-подзолистая временно избыточно увлажненная суглинистая, развивающаяся на мощных лессовидных легких суглинках ($I_{ок.} = 0,91$)

Сумма активных температур (САТ) необходимых для произрастания Адессы – 1780–2250 °С, примерный период вегетации – от 77–83 до 85–90 дней. Сорт характеризуется высокими показателями производительности и ранним сроком созревания (группа спелости 0000) [12]. Фенологические наблюдения фазового развития растений сои Адесса (*Glycine max* (L.) Merr.), включенного в Госреестр сортов Республики Беларусь в 2022 г. (№ регистрации 2019465), проведены согласно «Методике государственного сортоиспытания». Стадии развития растений приведены в соответствии с десятичным кодом ВВСН [13]. Отбор образцов сои проведен в различные фазы развития для исследования показателей ПЛП и ФСП культуры (табл. 1).

В эти фазы также были отобраны образцы на определение почвенно-агрохимических, водно-физических свойств почв. Площадь листовой поверхности для сои определялась с помощью метода сканирования [14], значения ФСП получены расчетным путем [4].

Фенологические фазы развития сои сорта «Адесса»

Дата отбора растительного образца	Фенологическая фаза развития культуры	Дата отбора растительного образца	Фенологическая фаза развития культуры
23.05.2023	Стадия VC – примордиальные листья	30.05.2024	V1 Первый трилистник
09.06.2023	V1–V2 Первый–третий трилистник		V4 Четвертый трилистник
27.06.2023	R1 Пятый трилистник начало цветения	26.06.2024	R1 Начало цветения
10.07.2023	R2 Цветение	10.07.2024	R2-3 Цветение, начало образования стручка
24.07.2023	R3-R4 начало образования стручка, нижние полностью сформированы		
07.08.2023	R4 Стручок полностью сформирован	06.08.2024	R4-5 Стручок полностью сформирован
24.08.2023	R5 Окончание формирования бобов	27.08.2024	R7 Начало созревания
15.09.2023	R7 Начало созревания		
29.09.2023	R8 Полная спелость	10.09.2024	R8 Полная спелость

Для установления влияния почвенных и погодных условий на продуктивность культур использовался метод мелкоделяночных учетов урожайности сельскохозяйственных культур в производственных посевах. Для каждой почвенной разновидности площадь учетной площадки составляла 1 м², повторность – 4-кратная. Учетные делянки располагались вблизи основного опорного разреза. Учет урожая проведен посредством срезания учетных рядов вручную, высушивания, взвешивания и отбора семян. Статистическая обработка полученных данных проводилась методом дисперсионного и корреляционного анализа по Б. А. Доспехову [15] в программе Microsoft Office Excel, пакет «Анализ данных». Применялись сравнительно-аналитический метод, метод экспертных оценок.

Осуществлен статистический анализ продуктивности сои в зависимости от агрометеорологических условий их произрастания, показателей ФСП по фазам развития культуры от значений диапазона активной влаги, осадков и зависимости продуктивности от запасов питательных веществ.

Метеорологические условия проведения исследований. По агроклиматическим данным территория района исследования в достаточной мере обеспечена теплом –

биоклиматический потенциал составляет 136 единиц и в целом характеризуется как «благоприятный» для возделывания сои. По САТ ($t \geq +10^\circ\text{C}$) район полностью обеспечен теплом для возделывания как ультраскороспелых, так и позднеспелых сортов сои ($1700\text{--}2700^\circ\text{C}$) [16].

Показатели изменения фактической температуры ($t^\circ\text{C}$) и осадков (мм) и их отклонение от нормы на территории ОАО «Игнатичи» (по метеостанции Минск) отражены на рисунке 1 и в таблице 2 [17].

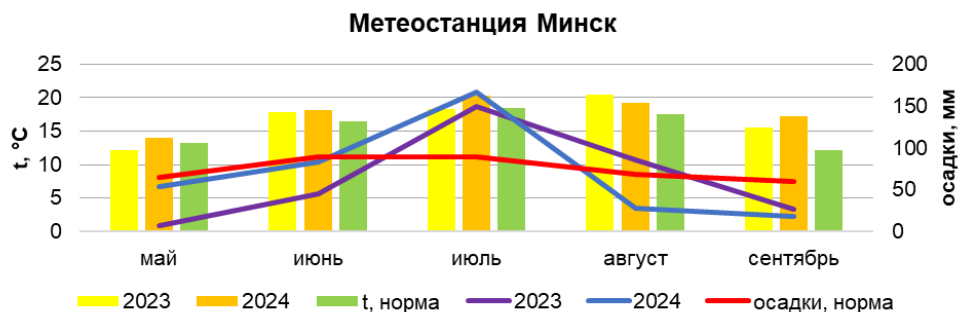


Рис. 1. Агрометеорологические условия объектов исследования

Таблица 2

Показатели изменения фактической температуры ($t^\circ\text{C}$) и фактического количества осадков (мм) и их отклонение от нормы на территории ОАО «Игнатичи»

Месяц	Температура, $t^\circ\text{C}$				
	Фактическая, 2023 г.	Фактическая, 2024 г.	Норма	\pm 2023 г.	\pm 2024 г.
Май	12,1	14,0	13,3	-1,2	+0,7
Июнь	17,9	18,2	16,4	+1,5	+1,8
Июль	18,3	20,2	18,5	-0,2	+1,7
Август	20,4	19,3	17,5	+2,9	+1,8
Сентябрь	15,6	17,2	12,1	+3,5	+5,1
Месяц	Количество осадков, мм				
	Фактическое, 2023 г.	Фактическое, 2024 г.	Норма	\pm 2023 г.	\pm 2024 г.
Май	6,5	54,2	65,0	-58,5	-10,8
Июнь	44,8	83,5	89,0	-44,2	-5,5
Июль	149,3	167,1	89,0	+60,3	+78,1
Август	86,1	27,6	68,0	+18,1	-40,4
Сентябрь	27,1	18,5	60,0	-32,9	-41,5

По метеорологическим данным за 2023 г. установлено, что наиболее экстремальные (неблагоприятные) условия по выпадению осадков за вегетационный период (май–август) складывались во 2-й и 3-й декадах мая, в 1-й декаде июня и во 2-й декаде августа. Суммарное количество осадков во 2-й декаде мая составило 0,3 мм, за 3-ю декаду мая и 2-ю декаду августа осадков не выпадало. За 1-ю

декаду июня выпало лишь 0,1 мм осадков. Максимальное количество осадков – 105,1 мм выпало в 3-ю декаду июля, несколько меньше – 78,3 мм в 1-ю декаду августа. По данным метеостанции бездождный период в мае составил 26 дней. Норма среднемесячной температуры мая – 13,3 °С, фактическая же составила по данным наблюдений 12,1 °С: отклонение от нормы – 1,2 °С. В июне бездождный период длился 25 дней. Температура воздуха за этот период была чуть выше климатической нормы на 1,5 °С. С июля по 1-ю декаду августа наблюдалось 23 дня с выпадением осадков, что превысило норму в 1,7 раза, показатели температуры были чуть ниже нормы (–0,2 °С). Со 2-й по 3-ю декады августа зафиксировано только 5 дней с осадками. В августе температура воздуха превысила норму на 2,9 °С, а количество осадков – на 18,1 мм. В сентябре температура воздуха превысила норму на 3,5 °С, а количество осадков было ниже нормы на 32,9 мм.

Таким образом, метеорологические условия вегетационного периода произрастания сои в 2023 г. по показателю выпавших осадков можно считать неблагоприятными. Характерна высокая амплитуда месячных значений осадков. В период посева и начального развития культуры (в фазу формирования 1–3 трилистника) установлена резкая нехватка осадков (отклонение от нормы в мае–июне –58,5 и –44,2 мм соответственно), чрезмерное выпадение осадков в фазы цветения и начало образования стручка в июле (+60,3 мм к норме), и превышение нормы осадков (+18,1 мм) в августе, в фазу окончания формирования бобов. В фазу полной спелости бобов температура воздуха превысила норму на 3,5 °С, а количество осадков зафиксировано ниже нормы (–32,9 мм).

Гидротермический коэффициент (ГТК) по Г. С. Селянинову – комплексный показатель осадков и температуры выше 10 °С (по метеостанции Минск) для территории ОАО «Игнатичи» в вегетационный период (с мая по август) 2023 г. изменялся неравномерно. Наименьшее значение ГТК установлено в мае – 0,17, а максимальное – 2,62 в июле. В 2024 г. наименьшее значение ГТК установлено в сентябре – 0,35, а максимальное также в июле – 2,66 (табл. 3).

Таблица 3

Значения ГТК на территории ОАО «Игнатичи» (по метеостанции Минск)

Месяц	ГТК, 2023 г.	ГТК, 2024 г.	Уровень увлажнения, 2023 г.	Уровень увлажнения, 2024 г.
Май	0,17	1,24	очень сильнозасушливый	достаточно влажный
Июнь	0,83	1,53	слабозасушливый	чрезмерно влажный
Июль	2,62	2,66	чрезмерно влажный	чрезмерно влажный
Август	1,36	0,46	достаточно влажный	сильнозасушливый
Сентябрь	0,67	0,35	среднезасушливый	очень сильнозасушливый

*Примечание. Уровень увлажнения по ГТК ранжируется следующим образом: ГТК < 0,4 – очень сильнозасушливый; 0,4–0,5 – сильнозасушливый; 0,6–0,7 – среднезасушливый; 0,8–0,9 – слабозасушливый; 1,0–1,5 – достаточно влажный; ГТК > 1,5 – чрезмерно влажный.

По метеорологическим данным за 2024 г. установлено, что наиболее экстремальные (неблагоприятные) условия по выпадению осадков за вегетационный период (май–август) складывались в 1-й декаде мая, в 3-й декаде июня и августа. Суммарное количество осадков в 1-й декаде мая составило 6,8 мм, в 3-й декаде

июня – 2,0 мм, в 3-й декаде августа – 2,5 мм. Максимальное количество осадков – 72,1 мм – выпало во 2-ю декаду июля, чуть менее – 58,0 мм – во 2-ю декаду июня. По данным метеостанции Минск бездождный период в мае составил 18 дней. Норма среднемесячной температуры мая 13,3 °С, фактическая же составила по данным наблюдений 14,0 °С. Отклонение от нормы составило +0,7 °С (табл. 2). В июне бездождный период составил 21 день. Температура воздуха в этот период также была чуть выше климатической нормы на 1,8 °С. В июле отмечалось наибольшее количество дней с осадками – 15, за которые выпало 167,1 мм осадков, что превысило норму в 1,9 раза, показатели температуры были выше нормы (+1,7 °С). В августе температура воздуха превысила норму на 1,8 °С, а количество осадков было ниже нормы на 40,4 мм, или в 2,5 раза меньше. В сентябре температура воздуха превысила норму на 5,1 °С, а количество осадков было ниже нормы на 41,5 мм (рис. 1, табл. 2).

Таким образом, метеорологические условия вегетационного периода произрастания сои в 2024 г. по показателю выпавших осадков можно считать более благоприятными по сравнению с 2023 г. В период посева и начального развития культуры (в фазу формирования 1–3 трилистника) установлена нехватка осадков (отклонение от нормы в мае–июне составило –10,8 и –5,5 мм соответственно), но не такая резкая, как в 2023 г., чрезмерное выпадение осадков в фазы цветения и начало образования стручка в июле (+78,1 мм к норме), и нехватка осадков (–40,4 мм) в августе, в фазу окончания формирования бобов. А в фазу полной спелости бобов температура воздуха превысила норму на 5,1 °С, а количество осадков зафиксировано ниже нормы (–41,5 мм).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате полевых исследований 2023–2024 гг. установлено, что площадь листовой поверхности (ПЛП) сои изменялась по фазам развития. Так в фазу V1–V2 (первый–третий трилистник) значение ПЛП, как на автоморфных, так и на временно избыточно увлажненных почвах существенно не различалась и составляло от 3,0 до 3,5 тыс. м²/га (рис. 2). В фазу V4–5 (четвертый, пятый трилистник) значение ПЛП в 2023 г. на автоморфной почве несколько ниже по сравнению с временно избыточно увлажненной и составляет всего 13,4 тыс. м²/га. В 2024 г. показатели ПЛП в эту фазу также практически не различались между собой (16,3–18,5 тыс. м²/га). Низкое развитие листового аппарата на автоморфной почве в 2023 г. связано с отсутствием осадков в указанный период.

В фазу R1–2 (начало цветения–цветение) значения ПЛП на временно избыточно увлажненных почвах существенно возросли: 28,6 тыс. м²/га в 2023 г. и 39,6 тыс. м²/га в 2024 г. Однако уже в фазе R3–R4 (начало образования стручка, нижние полностью сформированы) значения ПЛП для исследуемых почв в 2023 г. не различались, а в 2024 г. на временно избыточно увлажненной почве площадь листовой поверхности составила 59,3 тыс. м²/га. В 2023 г. максимальные значения ПЛП для автоморфной почвы отмечено на стадии R5 (окончание формирования бобов) – 55,8 тыс. м²/га, а для временно избыточно увлажненной в период сначала созревания семян (V7) – 42,4 тыс. м²/га.

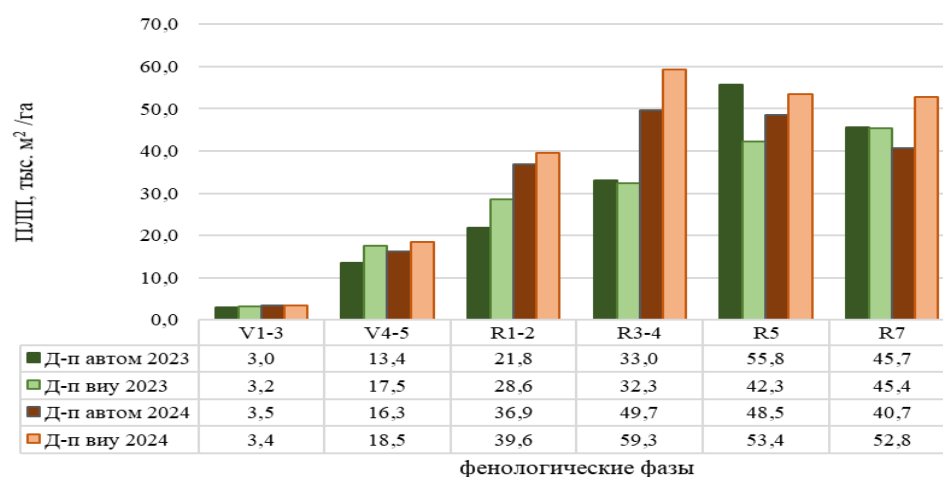


Рис. 2. Показатели площади листовой поверхности сои по фазам развития в 2023–2024 гг.

Значения фотосинтетического потенциала (ФСП) в начальных стадиях формирования растений (фазы V1–3, V4–5, R1, R2) в 2023 г. на временно избыточно увлажненной почве были выше, чем на автоморфной (61,1–342,6 тыс. м²сут/га против 57,5–262,0 тыс. м²сут/га). Далее наблюдалось снижение ФСП на временно избыточно увлажненных почвах, по сравнению с автоморфными (рис. 3).

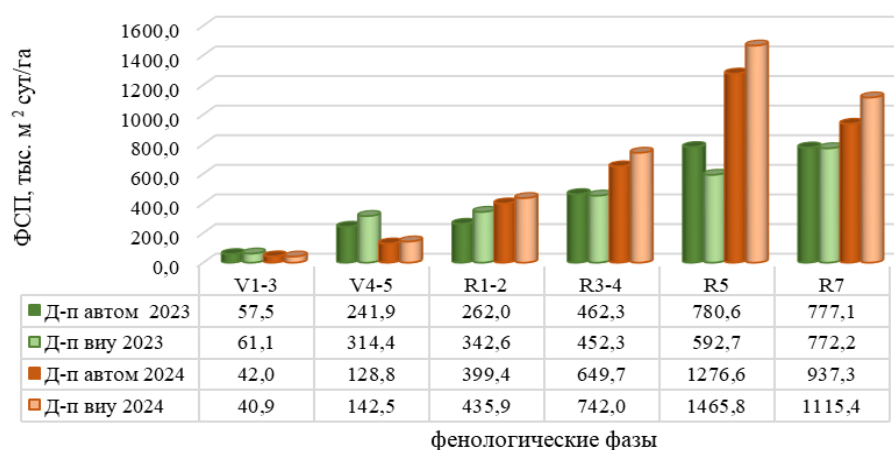


Рис. 3. Показатели фотосинтетического потенциала растений сои по фазам развития в 2023–2024 гг.

Наибольшие значения ФСП отмечены на стадии R5 на дерново-подзолистой автоморфной легкосуглинистой почве (780,6 тыс. м²сут/га), на временно избыточно увлажненной – показатели ФСП в эту стадию несколько ниже (592,7 тыс. м²сут/га). На 95-й день вегетации в 2023 г. значения ФСП сои существенно не различались (777,1–772,2 тыс. м²сут/га), как на автоморфной, так и на временно избыточно увлажненной почве. В сложившихся агрометеорологических условиях (бездожд-

ный период в мае–июне) степень увлажнения почвы оказывала положительное влияние на увеличение ПЛП и ФСП на временно избыточно увлажненных почвах до фазы цветения (V5–R1, R2), однако в фазы начала формирования стручка и фазу окончания формирования бобов (R3–R4, R5) показатели существенно не различались. В 2024 г. в начальных фазах развития (V1–V5) показатель ФСП составлял 42,0–128,8 тыс. м²сут/га на автоморфных почвах и 40,9–142,5 тыс. м²сут/га на временно избыточно увлажненных почвах, далее по всем фазам он был существенно выше не переувлажненной почвы. Максимальный показатель ФСП в 2024 г. отмечен в фазу окончания формирования бобов (R5) – 1276,6–1465,8 тыс. м²сут/га.

Получены высокие значения коэффициента регрессии между показателями ПЛП ($R^2 = 0,56–0,92$) и ФСП ($R^2 = 0,72–0,94$) сои с данными диапазона активной влаги в слое 0–20 см (табл. 4).

Таблица 4

Значения регрессионного анализа фотосинтетической деятельности растений сои с диапазоном активной влаги в слое 0–20 см

Почва	Год	Коэффициент детерминации, R ²	Показатель	Уравнение
Дерново-подзолистая автоморфная	2023	0,74	ПЛП	$y = 0,0035x^2 - 0,4118x + 26,409$
		0,85	ФСП	$y = 8E - 07x^2 - 0,0059x + 25,164$
0,92		ПЛП	$y = -0,0011x^2 - 0,2023x + 28,032$	
0,93		ФСП	$y = 4E - 07x^2 - 0,0042x + 27,097$	
Дерново-подзолистая автоморфная	2024	0,56	ПЛП	$y = -0,008x^2 - 0,6791x + 63,335$
		0,94	ФСП	$y = 0,8942x^2 - 91,391x + 2423,9$
0,76		ПЛП	$y = 0,1916x^2 - 15,821x + 334,54$	
0,72		ФСП	$y = 4,2768x^2 - 356,8x + 7375,8$	

Корреляционный расчет между показателями ПЛП и ФСП сои сорта Адесса и количеством осадков (мм) в межфазный период развития культуры в 2023 г. позволил установить «умеренную» связь ($r = 0,46$) между показателями ФСП и количеством осадков (мм) в межфазный период развития культуры на дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных почвах, «заметную» ($r = 0,56–0,62$) между количеством осадков (мм) в межфазный период и показателями ПЛП для дерново-подзолистой временно избыточно увлажненной почвы и показателем ФСП для дерново-подзолистой почвы. Наиболее «тесная» связь ($r = 0,74$) выражена между показателем ПЛП и количеством осадков на дерново-подзолистой автоморфной почве (табл. 5).

В 2024 г. установлена «умеренная» связь ($r = 0,41–0,43$) между показателями ФСП сои и количеством осадков (мм) в межфазный период развития культуры. Связь между показателем ПЛП и количеством осадков в межфазный период не установлена ($r = 0,10–0,21$).

Таблица 5

Корреляционные зависимости между показателями ПЛП и ФСП от количества осадков (мм) в межфазный период развития культуры сои сорта Адесса

Показатель	Почва	ПЛП, тыс. м ² /га		ФСП, тыс. м ² сут/га	
		2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.
Количество осадков (мм) в межфазный период	Дерново-подзолистая автоморфная	0,74	0,10	0,62	0,41
	Дерново-подзолистая временно избыточно увлажненная	0,56	0,21	0,46	0,43

Данные биологической урожайности бобов сои сорта Адесса представлены в таблице 6. В условиях 2023 г. более продуктивными оказались посевы сои на дерново-подзолистой временно избыточно увлажненной почве – 38,2 ц/га, а на дерново-подзолистой легкосуглинистой автоморфной почве – 34,1 ц/га. Дефицит влаги, который наблюдался до периода цветения и начала образования стручков (ГТК = 0,6) негативно сказался на образовании генеративных органов и последующей урожайности на дерново-подзолистой автоморфной почве. Также при засушливых явлениях в начале вегетации входы могут быть неравномерными, что в последующем сказывается на времени созревания семян. Выпавшие осадки в конце июля – начале августа 2023 г. привели к затягиванию созревания семян. Посевы сои достигли полной спелости только к концу сентября.

Таблица 6

Показатели биологической урожайности зерна сои сорта Адесса, ц/га

Почва	2023 г.						2024 г.					
	повторность				сред-нее	± %	повторность				сред-нее	± %
	1	2	3	4			1	2	3	4		
Дерново-подзолистая автоморфная	33,2	31,6	36,2	35,4	34,1	–11	41,2	38,4	40,3	37,5	39,3	
Дерново-подзолистая временно избыточно увлажненная	38,6	39,2	36,9	37,9	38,2		34,0	30,7	33,7	28,1	31,6	–20
НСР _{0,5}	2,8						3,6					

В 2024 г. в условиях благоприятного вегетационного периода (ГТК = 1,4) более продуктивными были посевы сои на дерново-подзолистой автоморфной почве (39,3 ц/га), а на временно избыточно увлажненной – 31,6 (НСР_{0,5} = 3,6). В то же время по показателю массы 1000 зерен варианты между собой не различаются. В среднем она равна 225,5–225,7 г, изменяясь от 216 до 242 г. Существенной разницы не наблюдается.

Анализ гидротермических условий показывает, что в 2024 г. в начальные фазы вегетации складывались благоприятные условия (ГТК = 1,24–1,53) для развития растений, а засушливый период наступил, когда растения находились

в стадии начала созревания. Соответственно растения достигли полной спелости примерно на три недели быстрее, чем в 2023 г.

Таким образом, при засушливых условиях в начальные фазы вегетации сои ее продуктивность на дерново-подзолистых временно-избыточно увлажненных суглинистых почвах на 10–15 % выше (38,2 ц/га против 34,1 ц/га), чем на автоморфных почвах. При достаточном увлажнении (ГТК = 1,25–1,45) продуктивность на автоморфных почвах на 20 % выше (39,3 ц/га против 31,6 ц/га), чем на временно избыточно увлажненных почвах.

Корреляционно-регрессионный анализ подтверждает, что в засушливых условиях урожайность зерна сои имеет «сильную прямую» связь с водно-физическими свойствами, а именно с диапазоном активной влаги в слое 0–20 см, где коэффициент корреляции равен 0,91. А в годы с достаточным увлажнением (ГТК 1,4–1,5) имеется «сильная обратная» связь урожайности сои с диапазоном активной влаги ($r = -0,88$) (рис. 4).

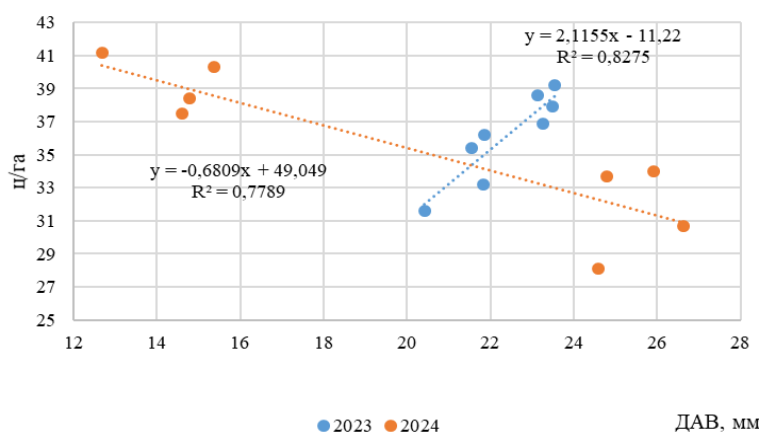


Рис. 4. Зависимость урожайности зерна сои от диапазона активной влаги в слое 0–20 см

Статистическая обработка полученных данных позволила установить силу и направленность взаимосвязей между урожайностью изучаемых культур и влияющими на нее факторами (табл. 7).

Таблица 7

Корреляционные зависимости урожайности зерна сои и подсолнечника от агрофизических, агрохимических факторов и фотосинтетической деятельности, г

Показатели	Урожайность, ц/га	
	2023	2024
Площадь листовой поверхности	–0,26	–0,31
Фотосинтетический потенциал	–0,26	–0,39
Запасы фосфора, т/га	0,71	0,91
Запасы калия, т/га	0,57	0,84
Запасы гумуса, т/га	0,88	0,97
ДВ в слое 0–20 см	0,91	–0,88

Выявлена «сильная» связь ($r = 0,84-0,97$) между показателями урожайности сои и запасами калия, фосфора и гумуса и «умеренная» зависимость от показателей фотосинтетической деятельности ($r = -0,31-0,39$).

ВЫВОДЫ

Метеорологические условия вегетационного периода 2023 и 2024 гг. имели существенные различия. Вегетационный период 2023 г. в начальные фазы вегетации сои характеризовался как засушливый (ГТК мая-июня $0,17-0,83$), а условия 2024 г. характеризовались как достаточно влажные (ГТК мая-июня $1,24-1,53$). В июле засушливые условия как в 2023, так и в 2024 г. сменились чрезмерно влажными (ГТК $2,62-2,66$). ГТК в августе в 2023 г. составил $1,36$ (достаточно влажный), а в 2024 г. – $0,46$ (сильнозасушливый). В сентябре условия увлажнения изменялись от средnezасушливых ($0,67$) в 2023 г. до сильнозасушливых ($0,46$) в 2024 г.

Исследования фотосинтетической деятельности культуры сои сорта Адесса в производственных посевах показали, что наиболее высокая площадь листовой поверхности в посевах сои отмечалась в 2023 г. в фазу окончания формирования бобов на дерново-подзолистой автоморфной почве – $55,8$ тыс. $\text{м}^2/\text{га}$, а в 2024 г. – в фазу начала образования стручка-начала налива семян на дерново-подзолистой временно избыточно увлажненной почве – $59,3$ тыс. $\text{м}^2/\text{га}$. К концу вегетации она уменьшалась за счет усыхания листьев в нижней части стебля.

Степень увлажнения почвы оказывала положительное влияние на увеличение показателя фотосинтетического потенциала на временно избыточно увлажненной почве в фазу цветения в 2023 г. Цветение проходило в резкую смену засушливых условий на влажные. В фазу начала формирования стручка показатели ФСП уже существенно не различались. Наибольшие значения ФСП отмечены на стадии окончания формирования бобов на дерново-подзолистой почве – $780,6$ тыс. $\text{м}^2\text{сут.}/\text{га}$ (на временно избыточно увлажненной ниже на 24% , ГТК = $1,53$). На 95-й день вегетации значения ФСП не отличались.

В 2024 г. значения ФСП в начальные фазы существенно не различались на почвах-объектах исследования, но на более поздних стадиях развития показатели были выше на переувлажненной почве. Максимальный показатель ФСП в 2024 г. отмечен в фазу окончания формирования бобов – $1276,6-1465,8$ тыс. $\text{м}^2\text{сут.}/\text{га}$ на автоморфной и временно избыточно увлажненной почвах соответственно.

На основании результатов корреляционно-регрессионного анализа выявлена существенная связь между диапазоном активной влаги в слое $0-20$ см и величинами ПЛП и ФСП сои на обеих почвенных разновидностях. Коэффициент детерминации для ПЛП равен $0,56-0,92$, а для ФСП – $0,72-0,94$. Выявлена зависимость между показателями фотосинтетической деятельности растений (ПЛП) сои и количеством осадков в межфазный период. Более «сильная» связь установлена в 2023 г., где коэффициент корреляции равен $0,74$ на автоморфной почве и $0,56$ – на временно избыточно увлажненной. В 2024 г. связь не установлена. Коэффициент корреляции для ФСП составил $0,62-0,41$ для автоморфной почвы и $0,46-0,43$ – для временно избыточно увлажненной.

Дефицит влаги, наблюдавшийся в 2023 г. в начальные фазы вегетации, негативно сказался на образовании генеративных органов и последующей урожайности сои на

дерново-подзолистой автоморфной почве. Выпавшие осадки в конце июля – начале августа 2023 г. привели к удлинению вегетационного периода и затягивания созревания семян. Посевы сои достигли полной спелости только к концу сентября. В 2024 г. в начальные фазы вегетации складывались благоприятные условия ($ГТК = 1,24–1,53$) для развития растений, а засушливый период наступил, когда растения находились в стадии начала созревания. Соответственно, растения достигли полной спелости примерно на три недели быстрее, чем в 2023 г.

Таким образом, при засушливых условиях в начальные фазы вегетации сои ее продуктивность на дерново-подзолистых временно-избыточно увлажненных суглинистых почвах на 10–15 % выше (38,2 ц/га против 34,1 ц/га), чем на автоморфных почвах. При достаточном увлажнении ($ГТК = 1,25–1,45$) продуктивность на автоморфных почвах на 20 % выше (39,3 ц/га против 31,6 ц/га), чем на временно избыточно увлажненных почвах.

Установлены корреляционные зависимости (r) продуктивности сои от агрометеорологических условий их произрастания: агрофизических, агрохимических факторов и фотосинтетической деятельности. Выявлена «сильная» связь ($r = 0,84–0,97$) между показателями урожайности сои и запасами калия, фосфора и гумуса и «умеренная» зависимость от показателей фотосинтетической деятельности ($r = -0,31–0,39$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Земледелие / П. И. Никончик, А. Ч. Скируха, С. С. Небышинец [и др.]; под ред. П. И. Никончика. – Минск: ИВЦ Минфина, 2014. – 584 с.
2. Головина, Е. В. Физиологические особенности сортов сои северного экотипа, возделываемых в условиях ЦЧР / Е. В. Головина, А. А. Зеленев // Аграрная наука. – 2020. – № 11–12. – С. 89–96.
3. Головина, Е. В. Влияние погодных условий на продукционный процесс у сортов сои северного экотипа / Е. В. Головина, В. И. Зотиков // Сельскохозяйственная биология. – 2013. – Т. 48. – № 6. – С. 112–118.
4. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу: учеб. пособие для студ. вузов / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова; под ред. И. П. Ермакова. – М.: Изд. центр «Академия», 2003. – 256 с.
5. Гарбар, Л. А. Формирование площади листовой поверхности гибридов подсолнечника под влиянием минерального удобрения / Л. А. Гарбар, Т. В. Ковтун // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – № 11(169). – 2018. – С. 19–24.
6. Ничипорович, А. А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах / А. А. Ничипорович, Л. Е. Строганова, М. П. Власова. – М.: АН СССР, 1969. – 137 с.
7. Методика крупномасштабного агрохимического и радиационного обследования почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич, В. В. Лапа, Н. Н. Цыбулько [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 45 с.
8. Методические указания по почвенно-геоботаническим и агрохимическим крупномасштабным исследованиям в БССР / Н. И. Смеян, И. Н. Соловей; под ред. Н. И. Смеяна. – Минск: Ураджай, 1973. – 299 с.
9. ТКП 2018 (33520) Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель. Технология работ / РУП «Проектный институт Белгипрозем». – Минск. – 2018. – 133 с.

10. Агрофизические методы исследования почв / С. И. Долгов, А. И. Мичманова, С. А. Модина [и др.]; под общ. ред. С. И. Долгова. – М.: Наука, 1966. – 260 с.
11. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв (учебное пособие для ВУЗов) / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина // 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
12. Зерновой соевый союз ПФО [Электронный ресурс]. – URL: <https://soya-pfo.ru/> (дата обращения: 09.06.2023).
13. Основные фазы роста и развития сои, особенности агротехнологических мероприятий [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://vniimk.ru/press/news/osnovnye-fazy-rosta-i-razvitiya-soi-i-osobennosti-agrotekhnologicheskikh-meropriyatiy-v-zavisimosti> (дата обращения: 24.02.2023).
14. Индекс листовой поверхности: методы полевых инструментальных измерений и использование материалов дистанционного зондирования / Е. И. Голубева, М. В. Зимин, О. В. Тутубалина [и др.] // Экология. Экономика. Информатика. Серия Геоинформационные технологии и космический мониторинг. – № 5. – Т. 2. – 2020. – С. 70–74.
15. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1965. – 423 с.
16. Агроэкологические особенности возделывания сои в Беларуси / О. В. Матыченкова, Т. Н. Азаренок, Д. В. Матыченков, С. В. Дыдышко // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия: сб. докл. XVIII Междунар. науч.-практ. конф. Курского отделения МОО «Общество почвоведов им. В. В. Докучаева», г. Курск, 26–28 апр. 2023 г. – Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2023. – С. 196–200.
17. Архив метеорологических данных [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26850/> (дата обращения: 21.10.2024).

INFLUENCE OF SOIL AND WEATHER CONDITIONS THE PHOTOSYNTHETIC POTENTIAL AND PRODUCTIVITY OF SOYBEANS

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

Summary

The indices of photosynthetic activity of the soybean variety «Adessa» (leaf surface area, photosynthetic potential) were determined in the agrometeorological conditions of 2023–2024. The influence of soil and agroclimatic conditions of the Central Soil and Ecological Province of Belarus on soybean productivity was established. It was found that under dry conditions in the initial phases of soybean vegetation, its productivity on sod-podzolic temporarily over-moistened loamy soils is 10–15 % higher (38,2 c/ha versus 34,1 c/ha) than on automorphic soils. With sufficient moisture (HTC = 1,25–1,45), productivity on automorphic soils is 20 % higher (39,3 c/ha versus 31,6 c/ha) than on temporarily over-moistened soils. A «strong» relationship ($r = 0,84–0,97$) was found between the yield indicators and the reserves of potassium, phosphorus and humus; a «strong» inverse relationship ($r = -0,88$) between the range of active moisture in the 0–20 cm layer and the indicators of mobile and active iron ($r = -0,73$); a «moderate» relationship with the indicators of photosynthetic activity ($r = -0,31–0,39$).

Поступила 12.05.25

АЦЭНКА ПАТЭНЦЫЯЛЬНЫХ РЫЗЫКАЎ ПРАЯВЫ ДЭФЛЯЦЫІ ВА ЎМОВАХ ЦЭНТРАЛЬНАЙ ЧАСТКІ ПАЎДНЕВАЙ ГЛЕБАВА-ЭКАЛАГІЧНАЙ ПРАВІНЦЫІ БЕЛАРУСІ

В. Б. Цырыбка¹, Г. М. Усцінава¹, І. А. Лагачоў¹,
П. С. Гуцько¹, А. В. Юхнавец¹, С. А. Касьянчык²

¹ Інстытут глебазнаўства і аграхіміі, г. Мінск, Беларусь

² Нацыянальная акадэмія навук Беларусі, г. Мінск, Беларусь

УВОДЗІНЫ

Глебава-зямельныя рэсурсы з'яўляюцца асновай сельскагаспадарчай вытворчасці Беларусі, таму базіс аграрнай эканомікі рэспублікі ў значнай ступені вызначаецца станам урадлівасці глеб. Адным з фактараў, які лімітуе эфектыўную сельскагаспадарчую вытворчасць ва ўмовах змянення клімату ў Беларусі, з'яўляецца дэфляцыя глеб.

Дэфляцыя, як экзагенны геалагічны працэс, заўсёды з'яўлялася адным з фактараў фарміравання глебавага покрыва, але ў цяперашні час, ва ўмовах шматразова ўзрослай антрапагеннай нагрузкі, адбываецца лакальная інтэнсіфікацыя геамарфалагічнай дзейнасці ветру [1].

Дэфляцыйныя працэсы наносяць істотную эканамічную шкоду, прыводзячы да пагаршэння ўрадлівасці і прадукцыйнай здольнасці глеб у выніку выдзімання з верхняга пласта драбназёма, які змяшчае найбольшую колькасць перагною і элементаў мінеральнага харчавання раслін. Таксама адбываецца пагаршэнне водна-фізічных і біялагічных уласцівасцей глеб [2]. Дэфляцыя глебы з'яўляецца сур'ёзнай экалагічнай праблемай. Устаноўлена, што каля 25 % глабальных выкідаў пылу ў атмасферу адбываецца з-за дэфляцыйных працэсаў на сельскагаспадарчых землях. Такім чынам, гэты від дэградацыі не толькі пагаршае ўрадлівасць глеб і ўмовы вядзення сельскай гаспадаркі, але і негатыўна ўплывае на якасць жыцця чалавека, забруджваючы водныя аб'екты і атмасфернае паветра [1].

Адрыў і перамяшчэнне глебавых агрэгатаў падчас дэфляцыйных працэсаў адбываецца на паверхні зямлі, пазбаўленай расліннасці, ў момант, калі метэаралагічныя ўмовы на дадзенай тэрыторыі забяспечваюць сілу ветравага струменя большую за гравітацыйныя і кагезійныя сілы, якія ўтрымліваюць глебавы драбназём [3]. Такія ўмовы больш характэрныя для зон пустыняў, паўпустыняў і сухіх стэпаў, але змены клімату, у першую чаргу павелічэнне паўтаральнасці засушлівых перыядаў, абумоўліваюць актывізацыю гэтага віду дэградацыі і ў больш паўночных шыратах. Напрыклад, плошча дэфляцыйна небяспечных глеб на поўначы Германіі ацэньваецца ў 2000,0 тыс. га, у Даніі – у 100,00 тыс. га, а ў Швецыі – у 170 тыс. га [4, 5].

У Рэспубліцы Беларусь 2108,2 тыс. га ворных земляў (каля 40 % плошчы раллі), адносяцца да дэфляцыйна небяспечных, якія найбольш распаўсюджаны на тэрыторыі паўднёвай (Палескай) глебава-экалагічнай правінцыі – у Брэсцкай, Гомельскай і Мінскай абласцях [6].

Максімальная інтэнсіўнасць дэфляцыйных працэсаў у Беларусі адзначаецца вясной (красавік–травень) і ў пачатку лета (першая дэкада чэрвеня), калі глеба

распылена апрацоўкай і не абаронена расліннасцю, радзей – восенню. Сярэднешматгадовыя страты глебавага драбназему ў красавіку складаюць 30 %, у траўні – 42, у чэрвені – 24, у верасні – 4 % ад агульнай сумы гадавых страт [7].

Рызыкі праявы працэсаў дэфляцыі павялічваюцца ў выніку нерацыянальнага кіравання глебава-зямельнымі рэсурсамі. Апрацоўка прапашных культур, павелічэнне плошчаў працоўных участкаў, вялікая колькасць тэхналагічных аперацый, знішчэння полеахоўных лесапалос, празмерны выпас жывёлы, элементы меліярацыйных сістэм, якія функцыяніруюць няправільна, – усё гэта ўзмацняе верагоднасць праявы дэфляцыйнай дэградацыі глеб [8].

Варта адзначыць, што рызыка праявы дэфляцыі шмат у чым вызначаецца канкрэтнымі метэаралагічнымі ўмовамі: вільготнасць глебы блізкая да гранічнай палявой вільгацёмістасці і адсутнасць ці мала паўтаральнасць крытычных хуткасцяў ветра, – забяспечваюць мінімізацыю дадзенай рызыкі [9].

Мэтай даследаванняў з'яўлялася ацэнка патэнцыйных рызык праявы дэфляцыі ва ўмовах цэнтральнай часткі паўднёвай глебава-экалагічнай правінцыі Беларусі.

АБ'ЕКТЫ І МЕТАДЫ ДАСЛЕДАВАННЯЎ

Аб'ектам даследаванняў з'яўлялася моцна дэфляцыйнанебяспечная дзярнова-падзолістая слабаглеяватая пясчаная глеба, якая развіваецца на старажытнаалювіяльных звязных пясках. Апорны разрэз закладзены на лугавых землях каля паўночнай часткі в. Беразіна, Жыткавіцкага раёна Гомельскай вобласці (фота).

	$\frac{A1A(n)}{0-40}$	– гумусава-ворны гарызонт, пясак звязны старажытнаалювіяльны цёмна-шэрага колеру, у верхняй частцы з каранямі раслін, адзінаковыя іржавыя плямы, уключэння драўнянага вугля, свежы, слабаўшчыльнены, няўстойлівай камякавата-дробнакамяватай структуры, пераход ясны; амаль прамая лінія
	$\frac{B1(A2g)}{41-67}$	– ілювіяльны гарызонт, ў верхняй частцы са слядамі элювіяльнага, пясак звязны старажытнаалювіяльны брудна жоўтага колеру з вохрыстымі іржавымі плямамі, з уключэннямі артэфактаў драўнянага вугалю, адзінаковыя карані, свежы, слабаўшчыльнены, бесструктурны, пераход паступовы;
	$\frac{B2(g)}{68-82}$	– ілювіяльны гарызонт, пясак рыхлы старажытнаалювіяльны белаватага колеру з адзінаковымі вохрыстымі іржавымі плямамі, вільготны, слабаўшчыльнены, бесструктурны, пераход паступовы;
	$\frac{B3Cg}{80-(115)}$	– пераходны да глебаўтваральнай пароды гарызонт, пясак рыхлы старажытнаалювіяльны жоўта-белаватага колеру, з вялікай колькасцю іржавых падцёкаў і жалезістых новаўтварэнняў, вільготны, слабаўшчыльнены, бесструктурны

Фота. Дзярнова-падзолістая аглееная ўнізе пясчаная глеба, якая развіваецца на старажытнаалювіяльных звязных пясках, якія пераходзяць з глыбіні 0,68 м у рыхлыя

Для таго, каб вызначыць патэнцыяльную рызыку дэфляцыі, кожныя тры дні адбіраліся глебавыя пробы з верхняй часткі ворнага гарызонту (глыбіня 0–5 см) для вызначэння вільготнасці глебы.

Вільготнасць глебы вызначалася вагавым метадам, шчыльнасць глебы вызначалі пры дапамозе кольцаў Капецкага (метада «рэжучых кольцаў»), паказчыкі порыстасці – разліковым метадам [10], а поўная вільгацеёмістасць – у адпаведнасці з метадам Кабаева [11]. Паказчыкі, якія характарызуюць супрацьдэфляцыйную ўстойлівасць (утрыманне аграгатаў большых за 1,0 мм, утрыманне аграгатаў 0,5–0,1 мм), усталёўваюцца на аснове структурна-аграгатнага аналізу ў адпаведнасці з метадам Саввінава [10].

Неабходныя паказчыкі хуткасці ветру былі атрыманы з архіва метэаралагічных дадзеных інтэрнэт-рэсурсу Pogodaiklimat [12].

Лабараторна-аналітычныя даследаванні аграхімічных паказчыкаў глеб выконваліся па наступных метадах: арганічнае рэчыва (гумус) – па Цюрыну ў мадыфікацыі ЦІНАА (ДАСТ 26213-91); pH_{KCl} – патэнцыйнаметрычным метадам (ДАСТ 26483-85); рухомыя формы фосфару і калію па Кірсанаву (ДАСТ 26207-91); сума паглынутых асноў і гідралітычная кіслотнасць па Каппену (ДАСТ 27821-88; ДАСТ 26212-91), емістасць катыённага абмену і ступень насычанасці асновамі – разліковымі метадамі [6].

Каб ацаніць рызыкі развіцця дэфляцыі, паказчыкі ветру і вільготнасці глебы павінны быць пераведзены ў бязмерныя балы (табл. 1).

Табліца 1

Бальная адзнака хуткасці ветру і вільготнасці глебы

Хуткасць ветру		Вільготнасць глебы	
значэнне, м/с	бал	значэнне, %	бал
больш за 10	3	больш за 12	4
8–10	2	9–12	3
5–7	1	6–9	2
менш за 5	0	менш за 6	1

Пры хуткасці ветру менш за 5 м/с, а таксама вільготнасці ў вивучаемай глебе, больш за 12 %, верагоднасць праявы дэфляцыі мінімальная, што абумовіла бальную адзнаку гэтых паказчыкаў.

Для вызначэння патэнцыйных рызыкаў дэфляцыі было выкарыстана мадыфікаванае ўраўненне разліку індэкса рызыкі (WERI), прапанаванае аўстралійскімі навукоўцамі [14]:

$$R = \frac{C * (1 - K)}{V},$$

дзе R – рызыка;

C – гэта хуткасць ветру;

K – каэфіцыент глебаахоўнай здольнасці культуры;

V – вільготнасць глебы.

Ацэнка патэнцыйных рызык была праведзена на аснове шкалы, распрацаванай па літаратурным дадзеным аб механізмах дэфляцыі глебы [3, 8] і ўласным даследаванням (табл. 2).

Табліца 2

Шкала ацэнкі рызык праяўлення дэфляцыі

Бал	Рызыка	Характарыстыка
2,6–3,0	максімальная	Перанос аграгатаў 0,5–1,0 мм і буйнейшых (пылавая бура)
2,1–2,5	вельмі высокая	Перанос аграгатаў 0,1–0,5 мм, магчыма больш буйнейшых
1,6–2,0	высокая	Перанос аграгатаў 0,1–0,5 мм
0,9–1,5	сярэдня	Перанос аграгатаў меншых за 0,1 мм, магчыма – 0,1–0,5 мм
менш за 0,9	нізкая	Магчымы перанос аграгатаў меншых за 0,1 мм

ВЫНІКІ ДАСЛЕДАВАННЯЎ І ІХ АБМЕРКАВАННЕ

У ходзе даследаванняў былі вызначаны аграхімічныя ўласцівасці генетычных гарызонтаў, а таксама былі ацэнены аграфізічны стан і супрацьдэфляцыйная ўстойлівасць верхняй часткі ворнага гарызонту (табл. 3, 4).

Табліца 3

Аграхімічныя ўласцівасці дзярнова-падзолістай аглеенай унізе пясчанай глебы

Гарызонт	рН _{KCl}	Нг*	S	V	Гумус	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P ₂ O ₅	K ₂ O
		м-экв/100 г	%		мг/кг глебы				
A _(n)	3,73	5,25	0,6	10,3	2,14	69	14	46	29
B ₁	4,47	1,75	0,6	25,5	0,35	42	10	50	8
B ₂	4,58	1,05	0,4	27,6	0,10	42	11	66	6
B ₃ Cg	4,47	1,05	0,1	8,7	0,07	55	12	61	8

* гідралітычная кіслотнасць, S – сума паглынутах асноў, V – ступень насычанасці асновамі

Як відаць з табліцы 3, для верхняга гарызонту даследаванай глебы характэрна нізкае ўтрыманне катыёнаў кальцыя, нізкая ступень насычанасці асновамі, а значэнне рН_{KCl} – 3,73, што дазваляе аднесці яе да групы моцнакіслых глеб, якім уласцівая нізкая ўстойлівасць да дэфляцыі [15].

Утрыманне ўстойлівых да дэфляцыі аграгатаў вельмі нізкае – 6,7 %, а доля аграгатаў, якія пераносяцца пры крытычных хуткасцях ветру – 85,0 %, што паказвае на моцную ступень дэфляцыйнай небяспекі дадзенай глебы (табл. 4). Паказчык шчыльнасці адпавядае дыяпазону дапушчальных значэнняў [16]. Поўная вільгацеёмістасць вышэй за сярэдні паказчык для пясчаных глеб, што абумоўлена павышаным утрыманнем гумуса (2,14 %).

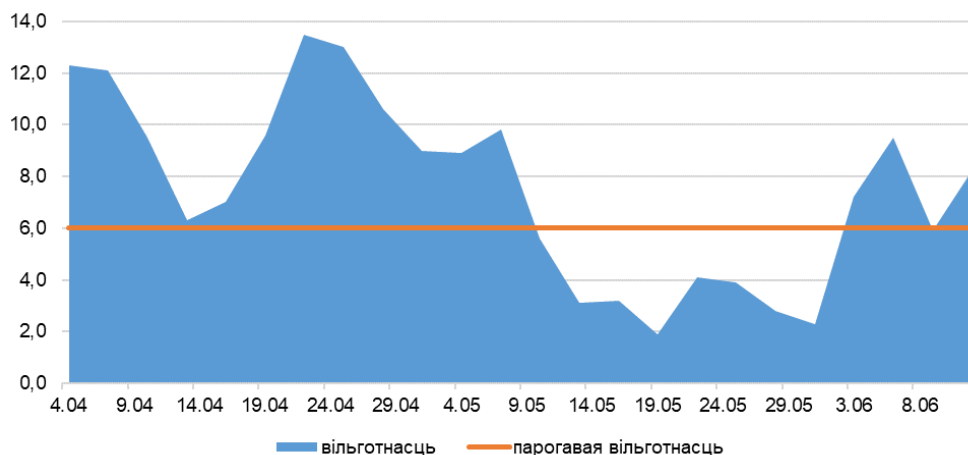
Табліца 4

Шчыльнасць, поўная вільгацеёмістасць (ПВ) і супрацьдэфляцыйная ўстойлівасць верхняй часткі ворнага гарызонта дзярнова-падзолістай аглеенай унізе пясчанай глебы

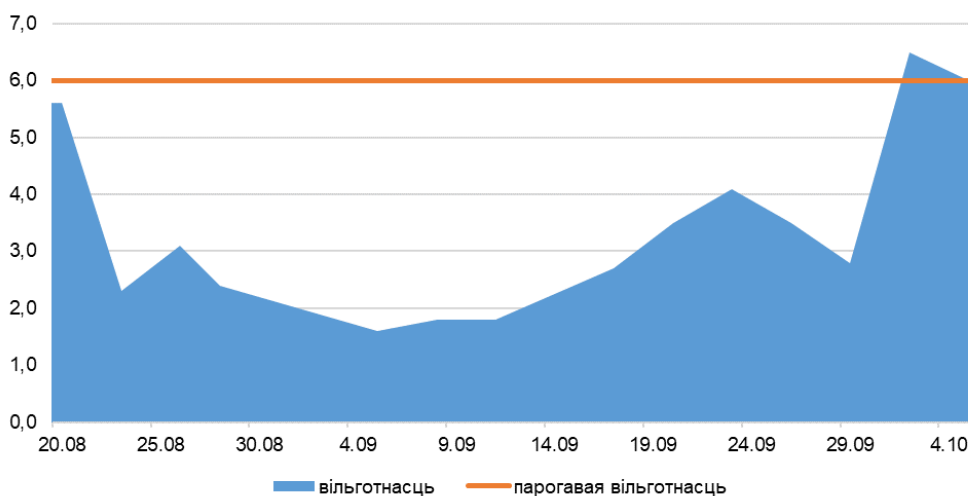
Утрыманне аграгатаў, %				Шчыльнасць	ПВ
Больш за 1,0 мм	1,0–0,5 мм	0,5–0,1 мм	Менш за 0,1 мм	г/см ³	%
6,7	3,1	85,0	5,2	1,53	31,0

У цэлым аграхімічныя ўласцівасці, аграфізічны стан і супрацьдэфляцыйная ўстойлівасць верхняй часткі ворнага гарызонту фармуюць перадумовы для высокай рызыкі патэнцыйнай праявы дэфляцыйных працэсаў на вивучаемай глебе.

У ходзе даследаванняў праводзіўся маніторынг вільготнасці верхняй часткі (глыбіня 0–5 см) ворнага гарызонту глебы ў найбольш дэфляцыйнанебяспечныя перыяды года (мал. 1 і 2).



Мал. 1. Вільготнасць верхняй часткі ворнага гарызонту ў перыяд красавік – сярэдзіна чэрвеня, %



Мал. 2. Вільготнасць верхняй часткі ворнага гарызонту ў перыяд трэцяя дэкада жніўня – пачатак кастрычніка, %

На малюнках адзначаны ўзровень паровавай вільготнасці (6,0 %), які прыкладна адпавядае значэнню вільготнасці завядання, і, пры якім адбываецца інтэнсіфікацыя дэфляцыйных працэсаў для дадзенай глебы.

Моцныя ападка, якія выпадалі ў зімовы перыяд (160 % ад сярэдніх шматгадовых значэнняў), і дастатковыя ў сакавіку і красавіку (каля 100 % ад сярэдніх), абумовілі дастатковую колькасць вільгаці ў глебе на працягу доўгага перыяду часу. У сувязі з гэтым на працягу красавіка і першай дэкады чэрвеня паказчыкі вільготнасці аказалі станоўчы ўплыў на зніжэнне рызыкі праявы дэфляцыйнай дэградацыі. У астатні час яны былі ніжэйшымі, дасягаючы мінімальных значэнняў у другой палове траўня і ў верасні (1,9–4,0 %).

На падставе матэрыялаў архіва надвор'я метэастанцыі Жыткавічы [12] праведзены аналіз хуткасцей ветру ў вывучаемы перыяд (табл. 5).

Таблица 5

Ветравыя абставіны на метэастанцыі Жыткавічы ў перыяд даследаванняў

Максімальная хуткасць ветру, м/с	Колькасць дзён					
	каравік	травень	чэрвень	жнівень	верасень	кастрычнік
Больш за 10	9	1	1	0	1	0
8–10	5	2	1	2	2	0
5–7	6	4	0	2	1	0
Менш за 5	10	24	8	7	26	5

Найбольшая паўтаральнасць высокіх хуткасцей ветру адзначалася ў красавіку месяцы, дастатковыя для інтэнсіфікацыі працэсаў дэфляцыі ветру назіраліся на працягу 20 дзён. У астатнія перыяды назіранняў пераважалі вятры са хуткасцямі менш за 5 м/с.

На падставе вынікаў назіранняў за вільготнасцю і інфармацыі аб хуткасцях ветру і выкарыстанні мадыфікаванага ўраўнення разліку індэкса рызыкі была выканана ацэнка рызык развіцця дэфляцыйных працэсаў у кожны дзень назіранняў.

Напрыклад, 20 траўня максімальная хуткасць ветру складала 5 м/с (1 бал), а вільготнасць глебы складала 1,9 % (1 бал), вырошчваемая культура – кукуруза (глебаахоўны каэфіцыент – 0,1).

Такім чынам, паказчык індэкса ў дадзены дзень роўны: $R = \frac{C \cdot (1-K)}{V} = \frac{1 \cdot (1-0,1)}{1} = 0,9$, што адпавядае сярэдняй рызыцы праявы дэфляцыі.

Выкарыстоўваючы шкалу ацэнкі рызык, было праведзена ранжыраванне дзён па верагоднасці праявы дэфляцыйных працэсаў. Паколькі назіранні ажыццяўляліся пад шматгадовымі травамі, дадатковыя даследаванні выкананы для сцэнара вырошчвання кукурузы (табл. 6).

Варта адзначыць, што пры разліках рызыкі пры апрацоўцы кукурузы на перыяд травень–чэрвень выкарыстоўваўся глебаахоўны каэфіцыент 0,10 [17]. У перыяд са жніўня да ўборкі на зялёную масу ў першай дэкадзе верасня кукуруза забяспечвае высокую ахову ад дэфляцыі, таму выкарыстоўваўся каэфіцыент 0,98, пасля зноў – 0,10.

Табліца 6

Колькасць дзён з рознымі ўроўнямі рызыкі праяўлення дэфляцыі

Месяц	Культура				
	Шматгадовыя травы	Кукуруза			
		нізкая	нізкая	сярэдня	высокая
Красавік	30	24	6	0	0
Травень	31	22	6	2	1
Чэрвень*	15	11	4	0	0
Жнівень**	11	11	0	0	0
Верасень	30	26	1	2	1
Кастрычнік***	5	5	0	0	0

* – даследаванні праводзіліся па 15 чэрвеня, ** – даследаванні праводзіліся ў трэцю дэкаду жніўня, *** – даследаванні праводзіліся па 5 кастрычніка.

Дадзеныя табліцы 6 паказваюць, што пры вырошчванні шматгадовых траў верагоднасць праявы дэфляцыйных працэсаў на працягу вегетацыйнага перыяду мінімальная. У той жа час вырошчванне кукурузы спалучана са значнымі рызыкамі – яна забяспечвае ахову глебы толькі ў познелетні і ранні восеньскі перыяды да ўборкі. Устаноўлена, што за перыяд назіранняў на працягу 17 дзён рызыка праявы дэфляцыйных працэсаў сярэдняя, 4 – высокая, а 2 – максімальная, калі верагодна фарміраванне пыльнай буры. Атрыманыя дадзеныя цалкам узгадняюцца з раней праведзенымі даследаваннямі і ў чарговы раз паказваюць на неабходнасць укаранення глебаахоўных элементаў земляробства на моцнадэфляцыйнанабяспечных пясчаных глебах.

ВЫВАДЫ

Праведзеныя даследаванні дазволілі ацаніць патэнцыйныя рызыкі праявы дэфляцыйных працэсаў на прыкладзе пясчанай глебы ва ўмовах цэнтральнай часткі паўднёвай глебава-экалагічнай правінцыі.

Устаноўлена, што метэаралагічныя ўмовы ў 2024 г. на тэрыторыі вивучаемага ключавога ўчастка: высокая вільготнасць глебы ў красавіку, першай дэкадзе траўня і чэрвені, а таксама малая паўтаральнасць высокіх хуткасцей ветру, – абумовілі зніжэнне інтэнсіўнасці працэсаў дэфляцыі.

Ацэнка патэнцыйных рызык праявы дэфляцыйных працэсаў паказала, што пры вырошчванні шматгадовых траў верагоднасць развіцця дэфляцыі ў ўмовах, якія склаліся пад час перыяду даследаванняў, была мінімальная. У той жа час, вырошчванне кукурузы спалучана са значнымі рызыкамі – гэта культура забяспечвае ахову глебы толькі ў позні летні і ранні восеньскі перыяды да ўборкі. На працягу перыяду назіранняў адзначана 17 дзён з сярэдняй рызыкай, 4 – з высокай, а таксама 2 дні – з максімальнай, калі верагоднасць фарміравання пыльнай буры вельмі высокая. Такім чынам, на моцнадэфляцыйнанабяспечных пясчаных глебах неабходна ўкараненне глебаахоўных элементаў земляробства.

СПІС ЛІТАТУРЫ

1. Wind erosion susceptibility of European soils / Pasquale Borrelli, Cristiano Ballabio, Panos Panagos, Luca Montanarella // *Geoderma*. – 2014. – Vol. 232–234. – P. 471–478.
2. Оценка противодефляционной устойчивости песчаных и рыхлосупесчаных почв пахотных земель Республики Беларусь / В. Б. Цырибко, А. М. Устинова, И. А. Логачёв [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. – 2024. – № 2(73). – С. 7–12.
3. Shao, Y. *Physics and modelling of wind erosion* / Y. Shao. – Cologne : Springer, 2008. – 456 p.
4. Wind erosion / R. Funk, H. Reuter // *Soil erosion in Europe* / edited by J. Boardman and J. Poesen. – Chichester : Wiley, 2006 – P. 563–582.
5. Riksen, M. The role of wind and splash erosion in inland drift-sand areas in the Netherlands / M. Riksen, D. Goossens // *Geomorphology*. – 2007. –V. 88 (Is. 1–2). – P. 179–192.
6. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / Г. И. Кузнецов, Н. И. Смеян, Г. С. Цытрон [и др.] ; под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смеяна. – Минск : Оргстрой, 2001. – 432 с.
7. Почвы Республики Беларусь / В. В. Лапа, Т. Н. Азарёнок, С. В. Шульгина [и др.] ; под. ред. В. В. Лапы. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 632 с.
8. Blanco, H. *Soil Conservation and Management* / Humberto Blanco, Rattan Lal. – Cham : Springer, 2024. – 611 p.
9. Кузнецов, М. С. Эрозия и охрана почв: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по естественнонаучным, аграрным направлениям / М. С. Кузнецов, Г. П. Глазунов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2023. – 386 с.
10. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М. : Агропромиздат, 1986. – 416 с.
11. Агрофизические и агрохимические методы исследования почв : уч.-метод. пособие / сост. В. И. Терпелец, В. Н. Слюсарев. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 65 с.
12. Погода и Климат : [сайт]. – Москва, 2004–2025. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/weather.php?id=33027> (дата обращения: 28.02.2025).
13. Справочник агрохимика / В. В. Лапа, Н. Н. Цыбулько, М. В. Рак [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии ; под. ред. В. В. Лапа. – Минск : ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.
14. Wind erosion risk assessment using time-series ground cover and climate data / X. Yanga, J. Leysb, S. Heidenreichb, T. Koenc [et al.] // 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Sydney, 10–15 Apr. 2011 / International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. – URL: <https://www.isprs.org/proceedings/2011/isrse-34/211104015Final00576.pdf>.
15. Computing the wind erodible fraction of soils / D. W. Fryrear, C. A. Krammes, D. L. Williamson [et al.] // *J. Soil Water Conserv.* – 1994. – № 49. – P. 183–188.
16. Цырибко В. Б. Определение оптимальных параметров агрофизических свойств почв и оценка современного состояния на их основе // *Почвоведение и агрохимия*. – 2016. – № 1(56). – С. 36–44.
17. Технологический регламент формирования почвозащитных комплексов на дефлированных и дефляционноопасных землях / Н. Н. Цыбулько, В. Б. Цырибко, А. М. Устинова [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: И-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2023. – 23 с.

**ASSESSMENT OF POTENTIAL RISKS OF DEFLATION IN
THE CONDITIONS OF THE CENTRAL PART OF THE SOUTHERN
SOIL-ECOLOGICAL PROVINCE OF BELARUS**

**V. B. Tsyrybka, H. M. Ustsinava, I. A. Lahachou,
P. S. Hutsko, A. V. Yukhnovets, S. A. Kasyanchik**

Summary

The article assesses the potential risks of deflation processes using sandy soil in the central part of the southern soil-ecological province as an example.

It was found that when cultivating perennial grasses, the probability of deflation development in the current meteorological conditions of 2024 was minimal in the territory of the studied key site. At the same time, when cultivating corn during the observation period, 17 days were noted with an average risk, 4 with a high risk, and 2 with a maximum, when a dust storm is likely to form.

The data obtained are fully consistent with previous studies and once again indicate the need to introduce soil-protective elements of agriculture on highly deflation-hazardous soils.

Поступила 02.05.25

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.8:633.15

СОДЕРЖАНИЕ И СООТНОШЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В РАСТЕНИЯХ КУКУРУЗЫ

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

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Кукуруза – универсальная зерновая культура с высоким продуктивным и адаптивным потенциалом, которая, благодаря своей пластичности, способна эффективно использовать почвенно-климатические факторы, хорошо отзываться прибавкой урожая на улучшение водного и пищевого режимов почвы, общего агротехнического состояния посевов. Эта культура обладает уникальным комплексом признаков, принципиально отличающим её от других растений семейства мятликовых: принадлежность к классу С4 (лучшее использование солнечной энергии), своеобразная раздельнополость, при которой мужское и женское соцветия закладываются на побегах с разной динамикой развития, широкая генетически обусловленная вариация по самым различным признакам, являющаяся резервом для адаптации культуры в большом диапазоне условий. Именно такое сочетание признаков определило в XX столетии ведущую роль кукурузы как главного источника дешевой концентрированной обменной энергии. И по этому показателю она вне конкуренции среди других полевых кормовых культур [1–4].

Кукуруза достаточно требовательна к агротехнике её возделывания и, особенно, к условиям минерального питания. Её высокая отзывчивость на удобрения прежде всего связана с тем, что она как высокоурожайная культура много потребляет и активно извлекает из почвы большое количество питательных веществ.

Поступление основных элементов питания в растения – это физиологический процесс, связанный с жизнедеятельностью всего растения в целом. Каждому этапу роста и развития растений соответствует своя, оптимальная концентрация питательного раствора, которая сильно варьирует и изменяется в различные периоды онтогенеза растений. И изучение динамики основных элементов питания в растениях в течение онтогенеза под действием разного уровня питания позволяет устанавливать их потребность в питательных веществах в ту или иную фазу развития, таким образом воздействуя на формирование урожая. В своё время известный советский учёный почвовед и агрохимик Вера Владимировна Церлинг [5] отмечала, что «получить планируемый урожай хорошего качества можно только тогда, когда известно, что требуется растению на каждом этапе формирования урожая».

Поступление элементов питания в корни зависит не только от концентрации элемента в почвенном растворе, но и от многих других факторов, в том числе взаимодействия элементов (антагонизм или синергизм ионов), комплекса складывающихся условий теплообеспеченности и увлажнения в течение вегетационного периода, сортовых особенностей культуры.

Особенный интерес представляет изучение динамики поглощения элементов питания и формирование урожая зерна кукурузы, возделываемой на дерново-подзолистых почвах с содержанием подвижных соединений фосфора и калия выше оптимальных значений.

Цель исследований – установить динамику содержания азота, фосфора и калия в растениях кукурузы по основным фазам развития культуры, их соотношения и параметры накопления в зависимости от складывающихся погодных условий и уровня минерального питания высоко окультуренной дерново-подзолистой суглинистой почвы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования проводили в стационарном опыте РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области, заложенном в 2020 г. на дерново-подзолистой суглинистой почве.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя (в среднем): pH 6,2, содержание гумуса – 2,0 %, подвижных соединений фосфатов – 1076 и калия – 344, меди – 3,0, бора – 0,8, цинка – 2,9 мг/кг почвы. Согласно агрохимическим грациям почв Беларуси по степени кислотности, изучаемая почва относится к близким к нейтральным со средним содержанием гумуса, повышенным – калия, очень высоким – фосфатов. Содержание меди – среднее, бора – высокое, цинка – низкое [6].

Опытная культура – кукуруза зернового направления F1 Фродо. Предшественник – яровая пшеница. Опыт был заложен в трёх полях. Схема опыта включала 10 вариантов в 4-кратной повторности. Общий размер делянки – 36,0 м² (6,0 м × 6,0 м).

Соломистый навоз в дозе 60 т/га был внесен осенью 2020, 2021 и 2022 гг. Минеральные удобрения (карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) применяли в основное внесение, кроме того азотные (карбамид) согласно схеме опыта – в подкормку в фазу 4–6 листьев кукурузы.

В качестве некорневой подкормки в посевах кукурузы применяли: микроудобрение МикроСтим-Цинк, Бор (м/у) – в фазе 4–6 листьев (2 л/га), органоминеральное удобрение Форкроп Голден 10–14–4 (ОМУ) – в фазах 6–8 и 8–10 листьев (1,5 + 1,5 л/га) и регулятор роста растений Агропон С (РР) – в фазе 6–8 листьев (0,02 л/га).

Форкроп Голден 10–14–4 – жидкое органоминеральное удобрение, биостимулятор. Содержит помимо азота, фосфора и калия также магний, марганец, бор и цинк, свободные аминокислоты растительного происхождения и специфически природные активаторы. Применение удобрения в стрессовых погодных условиях, а также в течении вегетативного роста и цветения способствует увеличению урожайности и улучшению качества продукции [7].

Биостимулятор растений Агропон С представляет собой прозрачный бесцветный водно-спиртовой раствор. Этот препарат биологического происхождения, содержит сбалансированный комплекс фитогормонов ауксиновой, цитокининовой природы, аминокислот, углеводов, жирных кислот, микроэлементов. Является высокоэффективным биостимулятором роста растений широкого спектра действия, продукт биотехнологического выращивания грибов-эпифитов, выделенных из корневой системы лекарственных растений. Повышает устойчивость растений к стрессовым факторам (высоким и низким температурам, засухе, фитотоксическому действию пестицидов), повышает урожай и улучшает качество растительной продукции [8].

Дозы удобрений под кукурузу и схема опыта представлена в таблицах 1–5.

В ходе исследований проводили фенологические наблюдения с отметкой дат наступления фаз развития растений кукурузы: всходы, 4–6, 8–10 листьев, цветение, молочная и полная спелость зерна. В течение вегетации растений осуществлялся мониторинг за динамикой температуры воздуха и количеством выпавших осадков.

При учете урожайности зерна с каждой делянки опытного участка проводили отбор растительных образцов для определения содержания сухого вещества (высушиванием в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С) и содержания 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) и фосфора – (ванадомолибдатным методом) (ГОСТ 26657-85); калия – на пламенном фотометре (ГОСТ 30504-97).

Гидротермические условия вегетационных периодов в годы проведения исследований существенно различались. Начало вегетации кукурузы 2021 и 2022 гг. характеризовалось избыточным увлажнением (115–175 % нормы осадков) на фоне оптимальных и/или повышенных температур, сменяемых в фазе 8–10 листьев – начало цветения в течение 20 (2021 г.) – 43 (2022 г.) дней засушливыми условиями, которые вплоть до уборки урожая сменялись обильными дождями с пониженным температурным фоном. В погодных условиях вегетации кукурузы 2023 г. распределение осадков происходило кардинально наоборот: межфазные периоды посев – 8–10 листьев и молочная – полная спелость проходили в засушливых условиях с повышенными температурами воздуха, а в период 8–10 листьев – начало молочной спелости отмечено избыточное выпадение осадков (165–192 % нормы) на фоне оптимальных или повышенных температур. Таким образом, процесс формирования конечной продукции (зерна) с определенными характеристиками качества происходил на фоне складывающихся погодных условий, что отразилось в различиях накопления элементов питания, их поглощения и нарастания надземной части кукурузы (биомассы сухого вещества).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Усвоение элементов питания культурами зависит от многих факторов как внутренних, так и внешних. Прежде всего, каждое растение испытывает потребность в определенном наборе химических соединений, который связан с типом культуры, фазой ее развития и индивидуальными особенностями. В течение вегетационного периода потребность и степень усвоения одного и того же элемента сильно отличаются. На уровень потребления элементов питания растениями существенное влияние оказывают складывающиеся гидротермические условия.

Кукуруза, в отличие от других зерновых культур, потребляет питательные вещества на протяжении всего периода вегетации (вплоть до уборки). Это связано с тем, что нарастание биомассы длится до полной спелости зерна при постоянном оттоке питательных веществ из вегетативной массы в зерно. Кукуруза в этот период усваивает около 12 % азота и фосфора от необходимого количества [9].

Анализ данных по содержанию основных элементов питания в растительной массе свидетельствует о существенных изменениях показателей по этапам роста и развития кукурузы. В начальный период вегетации больше всего растения кукурузы накапливали калий – 5,11–5,63 %. К фазе молочной спелости содержание элемента снизилось по опыту более чем в 3 раза. В динамике азота в биомассе кукурузы

установлено максимальное его содержание (4,02–4,36 %) в начальные фазы со снижением к фазе молочной спелости зерна в 3 раза (1,11–1,56 %). Содержание фосфора в растениях кукурузы – наименьшее среди основных элементов питания (0,64–1,17 %) и менее всего изменялось в течение вегетации при снижении в среднем по опыту в 1,8 раза от фазы 4–6 листьев (максимальные показатели) к фазе молочной спелости зерна (табл. 1–3).

Таблица 1

Динамика содержания общего азота в сухой массе растений кукурузы, среднее за 2021–2023 гг., %

Вариант	Фаза онтогенеза			
	4–6 листьев	8–10 листьев	цветение	молочная спелость
Контроль (без удобрений)	3,75	2,69	1,53	1,11
Соломистый навоз (CH), 60 т/га – Фон	4,02	2,82	1,40	1,13
Фон + N ₆₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у)'	4,23	2,92	1,60	1,44
Фон + N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у)'	4,28	3,11	1,61	1,51
Фон + N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у + PP)'	–	3,02	1,50	1,49
Фон + N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)"	–	3,08	1,74	1,47
Фон + N ₁₂₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у)'	4,36	3,20	1,70	1,56
Фон + N ₉₀ + (N ₃₀ + м/у)'	4,16	3,08	1,68	1,48
N ₉₀ + (N ₃₀ + м/у + PP)'	–	2,88	1,55	1,36
Фон + N ₉₀ + (N ₃₀ + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)"	–	3,01	1,58	1,47
HCP ₀₅	0,20	0,16	0,07	0,06
Оптимальные значения*	3,3–4,0	3,0–3,6	1,3–1,7	1,0–1,5

* оптимальное содержание азота в нормальных условиях согласно В. В. Церлинг [5].

Таблица 2

Динамика содержания фосфора в сухой массе растений кукурузы, среднее за 2021–2023 гг., %

Вариант	Фаза онтогенеза			
	4–6 листьев	8–10 листьев	цветение	молочная спелость
Контроль (без удобрений)	1,09	1,08	0,92	0,56
Соломистый навоз (CH), 60 т/га – Фон	1,04	0,99	0,69	0,51
Фон + N ₆₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у)'	1,10	0,99	0,86	0,69
Фон + N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у)'	1,12	1,06	0,81	0,63
Фон + N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у + PP)'	–	1,10	0,84	0,64
Фон + N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)"	–	1,11	0,96	0,71
Фон + N ₁₂₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у)'	1,17	1,09	0,91	0,77
Фон + N ₉₀ + (N ₃₀ + м/у)'	1,15	1,09	0,84	0,65
N ₉₀ + (N ₃₀ + м/у + PP)'	–	1,14	0,83	0,63
Фон + N ₉₀ + (N ₃₀ + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)"	1,04	1,03	0,82	0,64
HCP ₀₅	0,06	0,05	0,06	0,06
Оптимальные значения*	0,7–1,2	0,7–1,0	0,5–0,7	0,4–0,6

* оптимальное содержание фосфора в нормальных условиях согласно В. В. Церлинг [7].

**Динамика содержания калия в сухой массе растений кукурузы,
среднее за 2021–2023 гг., %**

Вариант	Фаза онтогенеза			
	4–6 листьев	8–10 листьев	цветение	молочная спелость
Контроль (без удобрений)	5,11	5,40	2,77	1,67
Соломистый навоз (СН), 60 т/га – Фон	5,38	5,25	2,47	1,57
Фон + N ₆₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у)'	5,63	5,24	2,58	1,59
Фон + N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у)'	5,49	5,45	2,85	1,65
Фон + N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у + РР)'	–	5,70	2,56	1,74
Фон + N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)''	–	5,62	2,74	1,65
Фон + N ₁₂₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у)'	5,19	5,26	2,59	1,69
Фон + N ₉₀ + (N ₃₀ + м/у)'	5,33	5,08	2,64	1,66
N ₉₀ + (N ₃₀ + м/у + РР)'	5,38	5,40	2,69	1,58
Фон + N ₉₀ + (N ₃₀ + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)''	5,63	5,34	2,57	1,75
НСР ₀₅	0,25	0,26	0,14	0,09
Оптимальные значения*	3,2–4,0	3,1–3,9	1,4–1,9	0,9–1,4

* оптимальное содержание калия в нормальных условиях согласно В. В. Церлинг [5].

Данные анализа химического состава биомассы растений кукурузы, отобранной по основным фазам в течение вегетации, свидетельствуют, что их показатели не всегда соответствовали таковым оптимальным, предложенным В. В. Церлинг [5]. В контрольном варианте содержание азота составило 3,75 %, 2,69 %, 1,53 % и 1,11 % в фазах 4–6, 8–10 листьев, цветения и молочной спелости соответственно.

Применение возрастающих суммарных доз азотных удобрений (N₉₀₋₁₅₀) в комплексе с микроудобрением способствовало повышению концентрации общего азота в биомассе кукурузы уже с начальных фаз роста и развития и на протяжении вегетации (табл. 1, рис. 1).

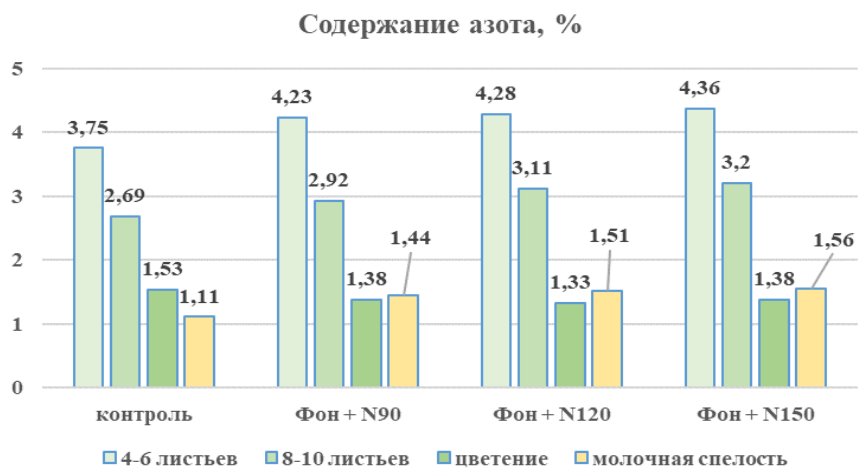


Рис. 1. Влияние возрастающих доз азота на содержание элемента в растительной массе кукурузы в течение вегетации, %

В вариантах с применением как полного ($N_{90+30}P_{20}K_{60}$), так и только азотного (N_{90+30}) минерального удобрения в комплексе с некорневыми подкормками посевов микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор и регулятором роста растений Агропон С или органоминеральным удобрением Форкроп Голден 10–14–4 содержание азота (среднее по 4 вариантам) в фазе 8–10 листьев соответствовало нижней границе оптимума (3,0 %), при оптимальных показателях в фазах цветения (1,59 %) и молочной спелости кукурузы (1,45 %) (рис. 2).

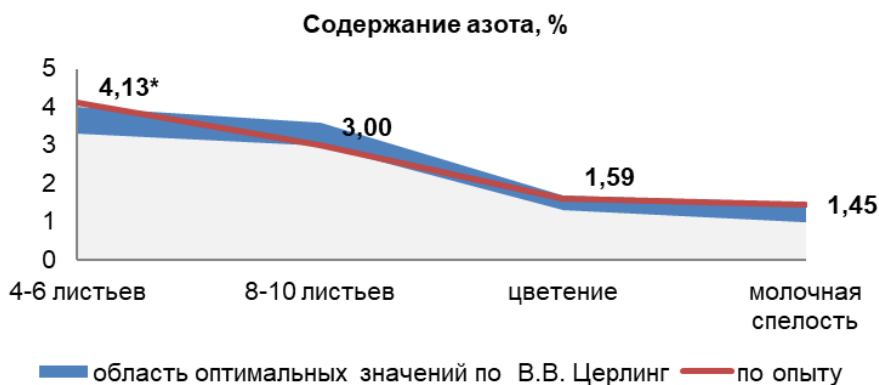


Рис. 2. Содержание азота в биомассе кукурузы в зависимости от фазы вегетации, % при применении РР и ОМУ (среднее из 4 вариантов); * показатель содержания элемента в фазу 4–6 листьев взят как среднее значение фоновых вариантов

В динамике фосфора в контрольном варианте содержание элемента соответствовало оптимальным показателям (согласно В. В. Церлингу) в фазах 4–6 (1,09 %) и молочной спелости (0,56 %) кукурузы; в фазах 8–10 листьев и цветения показатели были выше оптимальных (1,08 % и 0,92 % соответственно). Исключение из системы удобрения фосфорных удобрений не оказало существенного влияния на изменение содержания фосфора в растительной массе (табл. 2).

В вариантах с применением полного минерального или только одного азотного удобрения в комплексе с некорневыми подкормками посевов микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор и регулятором роста растений Агропон С или органоминеральным удобрением Форкроп Голден 10–14–4 содержание фосфора в фазах 8–10 листьев, цветения и молочной спелости зерна было высоким и составило в среднем 1,10, 0,86 и 0,66 % (рис. 3).

На всех этапах развития культуры содержание калия соответствовало высокому уровню как в варианте без удобрений, так и с изучаемыми системами удобрения. Содержание калия в контрольном варианте составило 5,11 %, 5,40 %, 2,77 % и 1,67 % в фазах 4–6, 8–10 листьев, цветения и молочной спелости соответственно. Исключение из системы удобрения калия обусловило снижение содержания элемента в растительной массе на 0,16–0,37 % до фазы цветения, в дальнейшем содержание элемента выравнивалось (табл. 3).

В вариантах с применением минеральных удобрений в комплексе с некорневыми подкормками посевов микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор и регулятором роста растений Агропон С или органоминеральным удобрением Форкроп Голден

10–14–4 содержание калия в фазах 8–10 листьев, цветения и молочной спелости зерна составило в среднем 5,51 %, 2,64 % и 1,68 % (рис. 4).

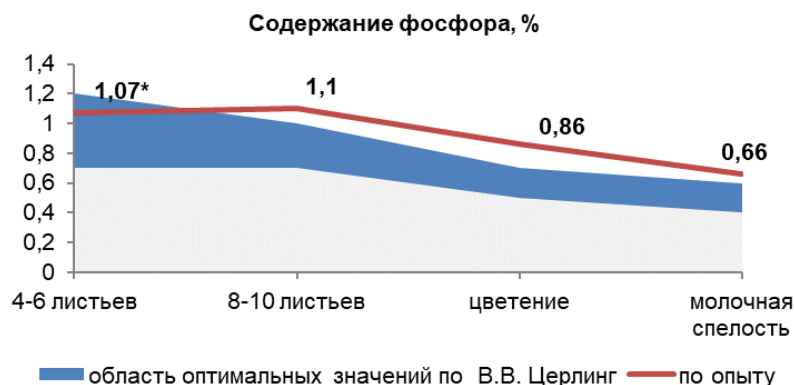


Рис. 3. Содержание фосфора в биомассе кукурузы в зависимости от фазы вегетации, % при применении РР и ОМУ (среднее из 4 вариантов);* показатель содержания элемента в фазу 4–6 листьев взят как среднее значение фоновых вариантов

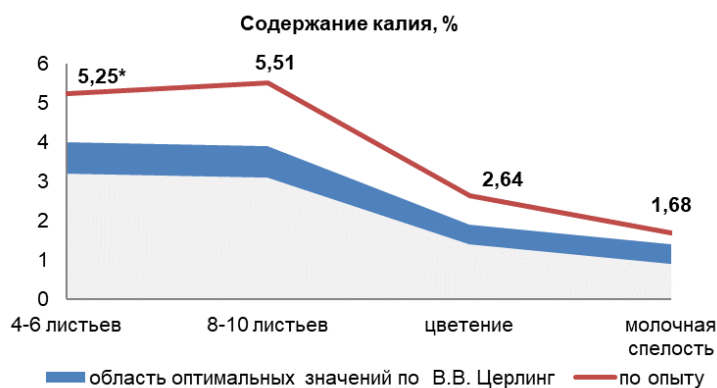


Рис. 4. Содержание калия в биомассе кукурузы в зависимости от фазы вегетации, % при применении РР и ОМУ (среднее из 4 вариантов);* показатель содержания элемента в фазу 4–6 листьев взят как среднее значение фоновых вариантов

Двукратные некорневые подкормки посевов кукурузы органоминеральным удобрением Форкроп Голден 10–14–4 в фазах 6–8 и 8–10 листьев на фоне полного минерального удобрения способствовали усилению накопления в растениях азота в фазе цветения (+0,13 %) и фосфора – в фазах цветения и молочной спелости (+0,08–0,15 %) (табл. 1).

Каких-либо определенных закономерностей в динамике содержания элементов питания в вариантах с применением регулятора роста растений Агропон С не отмечено (табл. 1).

Существенным фактором, определяющим уровень продуктивности кукурузы, наряду с обеспеченностью ее элементами питания, являются также гидротермические

условия, складывающиеся на протяжении периода вегетации культуры. В связи с чем зависимость урожайности только от одного фактора (уровня минерального питания) невысокая. Так, результаты исследований российских учёных [9–11] свидетельствуют, что при одинаковом содержании элементов питания в растениях кукурузы, выращиваемых при оптимальной и недостаточной влагообеспеченности, урожай сухой надземной биомассы этой культуры вследствие дефицита влаги уменьшался в 2,6 раза, а недостаток тепла в первый период вегетации кукурузы в 3 раза снижал ее продуктивность.

Анализ содержания общего азота по годам исследования показывает, что при различиях в абсолютных значениях наблюдались общие тенденции. Наибольшие значения концентрации азота отмечены в фазу 4–6 листьев, при этом в 2021 и 2022 гг. в условиях избыточного увлажнения данные показатели были близки и составили 4,54 и 4,32 % соответственно, тогда как в засушливых условиях 2023 г. – 3,54 %. В условиях избытка влаги к фазе 8–10 листьев в 2021 г. содержание азота оставалось на высоком уровне (4,06 %), тогда как в 2022 и 2023 гг. снизилось до 2,37–2,52 % соответственно.

К началу цветения содержание общего азота в годы исследования составило 1,32–1,79 %. К фазе молочной спелости максимальное содержание общего азота в биомассе кукурузы (1,87 %) характерно для наиболее благоприятного 2021 г., наименьшее (1,04 %) – для засушливого периода 2023 г. (рис. 5).

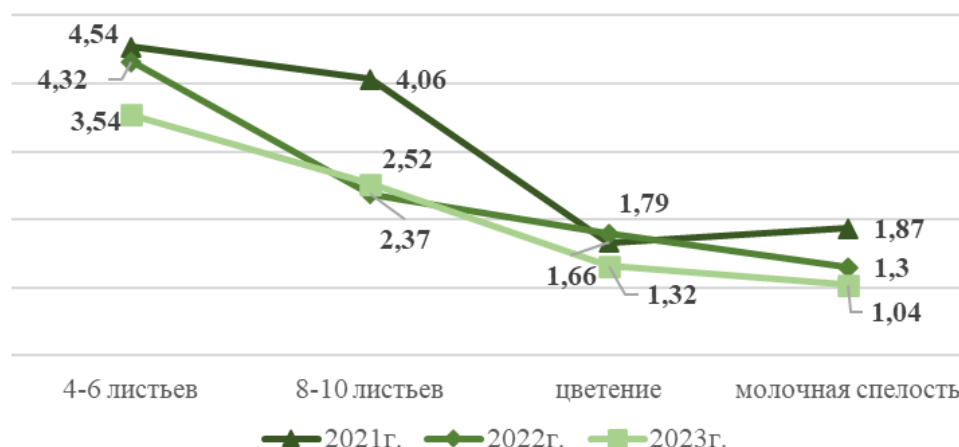


Рис. 5. Динамика содержания общего азота по основным фазам развития кукурузы по годам исследования, %

Наибольшее варьирование содержания фосфора по фазам онтогенеза кукурузы отмечено в наиболее благоприятном 2021 г., когда от фазы 4–6 листьев до фазы 8–10 листьев концентрация элемента в растениях увеличилась на 0,23 % и резко снизилась к фазе цветения на 0,49 %, что можно объяснить ростом растений и, как следствие, проявлением «эффекта разбавления». Более плавное повышение содержания фосфора до фазы 8–10 листьев-цветения (1,01–1,02 %), а затем снижения (0,71 %) к уборке характерно для условий 2022 г. (рис. 6).

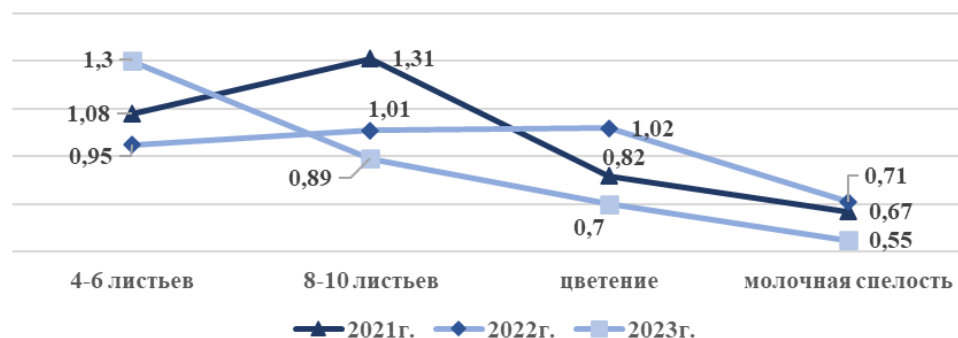


Рис. 6. Динамика содержания фосфора по основным фазам развития кукурузы по годам исследования, %

В 2023 г. в засушливых условиях с повышенными температурами от фазы 4–6 листьев до 8–10 листьев концентрация фосфора резко снизилась на 0,41 %, а затем плавно уменьшалась до уборки (рис. 6).

Ход динамики содержания калия при различном содержании элемента по годам исследования в какой-то мере подобен динамике азота с максимальными показателями в начальные фазы вегетации (4,20–6,16 %) и снижением к уборке (1,44–1,87 %) (рис. 7).

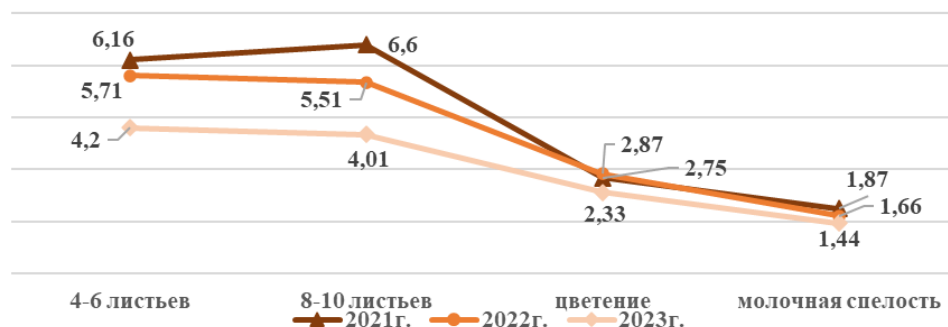


Рис. 7. Динамика содержания калия по основным фазам развития кукурузы по годам исследования, %

Исключение установлено только для 2021 г., когда от фазы 4–6 до фазы 8–10 листьев содержание элемента возросло на 0,44 % к исходному. Для всех лет исследования характерно резкое (в 1,7–2,4 раза) снижение содержания калия к фазе цветения. В определенной степени это может быть связано с тем, что калий является элементом 3-го минимума. Посевы испытывают наибольшую потребность прежде всего в азоте и фосфоре, эффективность которых значительно усиливается при их взаимодействии, а повышение урожая под их воздействием вызывает эффект ростового «разбавления» содержания калия в растениях. Кроме того, потери калия в процессе вегетации часто обусловлены вымыванием его из растительных тканей ливневыми дождями. Поэтому, несмотря на высокое содер-

жание элемента в почве и растениях, потери в процессе вегетации исключают возможность его положительного действия на отток ассимилянтов из вегетативных органов и величину зерновой продуктивности [10, 11].

Известно, что величина урожая лимитируется элементом, который находится в минимуме, однако максимальная продуктивность может быть получена только при сбалансированном питании. Растения более чувствительны не к абсолютным количествам элементов в питательной среде, а к соотношениям их концентраций, что является устойчивой характеристикой, специфичной для каждой культуры. Проанализировав показатели соотношения между содержанием долей макроэлементов в растениях в основные фазы развития, и, сопоставив их с оптимальными значениями, предложенными В. В. Церлинг [5], можно составить представление о сбалансированности питания кукурузы этими элементами в процессе вегетации. Анализ соотношения элементов питания (процентной доли азота, фосфора и калия в сумме питательных веществ, принимаемой за 100 %), показывает, что в целом по опыту при общем высоком содержании азота его доля в сумме NPK ниже оптимальной (табл. 4).

Таблица 4

Соотношения азота, фосфора и калия ($N/P_2O_5/K_2O$) в растительной массе по основным фазам развития кукурузы (среднее за 2021–2023 гг.), %

Вариант	Фазы онтогенеза			
	4–6 листьев	8–10 листьев	цветение	молочная спелость
Контроль (без удобрений)	38/11/51	29/12/59	29/18/53	33/17/50
Соломистый навоз (CH), 60 т/га – Фон	39/10/51	31/11/58	31/15/54	35/16/49
Фон + $N_{60}P_{20}K_{60} + (N_{30} + м/у)'$	39/10/51	32/11/57	32/17/51	39/18/43
Фон + $N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30} + м/у)'$	39/10/51	32/11/57	31/15/54	40/17/43
Фон + $N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30} + м/у + PP)'$	–	31/11/58	31/17/52	39/16/45
Фон + $N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30} + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)''$	–	31/11/57	32/18/50	38/18/43
Фон + $N_{120}P_{20}K_{60} + (N_{30} + м/у)'$	41/11/48	34/11/55	33/17/50	39/19/42
Фон + $N_{90} + (N_{30} + м/у)'$	39/11/50	33/12/55	33/16/51	39/17/44
Фон + $N_{90} + (N_{30} + м/у + PP)'$	–	31/12/57	31/16/53	38/18/44
Фон + $N_{90} + (N_{30} + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)''$	–	32/11/57	32/16/52	38/17/45
Оптимальные соотношения*	N	46–52	45–48	39–42
	P	10–12	10–12	11–13
	K	38–43	38–43	44–50

* оптимальные соотношения азота, фосфора и калия в нормальных условиях согласно В. В. Церлинг [5].

Так, в фазу 4–6 листьев в зависимости от системы удобрения доля азота составила 39–41 %, фосфора – 10–11 %, калия – 48–51 % при оптимальном соотношении – $N/P_2O_5/K_2O = 46–52/10–12/38–43$, т. е. отмечается определённый дисбаланс между азотом и калием при оптимальном относительном содержании

фосфора. Увеличение доли азота при снижении доли калия ($N/P_2O_5/K_2O = 41/11/48$) характерно только для варианта с максимальной дозой азотного удобрения (N_{120}), внесенного при посеве кукурузы. К фазе 8–10 листьев доля азота еще более снизилась, а калия – повысилась, соотношение элементов $N/P_2O_5/K_2O$ составило 31–34/11–12/55–58 при оптимальном 45–48/10–12/38–43. Отмечена тенденция увеличения доли азота при снижении доли калия ($N/P_2O_5/K_2O = 33–34/11–12/55–58$) в варианте с максимальной суммарной дозой азотного удобрения (N_{150}) в составе полного минерального удобрения и при применении только азота (N_{120}). К фазе молочной спелости в растительной массе кукурузы соотношение азота, фосфора и калия в какой-то степени приблизилось к оптимальному. При увеличении доли азота и фосфора и снижении – калия, их соотношение составило 35–40/16–19/43–50 при оптимальном 44–48/14–16/37–42. Применение как регулятора роста растений, так и органоминерального удобрения не оказало существенного влияния на изменение соотношения элементов питания в растениях кукурузы (табл. 4).

Наиболее неуравновешенное соотношение элементов (вследствие дефицита азота и избытка калия) на протяжении всего периода вегетации характерно для варианта без удобрений. Применение соломистого навоза оказало положительное влияние на перераспределение элементов питания в растениях кукурузы с увеличение доли азота и уменьшением – фосфора (табл. 4).

Распределение азота, фосфора и калия в различных частях кукурузы происходит неравномерно. Так, наибольшее количество общего азота сосредоточено в зерне, а на вегетативную массу приходится значительно меньше. К уборке кукурузы содержание элемента в зерне в варианте без удобрений составило 1,01 %, тогда как в листостебельной массе – 0,71, т. е. в 1,4 раза меньше. Применение систем удобрения с возрастающими дозами азота обусловило увеличение накопления элемента в зерне до 1,25–1,43 %, в листостебельной массе – до 0,85–0,93 %. Вероятно, на высоком агрофоне из-за более длительного периода вегетации растения кукурузы не успевают полностью трансформировать полученный азот в белковые соединения (табл. 5).

В период образования початка в растении кукурузы происходит перераспределение общего фосфора, основная часть которого переходит в зерно. Так, в неудобренном варианте содержание фосфора в зерне составило 0,70 %, в листостебельной массе – 0,41 %, или в 1,7 раза меньше. В наших исследованиях на почве с высоким содержанием фосфатов в вариантах с применением минеральных макро- и микроудобрений отдельно и в комплексе с органоминеральным удобрением или регулятором роста растений показатели содержания элемента в основной и побочной продукции кукурузы составили 0,70–0,83 % в зерне и 0,51–0,59 % в листостебельной массе (табл. 5).

Что касается калия, то основное количество этого элемента распределяется по стеблю и листьям, в зерно переходит лишь небольшая часть. В неудобренном варианте содержание калия в зерне кукурузы составило 0,50 %. Изменения содержания общего калия в зерне кукурузы при повышении уровня минерального питания не выявлено, данный показатель по опыту варьировал в пределах 0,51–0,55 % (табл. 5). Концентрация калия в листостебельной массе кукурузы в варианте без удобрений составила 1,70 %. По опыту данный показатель изменялся от 1,60 до 1,83 % (табл. 5).

Таблица 5

Содержание основных элементов минерального питания в основной и побочной продукции кукурузы и их долевое соотношение (среднее за 2021–2023 гг.), %

Вариант	Элементы, %						Долевое соотношение N/P/K	
	Зерно			ЛСМ*			Зерно	ЛСМ*
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
Контроль (без удобрений)	1,01	0,70	0,50	0,71	0,41	1,70	46/32/22	25/15/60
Соломистый навоз (СН), 60 т/га – Фон	1,07	0,67	0,51	0,85	0,50	1,61	48/30/22	29/17/54
Фон + N ₆₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у)'	1,25	0,77	0,52	0,85	0,59	1,60	49/30/21	28/19/53
Фон + N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у)'	1,39	0,81	0,50	0,93	0,56	1,70	52/30/18	29/17/54
Фон + N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у + РР)'	1,38	0,75	0,50	0,96	0,53	1,69	52/29/19	30/17/53
Фон + N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)''	1,39	0,77	0,52	0,87	0,59	1,73	52/29/19	27/19/54
Фон + N ₁₂₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ + м/у)'	1,43	0,83	0,55	0,91	0,60	1,76	51/30/19	28/18/54
Фон + N ₉₀ + (N ₃₀ + м/у)'	1,40	0,78	0,53	0,91	0,51	1,78	52/29/19	28/16/56
Фон + N ₉₀ + (N ₃₀ + м/у + РР)'	1,40	0,73	0,50	0,84	0,52	1,83	52/29/19	26/16/58
Фон + N ₉₀ + (N ₃₀ + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)''	1,37	0,70	0,50	0,85	0,57	1,72	53/28/19	27/18/55
Оптимальные соотношения **						N	58–61	32–36
						P	23–26	10–12
						K	15–18	53–58
НСР ₀₅	0,16	0,07	–	0,07	0,08	0,09	–	

* листостебельная масса; ** оптимальные соотношения азота, фосфора и калия в нормальных условиях согласно В. В. Церлинг [5].

Применение минеральных удобрений оказало определенное влияние на увеличение концентрации элементов питания в основной и побочной продукции. По опыту возрастающие дозы азотных удобрений в комплексе с микроудобрением способствовали увеличению содержания азота в зерне кукурузы на 0,18–0,36 %, фосфора – 0,10–0,16 % при стабильном калии, в листостебельной массе азота – 0,06–0,08 %, фосфора – 0,01–0,10 % и калия – 0,09–0,17 % (табл. 5).

Согласно В. В. Церлинг [7], оптимальное соотношение элементов питания в зерне кукурузы составляет N/P₂O₅/K₂O = 58–61/23–26/15–18. Анализ соотношения элементов питания, показал, что в неудобренном варианте оно составило N/P₂O₅/K₂O = 46/32/22, т. е. наблюдался определенный избыток калия и дефицит азота и фосфора. Под влиянием систем удобрения в зерне доля азота несколько возросла, а фосфора и калия снизилась, составив N/P₂O₅/K₂O = 48–53/28–30/18–22 (табл. 5).

Опираясь на литературные данные, при анализе соотношения элементов питания, полученных в нашем исследовании, следует принимать во внимание тот факт, что оптимальные их показатели указаны автором для сортов кукурузы прошлого века [7]. Возможно для современных интенсивных гибридов культуры,

возделываемых на высококультурных почвах, оптимальные соотношения уже несколько иные. Тем более как указывает В. В. Церлинг, «оптимальным уровнем содержания в растениях питательных веществ считается такой, при котором получают высокий урожай хорошего качества».

В наших исследованиях максимальному уровню урожая зерна (123,2–128,9 ц/га в среднем за 3 года исследований) соответствовало соотношение элементов питания равное $N/P_2O_5/K_2O = 52-53/28-29/19$, т. е. максимально близкое к оптимальному (табл. 4, 5).

Оптимальное соотношение элементов в листостебельной массе кукурузы составляет $N/P_2O_5/K_2O = 32-36/10-12/53-58$. В наших исследованиях в варианте без удобрений соотношение $N/P_2O_5/K_2O$ составило 25/15/60, т. е. наблюдался дефицит азота при избытке фосфора и калия. Под влиянием удобрений соотношение $N/P_2O_5/K_2O$ изменилось, составив по опыту 26–29/16–19/53–58. Наиболее сбалансированное соотношение элементов питания $N/P_2O_5/K_2O = 54-55/27-29/17-18$ получено в зерне кукурузы в вариантах с применением азотного удобрения (N_{90+30}) в комплексе с некорневыми подкормками посевов микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор и регулятором роста растений Агропон С или органоминеральным удобрением Форкроп Голден 10–14–4 (табл. 5).

ВЫВОДЫ

Динамика поступления основных элементов питания в растения кукурузы в течение вегетации соответствует биологическим особенностям культуры. При их концентрациях, чаще превышающих оптимальный уровень, доля азота в сумме НРК ниже оптимальной. Применение возрастающих доз азотных удобрений (N_{90-150}) повышает концентрацию общего азота и его долевое содержание в сумме питательных веществ. Наибольшие значения содержания элементов питания в растениях кукурузы отмечены в годы с достаточным количеством осадков.

Исключение из системы удобрения фосфорных удобрений не оказывает существенного влияния на изменение содержания фосфора в растительной массе, а калийных – обуславливает снижение содержания элемента в растительной массе на 0,16–0,37 % до фазы цветения с дальнейшим нивелированием концентрации элемента.

Двукратные некорневые подкормки посевов кукурузы органоминеральным удобрением Форкроп Голден на фоне полного минерального удобрения усиливают накопление в растениях азота в фазу цветения (+0,13 %), фосфора – в фазы цветения и молочной спелости +(0,08–0,15 %). Варьирования концентрации элементов питания под действием регулятора роста растений Агропон С не выявлено.

Возрастающие дозы азотных удобрений способствуют увеличению содержания азота в зерне кукурузы на 0,18–0,36 %, фосфора – 0,10–0,16 % при стабильном калии, в листостебельной массе – азота – 0,06–0,08 %, фосфора – 0,01–0,10 % и калия – 0,09–0,17 %.

Наиболее сбалансированное соотношение элементов питания $N/P_2O_5/K_2O = 54-55/27-29/17-18$ получено в зерне кукурузы в вариантах с применением моноазота (N_{90+30}) в комплексе с некорневыми подкормками посевов микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор и регулятором роста растений Агропон С или органоминеральным удобрением Форкроп Голден 10–14–4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сабинин, Д. А. Физиологические основы питания растений / Д. А. Сабинин. – М. : АН СССР, 1955. – 512 с.
2. Кукуруза / Д. Шпаар, Д. Дрегер, Г. Крацис [и др.]. – Минск : ФУАинформ, 1999. – 192 с.
3. Кравченко, Р. В. Агробиологическое обоснование получения стабильных урожаев зерна кукурузы в условиях степной зоны Центрального Предкавказья: монография / Р. В. Кравченко. – Ставрополь, 2010. – 208 с.
4. Надточаев, Н. Ф. Кукуруза на полях Беларуси / Н. Ф. Надточаев ; НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – Минск : ИВЦ Минфина, 2008. – 412 с.
5. Церлинг, В. В. Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В. В. Церлинг. – М. : Наука, 1978. – 216 с.
6. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича: Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. – 276 с.
7. Интернет-магазин «Крама Геркулес: [сайт]. – Минск, 2025. – URL: <https://www.kramagerkules.by/biostimulants/tproduct/624882421961-forkrop-golden-10-14-4> (дата обращения 18.02.2025).
8. Интернет-магазин «Goods Garden»: [сайт]. – Минск, 2025. – URL: https://goodsgarden.by/catalog/ukhod_za_rastenyami_y/regulator_rosta_rastenyi_agropon_s (дата обращения 18.02.2025).
9. Усанова, З. И. Влияние расчетных доз удобрений и густоты стояния на продуктивность кукурузы, вынос и хозяйственный баланс основных элементов питания / З. И. Усанова, И. В. Шальнов, А. С. Васильев // Земледелие. – 2016. – № 3. – С. 23–26.
10. Никитишен, В. И. Минеральное питание кукурузы при взаимодействии азотного и фосфорного удобрения / В. И. Никитишен, В. И. Личко. – Агрохимия. – 2012. – № 11. – С. 9–15.
11. Никитишен, В. И. Взаимосвязи в питании кукурузы при длительном применении удобрений на серой лесной почве ополья / В. И. Никитишен, В. И. Личко. – Агрохимия. – 2014. – № 12. – С. 16–23.

THE CONTENT AND RATIO OF THE MAIN ELEMENTS
OF NUTRITION IN CORN PLANTS

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

Summary

In an experiment on sod-podzolic highly cultivated loamy soil, studies were carried out to study the parameters, the ratio of the main nutrients in corn plants, their dynamics over the main phases of crop development, depending on weather conditions and the level of mineral nutrition. The most balanced ratio of nutrients in corn grain was observed when using one nitrogen fertilizer in combination with foliar fertilizing of crops with MicroStim-Zinc, Boron and plant growth regulator Agropon S or organomineral fertilizer Forkrop Golden 10–14–4.

Поступила 21.02.25

ВЛИЯНИЕ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯЧМЕНЯ И ОКУПАЕМОСТЬ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

В. В. Лапа, В. В. Гракун, С. С. Хмелевский, Г. В. Пироговская, В. И. Сороко

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Применение удобрений на дерново-подзолистых почвах является важнейшим фактором формирования урожайности сельскохозяйственных культур. Интенсивное применение удобрений двукратно увеличило запас элементов питания. При достигнутом в настоящее время уровне плодородия пахотных почв за счет минеральных удобрений формируется около 50 % урожайности сельскохозяйственных культур [1–5].

Чем лучше агрохимические и агрофизические свойства почв, тем более высокий уровень урожайности сельскохозяйственных культур может быть сформирован. Кроме того, уровень плодородия почв в значительной степени определяет устойчивость сельскохозяйственных культур к неблагоприятным погодным условиям, что очень актуально для растениеводческой отрасли сельского хозяйства. Однако процесс повышения плодородия почв достаточно длительный, поэтому основным резервом увеличения урожайности сельскохозяйственных культур является повышение эффективности применяемых удобрений.

Величину урожайности возделываемых культур определяет уровень применяемых доз минеральных удобрений и сбалансированность вносимых в почву элементов питания. При этом соотношение элементов питания в соответствии с биологическими особенностями растений имеет не меньшее значение, чем величина применяемых доз минеральных удобрений. Каждый из элементов питания оказывает специфическое действие на продукционные процессы растений, недостаток любого из них нельзя заменить избытком другого элемента. Однако в силу различных причин этот принцип в практической деятельности хозяйств чаще всего нарушается. Это может негативно сказываться на эффективности растениеводства. Так, российскими исследователями установлено, что возделывание сельскохозяйственных культур без применения калийных или фосфорных удобрений наряду со снижением урожайности ведет к скрытой деградации и ежегодной потере подвижных форм этих элементов от 2 до 7 мг на кг почвы [1]. Отмечается, что основным требованием к системе удобрения является повышение эффективности применяемых удобрений с учетом потенциала почвенного плодородия [2, 3].

Цель исследований – определить степень влияния различных вариантов несбалансированности элементов питания с вносимыми минеральными удобрениями на величину снижения урожайности ячменя и окупаемость применяемых доз минеральных удобрений прибавкой урожайности зерна.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по определению агрономической эффективности систем удобрения различного уровня сбалансированности проводились в 2023–2024 гг. на опытном поле института в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области. Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почв (0–25 см) перед закладкой опытов была следующая: pH – 5,72–6,09, P_2O_5 – 274–288 мг/кг почвы; K_2O – 262–296 мг/кг почвы; CaO – 956–1204; MgO – 159–208 мг/кг почвы; содержание гумуса – 2,33–2,64 %.

Общий размер деланки – 27 м², повторность вариантов – 4-кратная, предшественники ярового ячменя в 2023 г. – горох, в 2024 г. – горохо-овсяная смесь.

Закладку и проведение опытов выполняли в соответствии с технологическими регламентами возделывания. Карбамид стандартный, аммонизированный суперфосфат и калий хлористый вносили в предпосевную культивацию. Обработка посевов против сорняков, вредителей и болезней осуществлялась препаратами, которые внесены в «Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь» [6]. Исследования проводили согласно существующим методикам по закладке полевых опытов [7–9].

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

- гумус – по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-84);
- обменная кислотность pH_{KCl} – потенциометрический (ГОСТ 26483-85);
- содержание подвижного фосфора – по Кирсанову на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 26207-84);

- содержание подвижного калия – по Кирсанову на пламенном фотометре (ГОСТ 280207-84);

- кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрофотометре;

- отбор проб – ГОСТ 26483-85;

Отбор растительных образцов и их анализ проводили согласно существующих 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.

Гидротермический коэффициент (ГТК) определялся по формуле Г. Т. Селянинова:

$$ГТК = (\Sigma X * 10) / \Sigma T,$$

где ΣX – сумма атмосферных осадков за период;

ΣT – сумма положительных температур воздуха за тот же период.

Статистическая обработка результатов исследований проведена по Б. А. Доспехову [9] с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на персональном компьютере, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы Excel.

Влагообеспеченность растений ячменя в течение вегетационных периодов возделывания оценивалась по гидротермическому коэффициенту (ГТК).

Количество выпавших атмосферных осадков (с апреля по август), по данным Гидрометеоцентра [10], приведено в таблице 1. Опыт расположен в 5 км от городской черты, ГТК приведен за 5–8 месяц, так как ячмень убирали в августе.

Гидротермический коэффициент (ГТК) в период вегетации ячменя в 2023 г. за май–август составил 1,38, а в 2024 г. – 1,51, что позволяет считать вегетационные периоды 2023 и 2024 гг. близкими к оптимальным. При показателях ГТК больше 1,6 год считается влажным при, 1,3–1,6 – оптимальным [11].

Следует отметить, что среднееголетнее значение ГТК за 1991–2020 гг. за этот же период составило 1,56 (табл. 1).

Таблица 1

Сумма положительных температур воздуха, количество атмосферных осадков и гидротермический коэффициент за период апрель–август 2022–2024 гг. (ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области)

Год	Показатели	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	За 4–8 месяц
2023	Осадки, мм	37	7	45	150	85	287
	t °C	7,5	12,1	17,8	18	19,8	16,9
	Сумма t > 5–10 °C	225	375,1	534	558	613,8	2080,9
	ГТК	–	0,19	0,84	2,69	1,38	1,38
2024	Осадки, мм	111	54	84	167	28	333
	t °C	9,1	14	18,2	20,2	19,3	17,9
	Сумма t > 5–10 °C	273	434	546	626,2	598,3	2204,5
	ГТК	–	1,24	1,54	2,67	0,47	1,51
Среднеголетнее за 1991–2020 гг. по г. Минску	Осадки, мм	43,1	65,8	79,2	97,5	71,0	313,5
	t °C	7,3	12,9	16,5	18,5	17,6	16,4
	Сумма t > 5–10 °C	219,0	399,9	495,0	573,5	545,6	2014,0
	ГТК	–	1,65	1,60	1,70	1,30	1,56

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность ячменя Корнет, возделываемого на дерново-подзолистой легко-суглинистой почве в условиях вегетационного периода в 2023 г. была достаточно высокой: на контроле – 34,3 ц/га зерна, при внесении различных доз минеральных удобрений – 42,9–58,5 ц/га (прибавка к контролю – от 8,6 до 24,2 ц/га). Максимальная урожайность 58,5 ц/га зерна ячменя получена в варианте с внесением азотных, фосфорных и калийных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{150}$ в основное внесение с последующей подкормкой в фазу второго узла (стадия 32 по ВВСН) азотом (N_{30}) и микроэлементами в виде хелатов в дозах 50 г по действующему веществу ($Si_{0,05}Mn_{0,05}$). Внесение одного вида удобрений – азотных (N_{60}) или калийных удобрений в дозах K_{60} и K_{120} снизило урожайность до 44,7 и 42,9–43,3 ц/га. Парные комбинации азотных и калийных удобрений ($N_{60}K_{120}$ и $N_{60+30}K_{120}$) несколько повысили урожайность зерна ячменя – до 44,1–45,6 ц/га. Однако при пониженной

дозе азотных и повышенной дозе калийных ($N_{45}K_{150}$) увеличение урожайности было менее выраженным – 39,5 ц/га. Внесение фосфорных удобрений перед севом (P_{15}) на фоне $N_{60}K_{120}$ положительно сказалось на урожайности зерна – 48,7 ц/га, в данном варианте наблюдалось наименьшее различие по сравнению с оптимальным вариантом $N_{60+30}P_{60}K_{150} + CuMn$ – 9,8 ц/га (табл. 2).

В 2024 г. урожайность ячменя варьировала от 21,5 до 44,8 ц/га, при этом закономерность, отмеченная в предыдущем году, сохранялась. По сравнению с оптимальным ($N_{60+30}P_{60}K_{150} + CuMn$) вариантом внесение односторонних удобрений (N_{60} , K_{60} , K_{120}) снижало урожайность от 44,8 ц/га до 31,5–35,0 ц/га – на 9,8–13,3 ц/га, или на 21,9–29,7 %. Азотно-калийные удобрения в сочетаниях $N_{60}K_{120}$ и $N_{60+30}K_{120}$ повышали урожайность до 37,1–38,4 ц/га. При минимальной дозе азота и повышенной дозе калия ($N_{45}K_{150}$) урожайность была несколько ниже – 36,3 ц/га (табл. 2).

Таблица 2

Влияние системы удобрения на урожайность ячменя, 2023–2024 гг.

Варианты	Урожайность зерна, ц/га			Снижение урожайности		Окупаемость 1 кг НРК, кг зерна
	2023 г.	2024 г.	среднее	ц/га	%	
1. Контроль без удобрений	34,3	21,5	27,9	–	–	–
2. $N_{60+30}P_{60}K_{150} + CuMn$ (оптимум)	58,5	44,8	51,7	–	100	7,9
3. N_{60}	44,7	35,0	39,9	–11,9	–22,9	19,9
4. K_{60}	43,3	31,5	37,4	–14,3	–27,7	15,8
5. K_{120}	42,9	33,7	38,3	–13,4	–25,9	8,7
6. $N_{60}K_{120}$	45,6	37,1	41,4	–10,3	–20,0	7,5
7. $N_{60+30}K_{120}$	44,1	38,4	41,3	–10,5	–20,2	6,4
8. $N_{45}K_{150}$	39,5	36,3	37,9	–13,8	–26,7	5,1
9. $N_{60}P_{15}K_{120}$	48,7	40,7	44,7	–7,0	–13,5	8,6
НСР ₀₅	4,75	3,53	4,18	–	–	–

В среднем за два года исследований (2023–2024 гг.) урожайность в опыте находилась в пределах от 27,9 ц/га на контроле до 37,4–51,7 ц/га в вариантах с удобрениями. Применение односторонних, несбалансированных удобрений способствовало формированию урожая зерна ячменя на 7,0–16,3 ц/га ниже по сравнению с вариантом, где применялись макро- и микроудобрения в необходимых для роста и развития дозах – 51,7 ц/га. Вариант с припосевным внесением фосфора (P_{15}) на фоне азотных и калийных удобрений $N_{60}K_{120}$ обеспечил наименьшие потери урожая – 7,0 ц/га, или – 13,5 % в сравнении с оптимальным вариантом (51,7 ц/га). При одностороннем внесении азотных и калийных удобрений, а также их парных сочетаний (НК) наблюдалось снижение урожайности зерна к варианту 2 в пределах от 10,5 до 14,3 ц/га, или 20,1–27,7 %.

Таким образом, отсутствие одного или двух видов минеральных удобрений или несбалансированное внесение этих удобрений на хорошо обеспеченных фосфором и калием почвах приводило к снижению урожайности ячменя на 7,0–14,3 ц/га (13,5–27,7 %) по сравнению с оптимальным вариантом $N_{60+30}P_{60}K_{150} + \text{CuMn}$. Окупаемость 1 кг удобрений в оптимальном варианте 2, а также в следующем по эффективности варианте 9 с припосевной дозой фосфора P_{15} составляла 7,9–8,6 кг зерна, что, по данным других исследователей, при высокой урожайности покрывает затраты и обеспечивает приемлемую рентабельность – около 13 % [12, 13]. Более высокая окупаемость 1 кг удобрений зерном была получена при использовании одностороннего азотного и калийного удобрения в минимальной дозе N_{60} и K_{60} , что является следствием низкой дозы удобрений, а большой недобор урожайности зерна 11,9 и 14,8 ц/га показывает нецелесообразность их внесения на хорошо обеспеченных калием и фосфором почвах.

Удобрения повлияли и на химический состав зерна ячменя. Анализ химического состава зерна ячменя показал, что на протяжении 2-х лет исследований содержание основных элементов питания, за исключением азота, было достаточно консервативным и мало изменялось в зависимости от вариантов опыта, что соответствует биологическим особенностям изучаемой культуры (табл. 3). Существенно в зерне ячменя изменялось только содержание азота. Если в контрольном варианте без внесения удобрений содержание азота в 2023 г. составляло 1,43 %, то в вариантах с внесением различных доз и соотношений минеральных удобрений оно изменялось от 1,61 до 2,01 %. Наименьшим было содержание азота при внесении калийных удобрений в дозах K_{60-120} – 1,61–1,63 %, внесение азотных и калийных удобрений, а также NPK в различных соотношениях повысило содержание азота до 1,84–2,01 %. Масса 1000 зерен была наименьшей на контроле и при внесении одних калийных удобрений: 43,4 и 46,9–47,2 г, внесение азотных и калийных удобрений (NK) и полного минерального удобрения (NPK) повышало массу 1000 зерен до 48,0–50,4 г. Отмечена тенденция повышения массы 1000 зерен при проведении азотной подкормки в дозе N_{30} в фазу второго узла (стадия 32 по BBCH). Содержание протеина в зерне увеличивалось от 8,9 % (контроль) до 10,1–12,6 %, преимущественно в вариантах с азотными удобрениями NPK (табл. 3).

Содержание элементов питания в зерне ячменя в 2024 г. было на уровне предыдущего года. Содержание азота находилось в пределах от 1,74 до 2,02 %, а содержание фосфора – 0,71–0,83, калия – 0,58–0,67, кальция – 0,11–0,13 и магния – 0,32–0,37 %. Наибольшее варьирование в зависимости от применяемых удобрений наблюдалось по содержанию азота, повторялась закономерность, отмеченная в 2023 г. На контроле содержание азота в зерне ячменя составило 1,74 %, при внесении калия K_{60-120} – 1,78–1,79, азота и калия в парных комбинациях – 1,81–2,02, оптимальная и дефицитная доза NPK – 1,95–2,02 %, при одностороннем внесении азота (моноазотной системе) N_{60} содержание азота было также высоким – 1,97 %. Масса 1000 зерен при внесении удобрений увеличивалась от 42,5 до 45,3–48,8 г. Внесение калийных удобрений минимально повышало массу зерен – 45,3–45,9 г, азотные удобрения и NPK – до 47,3–48,8 г.

Таблица 3

Влияние удобрений на содержание протеина, элементов питания в зерне ячменя и массу 1000 зерен на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области, 2023–2024 гг.)

Варианты	Содержание, % на сухое вещество						Масса 1000 зерен, г
	N общ.	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	протеин	
2023 г.							
1. Контроль без удобрений	1,43	0,49	0,36	0,10	0,10	8,9	43,4
2. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₅₀ + CuMn (оптимум)	1,90	0,62	0,32	0,11	0,09	11,9	49,2
3. N ₆₀	1,84	0,64	0,35	0,12	0,10	11,5	48,4
4. K ₆₀	1,61	0,59	0,32	0,06	0,09	10,1	47,2
5. K ₁₂₀	1,63	0,46	0,36	0,09	0,08	10,2	46,9
6. N ₆₀ K ₁₂₀	1,84	0,97	0,33	0,14	0,09	11,5	48,9
7. N ₆₀₊₃₀ K ₁₂₀	2,01	0,81	0,33	0,09	0,09	12,6	50,4
8. N ₄₅ K ₁₅₀	1,85	0,63	0,40	0,09	0,09	11,6	48,0
9. N ₆₀ P ₁₅ K ₁₂₀	1,96	0,68	0,32	0,10	0,08	12,3	48,4
НСП ₀₅	0,115	0,071	0,030	0,022	0,021	0,62	1,65
2024 г.							
1. Контроль без удобрений	1,74	0,71	0,58	0,11	0,32	10,9	42,5
2. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₅₀ + CuMn (оптимум)	2,02	0,83	0,67	0,13	0,37	12,6	48,2
3. N ₆₀	1,97	0,81	0,65	0,13	0,36	12,3	47,3
4. K ₆₀	1,79	0,73	0,59	0,11	0,33	11,2	45,9
5. K ₁₂₀	1,78	0,73	0,59	0,11	0,33	11,1	45,3
6. N ₆₀ K ₁₂₀	1,81	0,83	0,67	0,13	0,37	11,3	46,2
7. N ₆₀₊₃₀ K ₁₂₀	2,02	0,74	0,60	0,12	0,33	12,6	48,8
8. N ₄₅ K ₁₅₀	1,84	0,80	0,65	0,12	0,36	11,5	46,9
9. N ₆₀ P ₁₅ K ₁₂₀	1,95	0,75	0,61	0,12	0,34	12,2	48,1
НСП ₀₅	0,107	0,044	0,035	0,007	0,020	0,617	1,52

ВЫВОДЫ

На почвах с высокой степенью обеспеченности фосфором и калием оптимальная система удобрения N₆₀₊₃₀P₆₀K₁₅₀ с некорневой обработкой микроэлементами медью и марганцем в хелатной форме обеспечила урожай ячменя 51,7 ц/га. Применение одного вида минеральных удобрений, азотных – в дозе N₆₀, а также калийных – K₆₀ и K₁₂₀ снижало урожайность зерна в сравнении с оптимальным вариантом на 11,9–14,3 ц/га (23–28 %). Несбалансированное внесение азотных

и калийных удобрений без применения фосфорных снижало урожайность зерна примерно в тех же пределах. Припосевное внесение фосфора в дозе P_{15} на фоне $N_{60}K_{120}$ обеспечило достоверное или близкое к достоверному увеличение урожайности зерна на 3,1–3,6 ц/га. При этом наблюдалось наименьшее снижение урожайности (7,0 ц/га, или 13,5 %) в сравнении с оптимальной дозой удобрений – $N_{60+30}P_{60}K_{150} + CuMn$.

Удобрения положительно влияли на химический состав зерна ячменя и массу 1000 зерен. Содержание азота и протеина было выше в вариантах с азотными удобрениями и в варианте с подкормкой азотом и микроэлементами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов, И. А. Эффективность интенсивного применения удобрений и воспроизводство плодородия дерново-подзолистой почвы / И. А. Иванов, П. А. Филиппов / Развитие и внедрение современных технологий и систем ведения сельского хозяйства, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды: материалы Международной науч.-практ. конференции, посвящ. 100-летию Пермского НИИСХ, 3–5 июля 2013 г. г. : Пермь : в 3 томах. – Т. 1. Агрохимия и земледелие. – Пермь, 2013. – С. 217–225.
2. Лапа, В. В. Эффективность систем применения удобрений в звене севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве / В. В. Лапа, Н. Н. Ивахненко, Л. Ю. Полонская [и др.] // Почвенные исследования и применение удобрений. – 2001. – Вып. 26. – С. 13–24.
3. Вербицкая, О. П. Об изменении плодородия дерново-подзолистых почв на моренном суглинке в длительном стационарном опыте Костромского НИИСХ / О. П. Вербицкая, Т. В. Кондратьева / Развитие и внедрение современных технологий и систем ведения сельского хозяйства, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Пермского НИИСХ, 3–5 июля 2013 г. Пермь: в 3-х томах. – Т. 1. Агрохимия и земледелие. – Пермь : ОТ и ДО, 2013. – С. 89–97.
4. Кулаковская, Т. Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т. Н. Кулаковская. – М. : Агропромиздат, 1990. – 219 с.
5. Мезенцева, Е. Г. Минеральные удобрения: современные тенденции в эффективности АПК Республики Беларусь / Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш, С. М. Зенькова / Плодородие почв и эффективное применение удобрений: материалы Международной научно-производственной конференции, в 2 ч. / редкол. : В. В. Лапа [и др.]. – Минск : Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2021. – 261 с.
6. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь. – Минск : Промкомплекс, 2023. – 802 с.
7. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных, комовых и технических растений: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч. практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию ; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск : ИВЦ Министерства финансов РБ, 2022. – 531 с.
8. Лапа, В. В. Методические указания по проведению регистрационных испытаний макро-, микроудобрений и регуляторов роста растений в посевах сельскохозяй-

зяйственных культур в Республике Беларусь / В. В. Лапа, М. В. Рак, С. А. Титова // РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2008. – 36 с.

9. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М. : ИД Альянс. 2011. – 352 с.

10. Справочно-информационный портал «Погода и климат»: [сайт. – М., 2006–2025. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения: 5.03.2025))

11. Гольберг, М. А. Агроклиматические ресурсы Белорусской ССР / М. А. Гольберг, В. И. Мельник ; под общ. ред. М. А. Гольберга. – Минск, 1985. – 114 с.

12. Башков, А. С. Повышение эффективности удобрений на дерново-подзолистых почвах Среднего Предуралья: монография / А. С. Башков. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2013. – 328 с.

13. Минеев, В. Г. Удобрение зерновых культур / В. Г. Минеев, М. М. Ивлев, Д. М. Аникст. – М. : Россельхозиздат, 1980. – 160 с.

EFFECT OF BALANCED MINERAL NUTRITION ON BARLEY YIELD AND PAYMENT OF MINERAL FERTILIZERS

V. V. Lapa, V. V. Grakun, S. S. Khmelevsky, G. V. Pirogovskaya, V. I. Soroko

Summary

The results of studies on the effect of balanced mineral nutrition on barley yield when grown on sod-podzolic light loamy soil are presented. It was found that, on average, over two years of research, with the application of optimal doses of NPK, the yield was 51,7 c/ha. The absence or deficiency of any of the nutrients led to a significant decrease in grain yield. The most significant decrease in barley grain yield was observed when applying only potassium fertilizers (14,3 c/ha) and nitrogen-potassium fertilizers in an unbalanced ratio of $N_{45}K_{150}$ (13,8 c/ha).

Поступила 14.05.25

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СТЕПЕНИ ПОДВИЖНОСТИ ФОСФАТОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ВЫСОКООКУЛЬТУРЕННОЙ ПОЧВЕ

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

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивый уровень фосфорного питания растений является показателем плодородия почвы, определяющим гарантированно высокую урожайность сельскохозяйственных культур. Наиболее тесную связь с почвообразованием и степенью окультуренности почвы, по мнению Н. П. Карпинского [1], имеют общее содержание и формы почвенных фосфатов.

В агрохимических исследованиях при оценке доступности растениям почвенных фосфатов в дерново-подзолистых почвах определяется подвижный фосфор по методу Кирсанова. Однако опыты показали, что очень часто содержание фосфора в почве, определяемое данным методом, не отражает действительной обеспеченности растений элементом, особенно при высоких его запасах в почве [2, 3].

Во многих работах [4–8] указывается, что при исследовании фосфатного состояния почв наряду с определением содержания подвижных фосфатов с использованием метода Кирсанова необходимо определять степень подвижности фосфатов, что позволяет более точно охарактеризовать обеспеченность почв усвояемым фосфором и судить о потребности их в фосфорных удобрениях. Изменение этого показателя может выявить, вносились ли удобрения между циклами обследования или использовался запас питательных веществ, внесенный в предыдущие годы. Для определения степени подвижности фосфатов, наряду с другими, используется метод Карпинского-Замятиной [1].

Агрохимические свойства почв не остаются постоянными во времени даже на протяжении вегетационного периода и тесно связаны с динамикой элементарных почвенных процессов, интенсивность, цикличность и направление которых регулируются жизнедеятельностью микроорганизмов, физико-химическими взаимодействиями, развитием растений [9, 10]. Поэтому произвольное разовое определение какого-либо почвенного показателя может быть объективным только для времени отбора пробы. Вследствие этого знание динамики почвенных процессов весьма важно для достоверного суждения о плодородии той или иной почвы. Особенно это актуально для показателя степени подвижности фосфатов, который характеризуется высокой вариабельностью.

Цель работы – изучение факторов и закономерностей, определяющих сезонную динамику степени подвижности фосфатов в дерново-подзолистой легкосуглинистой высокоокультуренной почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования по изучению трансформации в течение вегетационного периода степени подвижности фосфатов проводили в стационарном опыте

РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в звене севооборота: кукуруза на зерно (2021–2022 гг.) – яровая пшеница (2022–2023 гг.). Опыт был развернут в пространстве в двух полях.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя. Поле 1: pH_{KCl} – 6,0–6,3, гумус – 2,0–2,2 %, содержание подвижного K_2O по Кирсанову – 310–340 мг/кг, P_2O_5 – 1000–1090 мг/кг почвы, степень подвижности фосфатов – 1,00–1,10 мг/л раствора. Поле 2: pH_{KCl} – 6,2–6,5, гумус – 2,0–2,1 %, содержание подвижного K_2O по Кирсанову – 250–270 мг/кг, P_2O_5 – 1070–1130 мг/кг, степень подвижности – 1,30–1,40 мг/л раствора.

Опытные культуры – кукуруза гибрид Фродо F1 (ФАО 230) и яровая пшеница сорт Мадонна.

Системы удобрения, действие которых на динамику степени подвижности фосфатов изучалось в опыте, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Схемы опыта с кукурузой и яровой пшеницей

Общая схема	Кукуруза	Яровая пшеница
Без удобрений	без удобрений	без удобрений
N	N_{90+30}	$N_{70+30+40}$
NPK	$N_{90+30}P_{70}K_{120}$	$N_{70+30+40}P_{70}K_{120}$
Навоз + N	Навоз + N_{90+30}	1-й год последействия навоза + $N_{70+30+40}$
N + Гг	N_{90+30} + Гидрогумат ((3+1) л/га)	$N_{70+30+40}$ + Гидрогумат ((3+1) л/га)

Сроки применения и формы минеральных удобрений были следующие: фосфорные – аммонизированный суперфосфат (перед посевом), калийные – хлористый калий (перед посевом), азотные – мочевина (перед посевом и подкормка в фазу 5–6 листьев у кукурузы; перед посевом, в первый узел и флаг-лист у пшеницы). Гидрогумат применяли после посева кукурузы и яровой пшеницы до появления всходов – в дозе 3 л/га; в фазу 5–6 листьев у кукурузы и 1-го узла у пшеницы – некорневая подкормка в дозе 1 л/га.

Навоз КРС внесен на поле 1 осенью 2020 г., на поле 2 – осенью 2021 г. под вспашку.

Для контроля динамики степени подвижности фосфатов отбор почвенных образцов по делянкам опыта проводили в критические фазы роста и развития растений: у кукурузы – перед посевом, 5–6 листьев, 8–10 листьев, цветение, полная спелость; у яровой пшеницы – перед посевом, в фазе 3 листа, 1 узел, колошение и в полную спелость.

Степень подвижности фосфатов определяли по методу Карпинского-Замятиной в 0,015 М K_2SO_4 [1].

Дисперсионный анализ экспериментальных данных выполнен согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова [11] с использованием соответствующих программ пакета MSExcel.

Сезонную динамику подвижных соединений фосфора в почве обычно связывают с влажностью и температурой почвы. Наибольшее содержание подвижных форм фосфора наблюдается в периоды оптимального сочетания температуры

и влажности почвы, способствующих проявлению микробиологической активности. Недостаток или избыток влаги, тепла, ограничивая микробиологическую деятельность, снижает содержание доступных фосфатов в почве [12, 13]. В связи с этим в течение вегетации исследуемых культур осуществлялся мониторинг за динамикой выпадения осадков, влажностью пахотного слоя почвы, за температурой воздуха и почвы (табл. 2, 3).

Гидротермические условия вегетационного периода кукурузы в 2021 г. характеризовались высокой влагообеспеченностью за исключением периода от 8–10 листьев до цветения, когда количество осадков составило 29 % от нормы, а влажность почвы к цветению снизилась до 10 %. Как известно, оптимальные условия увлажнения наблюдаются при влажности почвы, равной наименьшей влагоемкости и сохраняются в некотором диапазоне. Верхним пределом оптимальной влажности считают показатель 100 % наименьшей влагоемкости (НВ), а нижним – 70 % НВ, что для суглинистых и глинистых почв соответствует влажности разрыва капилляров [14–18]. Для исследуемой почвы НВ составляет 25 % абсолютной влажности почвы, 70 % НВ соответственно 17,5 %. Таким образом, в опыте влажность почвы к моменту цветения кукурузы была значительно ниже оптимального уровня.

Температурный режим существенно отклонялся от среднееголетних значений: в период от 5–6 листьев до цветения среднесуточные температуры превышали норму, а в остальное время наблюдался недобор тепла.

Таблица 2

**Гидротермические условия вегетационного периода кукурузы
(12.05.–03.10.2021 г. и 12.05.–09.10.2022 г.)**

Показатели	Год	посев – 5–6 листьев	5–6 – 8–10 листьев	8–10 листьев – цветение	цветение – уборка
Продолжительность периода, дн.	2021	37	12	26	70
	2022	42	21	26	62
Средние t за период, °C (норма)	2021	14,6 (14,9)	22,8 (17,1)	21,9 (18,4)	14,1 (14,9)
	2022	14,5 (15,2)	19,7 (17,8)	18,0 (18,7)	13,9 (13,5)
Сумма осадков, мм (норма)	2021	104,3 (90)	61,9 (39)	22,5 (78)	211,2 (147,4)
	2022	134,6 (103,6)	73,5 (66,4)	28,9 (67,4)	95,3 (125,8)
Влажность почвы, % (начало/конец периода)	2021	24,1/18,0	18,0/22,6	22,6/10,0	10,0/20,8
	2022	21,0/19,8	19,8/21,2	21,2/15,2	15,2/19,6
Температура почвы на глубине 10 см, °C (начало/конец периода)	2021	11,7/23,3	23,3/24,7	24,7/22,0	22,0/11,8
	2022	11,0/19,8	19,8/20,0	20,0/20,2	20,2/13,0

В 2022 г. режим выпадения осадков в начальные периоды вегетации кукурузы (до фазы 8–10 листьев) характеризовался превышением нормы на 10–30 %. В дальнейшем количество осадков было ниже среднееголетнего показателя (43–76 % от нормы). Влажность почвы, как и в предыдущем году, в период цветения кукурузы опускалась ниже предела оптимального уровня. Температурный фон был ниже, чем в 2021 г. на протяжении всего периода вегетации.

Мониторинг гидротермических условий, вегетационных периодов яровой пшеницы также показал существенные отклонения основных показателей от нормы (табл. 3). В 2022 г. в период от посева до появления 1-го узла у яровой пшеницы наблюдался недобор тепла и высокая влагообеспеченность в дальнейшем при повышении температурного фона количество осадков снизилось. В результате в период от колошения до уборки влажность почвы была на уровне 13,1–15,0 %, что ниже оптимального уровня.

Таблица 3

**Гидротермические условия вегетационных периодов яровой пшеницы
(28.04.2022 г.–23.08.2022 г. и 27.04.2023 г.–16.08.2023 г.)**

Показатели	Год	посев – 3 листа	3 листа – 1-й узел	1-й узел – колошение	колошение – уборка
Продолжительность периода, дн.	2022	27	12	29	50
	2023	25	17	19	51
Средние t за период, °C (норма)	2022	10,0 (12,6)	12,7 (15,1)	19,6 (16,8)	18,7 (18,3)
	2023	10,0 (12,2)	14,6 (15,0)	19,5 (16,5)	18,8 (18,4)
Сумма осадков, мм (норма)	2022	51,3 (54,2)	41,8 (25,5)	44,5 (88,4)	102,3 (125,4)
	2023	10,5 (47,9)	0 (40,9)	37,0 (57,6)	235,3 (138,4)
Влажность почвы, % (начало/конец пери- ода)	2022	24,8/25,2	25,2/23,7	23,7/13,1	13,1/15,0
	2023	26,2/19,3	19,3/14,2	14,2/5,7	5,7/17,0
Температура почвы на глубине 10 см, °C (на- чало/конец периода)	2022	11,5/18,7	18,7/20,0	20,0/23,2	23,2/23,5
	2023	12,0/20,0	20,0/23,8	23,8/24,5	24,5/24,0

В 2023 г. средние температуры воздуха были на уровне предыдущего года, за исключением периода от 3-х листьев до первого узла у яровой пшеницы, когда установились более теплые условия. Сильно отличались от предыдущего года условия увлажнения. В период до колошения количество осадков было значительно ниже нормы и в результате к колошению влажность почвы составила всего 5,7 %. От колошения до уборки условия увлажнения кардинально изменились, за данный период выпало 235,3 мм осадков, или 170 % от нормы, но при этом влажность почвы не достигла оптимального уровня.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основными факторами, определяющими изменения в степени подвижности фосфатов за вегетационный период, являются внесение фосфорных удобрений, поглощение фосфора возделываемыми сельскохозяйственными культурами, а также складывающиеся гидротермические условия.

Степень подвижности фосфатов динамичный показатель фосфатного состояния почвы, который изменяется в результате применения удобрений. В опыте на поле 1 наибольшие значения степени подвижности фосфатов в целом были характерны для варианта с внесением минеральных фосфорных удобрений совместно с азотом и калием (NPK) и при применении 60 т/га навоза КРС совместно с минеральными азотными удобрениями (Навоз + N) (рис.1).

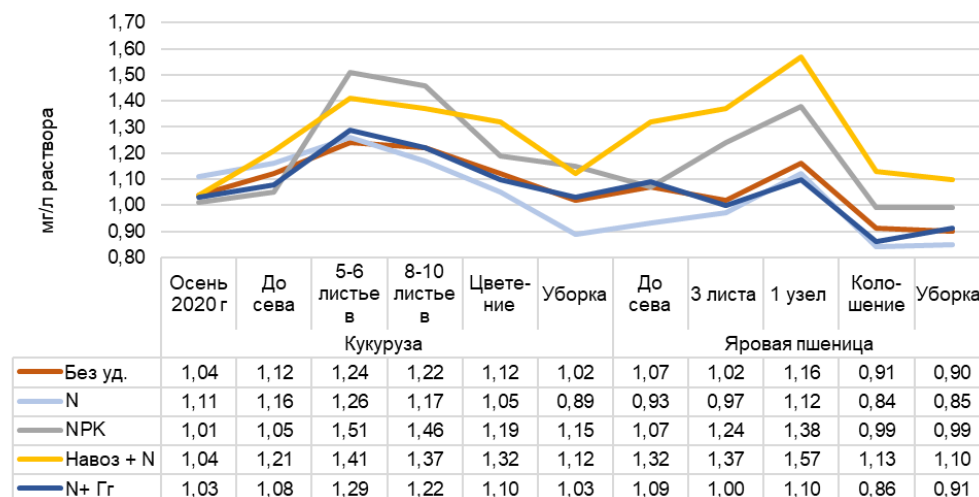


Рис. 1. Влияние систем удобрения на динамику степени подвижности фосфатов в звене севооборота кукуруза–яровая пшеница, мг/л раствора, поле 1 (2020–2022 гг.)

На поле 2 обращает на себя внимание то, что динамика степени подвижности фосфатов в варианте Навоз + N не имела преимуществ перед вариантом с моноазотной системой удобрения или вариантом без удобрений (рис. 2). Данное обстоятельство можно объяснить качеством подстилочного навоза, так если на поле 1 с 60 т навоза на 1 га было внесено 204 кг фосфора, то на поле 2 всего 76 кг.

Таким образом, достоверные преимущества системы Навоз + N перед моноазотной системой были установлены только на поле 1 (при внесении с навозом 204 кг/га фосфора) и наблюдались как в год действия навоза, начиная с фазы цветения у кукурузы, так и в первый год последействия – до уборки яровой пшеницы. В этот период показатели степени подвижности фосфатов в варианте, предусматривающем внесение органических удобрений, были выше на 0,23–0,45 мг/л раствора, или 26–42 %, чем в варианте с применением только азотных удобрений.

При внесении минеральных фосфорных удобрений в системе NPK пики повышения степени подвижности фосфатов наблюдались в зависимости от года (поля) в фазах 5–6 – 8–10 листьев у кукурузы и 3 листа – 1-й узел у яровой пшеницы, т. е. в начальные периоды роста. Необходимо отметить, что на поле 1 в эти фазы установлено

достоверное преимущество в величине показателя в данном варианте по отношению к вариантам с моноазотной системой и без удобрений ($HCP_{05} = 0,16-0,19$).

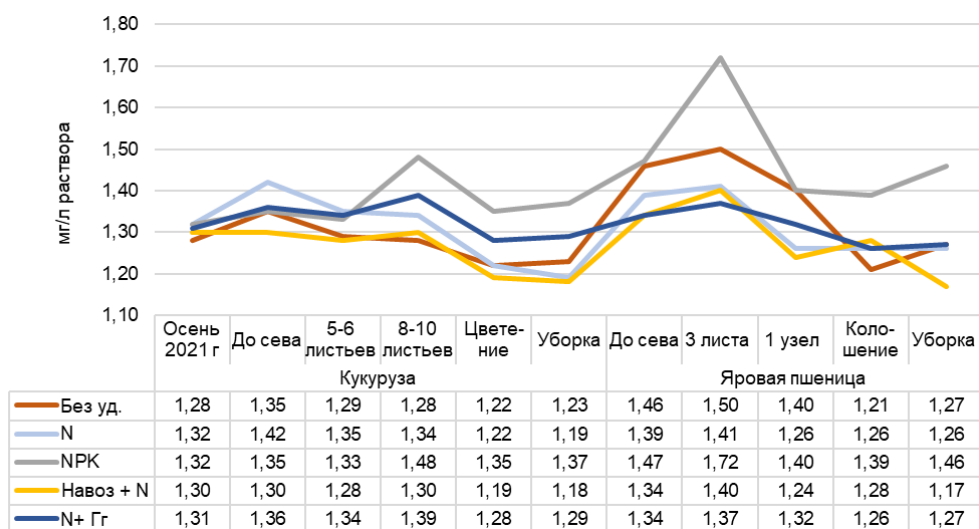


Рис. 2. Влияние систем удобрения на динамику степени подвижности фосфатов в звене севооборота кукуруза – яровая пшеница, мг/л раствора, поле 2 (2021–2023 гг.)

На поле 2 достоверными были различия, отмечавшиеся в фазе 3 листа у яровой пшеницы ($HCP_{05} = 0,18$). В посевах кукурузы в фазе 8–10 листьев отмечена четко выраженная тенденция повышения степени подвижности фосфатов на 0,14 мг/л (10 %) в варианте NPK по отношению к моноазотной системе удобрения.

В целом по опыту внесение фосфорных удобрений повышало степень подвижности фосфатов в начальные периоды роста и развития растений на 0,14–0,31 мг/л раствора, или на 10–28 %.

В литературе можно встретить данные о влиянии Гидрогумата на увеличение подвижности фосфора в почве [19, 20], при этом отмечается, что гуминовые удобрения наиболее эффективны при значительном недостатке фосфатов в почве. В наших исследованиях на высокообеспеченной фосфором почве были получены разноречивые результаты. Если в посевах кукурузы по двум полям отмечалось преимущество варианта N + Гидрогумат перед моноазотной системой (снижение степени подвижности за вегетацию в варианте N составило 0,23–0,27 мг/л раствора (16–23 %), в варианте N + Гидрогумат – 0,05–0,07 мг/л раствора (5 %), то в посевах яровой пшеницы по двум полям существенных различий между вариантами не обнаружено (снижение степени подвижности за вегетацию в варианте N составило 0,08–0,13 мг/л раствора (9 %) в варианте N + Гидрогумат – 0,07–0,18 мг/л раствора (5–17 %).

Кроме изменений в показателе степени подвижности обусловленных внесением удобрений можно заметить изменения не связанные с применяемыми системами удобрения, так, например, на поле 1 в посевах кукурузы в фазе 5–6 листьев и в посевах яровой пшеницы в фазе 1 узла степень подвижности фосфатов достоверно повышалась по всем вариантам опыта. Эти изменения можно объяснить улучшением гидротермических условий.

Многие исследователи связывают сезонную динамику доступных фосфатов в почве с температурой и влажностью почвы [12, 13, 21, 22]. При этом рост количества фосфора весной связывают с низкими температурами и промерзанием почвы [13, 23, 24], в летний же период повышение температур воздуха и почвы способствует улучшению микробиологической активности, и органический фосфор в результате его минерализации становится доступным для растений [25, 26].

О влиянии влажности на содержание подвижных фосфатов в почве в литературе приводятся разноречивые данные. Так, в одних источниках [27, 28] говорится, что именно процесс высушивания почвы играет важную роль в повышении обеспеченности ее доступными фосфатами. Другие исследователи склоняются к мнению, что количество фосфора в почве увеличивается при повышении влажности [12, 13, 21]. Так А. Е. Возбуцкая [29] объясняет это тем, что при высыхании почвы некоторое количество фосфат-ионов осаждается, при увлажнении, наоборот, происходит переход дополнительных количеств фосфат-ионов в почвенный раствор. То есть с увеличением влажности общее количество растворенных фосфатов возрастает. По данным Р. Е. Елешева [30] повышение влажности почвы до уровня 80 % НВ ослабляет переход растворимых фракций кальциевых фосфатов в высокоосновные формы и повышает их подвижность.

Анализ динамики степени подвижности фосфатов (в среднем по вариантам опытов) и гидротермических условий показывает, что наибольшее содержание фосфатов, растворимых в солевом растворе приходилось на теплый период года (май–июнь). Также установлена связь динамики степени подвижности фосфатов с изменениями в условиях увлажнения на протяжении вегетационного периода (рис. 3).

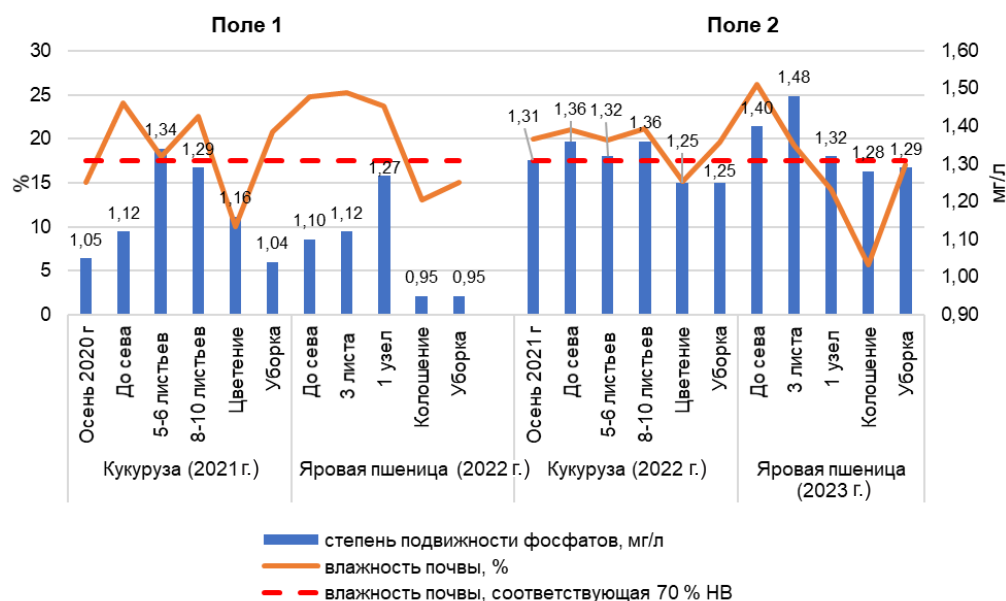


Рис. 3. Динамика степени подвижности фосфатов и влажности почвы, поле 1 и 2

В опыте по двум культурам и двум полям условия складывались так, что в начале вегетации увлажнение было хорошим и влажность почвы была выше

нижнего порога оптимального (17,5 %). В этих условиях и с ростом температур воздуха и почвы степень подвижности фосфатов возрастала. Как исключение можно отметить посевы кукурузы на поле 2, где в условиях высокого начального показателя степени подвижности (1,31 мг/л раствора) и стабильной влажности почвы количество растворимого в K_2SO_4 фосфора (1,32–1,36 мг/л) практически не менялось до фазы 8–10 листьев у кукурузы.

При снижении влажности почвы ниже оптимального значения наблюдалось существенное снижение степени подвижности фосфатов, так на поле 1 в посевах кукурузы при снижении влажности почвы с 22,6 до 10,0 % в период от 8–10 листьев до цветения степень подвижности снизилась на 0,13 мг/л (10 %), при возделывании яровой пшеницы на этом поле при прохождении фаз от 1-го узла до колошения наблюдалось иссушение почвы, со снижением влажности с 23,7 до 13,1 %, степень подвижности фосфатов снизилась при этом на 0,32 мг/л (25 %).

На поле 2 также можно отметить те же закономерности – при снижении влажности почвы в период 8–10 листьев – цветение у кукурузы с 22,2 до 15,2 % степень подвижности уменьшилась на 0,11 мг/л раствора (8 %). В посевах яровой пшеницы был отмечен наиболее длительный в опыте засушливый период, длившийся от посева до колошения, снижение степени подвижности фосфатов при этом наблюдалось в период от 3-х листьев до колошения и составило 0,20 мг/л (14 %).

Обращает на себя внимание то, что наибольшие показатели степени подвижности как на поле 1 (1,34 мг/л – фаза 5–6 листьев у кукурузы), так и на поле 2 (1,48 мг/л – фаза трех листьев у яровой пшеницы) были отмечены в условиях, когда происходило снижение влажности почвы на 6,1–6,9 %, но при этом она оставалась в пределах оптимального диапазона.

Таким образом, наибольшие значения степени подвижности фосфатов установлены в условиях оптимальной влажности почвы – 70–100 % НВ (17,5–25,0 % для исследуемой почвы). При этом при снижении влажности со 100 до 70 % НВ степень подвижности фосфатов увеличивается, при снижении влажности почвы ниже 70 % НВ – уменьшается.

Статистический анализ полученных нами данных показывает, что вариабельность степени подвижности фосфатов во времени (от посева до уборки) (V – 3,8–12,4 %), вызванная как изменчивостью гидротермических условий, так и поглощением фосфора возделываемыми культурами сопоставима с вариабельностью показателя, обусловленной системой удобрения, рассчитанной в отдельные фазы роста и развития исследуемых культур (V – 2,4–16,1 %). Можно отметить, что наименьшая вариабельность, обусловленная как фактором время (V – 3,8 %), так и системой удобрения (V – 2,4–6,3 %) отмечена в посевах кукурузы на поле 2. Наибольшие колебания показателя установлены в посевах яровой пшеницы на поле 1, коэффициент вариации составил соответственно 12,4 и 9,9–16,1 %.

ВЫВОДЫ

В дерново-подзолистой легкосуглинистой высококультуренной почве на динамику степени подвижности фосфатов в равной степени оказывают влияние как удобрения (V – 2,4–16,1 %), так и гидротермические условия (V – 3,8–12,4 %).

Применение минеральных фосфорных удобрений (70 кг д. в./га) в системе НРК повышало степень подвижности фосфатов в начальные периоды роста

исследуемых культур (5–6 – 8–10 листьев у кукурузы и 3 листа – 1-й узел у яровой пшеницы) на 0,14–0,31 мг/л раствора или на 10–28 % по отношению к моноазотной системе удобрения.

Внесение 204 кг/га фосфора с органическими удобрениями в варианте навоз КРС + N способствовало повышению степени подвижности фосфатов в почве на 0,23–0,45 мг/л раствора или 26–42 %, по отношению к варианту N и отмечалось как в год действия, так и в первый год последействия.

Установлено влияние условий увлажнения на изменения показателя степени подвижности фосфатов. Наибольшая концентрация фосфатов, извлекаемых солевой вытяжкой, отмечалась в условиях оптимальной влажности почвы – 70–100 % НВ (17,5–25,0 % для исследуемой почвы). При снижении влажности со 100 до 70 % НВ степень подвижности фосфатов увеличивалась, при снижении влажности почвы ниже 70 % НВ – уменьшалась.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метод Карпинского и Замятиной. Все об агрохимии [сайт]. – URL: <http://agrohimija24.ru/agrohimicheskie-metody/1765-metod-karpinskogo-i-zamyatinoy.html>. (дата обращения: 27.11.2024).
2. Паукштис, С. И. Фосфатный режим дерново-подзолистых почв под влиянием слаборастворимых фосфорных удобрений и кремния // Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов. – URL: www.dissercat.com/content/fosfatnyi-rezhim-derново-podzolistykh-pochv-pniem-slaborastvorimyykh-fosfornykh-udobr (дата обращения: 26.09.2024)
3. Андрианов, С. Н. Формирование фосфатного режима дерново-подзолистой почвы в разных системах удобрений / С. Н. Андрианов. – М. : ВНИИА, 2004. – 296 с.
4. Барашенко, В. В. Формирование оптимального фосфатного режима дерново-подзолистых суглинистых почв: дис. ... канд. с/х наук : 06.01.04 / Барашенко Виктор Васильевич ; НИИПА. – Минск, 1989. – 240 л.
5. Вильдфлуш, И. Р. Фосфор в почвах и земледелии Беларуси / И. Р. Вильдфлуш, А. Р. Цыганов, В. В. Лапа. – Минск : Хата, 1999. – 196 с.
6. Сычев, В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования / В. Г. Сычев. – М. : РАН, 2019. – 328 с.
7. Минеев, В. Г. Географические закономерности действия удобрений на урожай озимых хлебов / В. Г. Минеев, М. М. Ивлев // Географические закономерности действия удобрений : сб. ; под ред. В. Д. Панникова, В. Г. Минеева. – М. : Колос, 1975. – С. 3–55.
8. Карпинский, Н. П. Изменение степени подвижности почвенных фосфатов в длительных микрополевых опытах при внесении фосфорных удобрений / Н. П. Карпинский, Н. М. Глазунова // Агрохимия. – 1993. – № 9. – С. 3–13.
10. Куприченко, М. Т. Сезонная динамика химических и агрохимических свойств био- и агрочернозема. / М. Т. Куприченко // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – №7. – С. 67–68.
11. Пивоварова, Е. Г. Сезонная динамика содержания подвижных питательных веществ и математическое обоснование сроков агрохимического обследования почв / Е. Г. Пивоварова, Е. М. Соврикова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2005. – № 4 (20). – С. 11–16.

12. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
13. Адерихин, П. Г. Поглощение фосфатов почвами при различной влажности / П. Г. Адерихин, Г. С. Волкова // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. – 1967. – № 3. – С. 129–131.
14. Туренков, Н. И. Палево-подзолистые почвы Белоруссии / Н. И. Туренков. – Минск : Наука и техника, 1980. – 216 с.
15. Романова, Е. Н. Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства / Е. Н. Романова, Г. И. Мосолова, И. А. Береснева. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1983. – 245 с.
16. Марчик, Т. П. Водные свойства и водный режим почв / Т. П. Марчик, А. Л. Ефремов // Почвоведение с основами растениеводства. – URL: https://ebooks.grsu.by/pochva_s_osn_rast/glava-7-vodnye-svoystva-i-vodnyj-rezhim-pochv.htm (дата обращения: 25.04.2025).
17. Венцкевич, Г. З. Сельскохозяйственная метеорология / Г. З. Венцкевич. – Л. : Гидрометеорологическое изд-во, 1952. – 324 с.
18. Оптимальное увлажнение почвы и допустимые колебания влажности при поливе // Сад и огород [сайт]. – URL: <http://farmer-garden.ru/sovety6.html> (дата обращения 26.03.2025).
19. Почвенная влага и минеральное питание растений // Главагроном. – URL: <https://glavagronom.ru/articles/pochvennaya-vlaga-i-mineralnoe-pitanie-rasteniy> (дата обращения 26.03.2025).
20. Гуминовые удобрения // Мегалекции. – URL: <https://megalektsii.ru/s19619t10.html> (дата обращения: 12.02.2025).
21. Полиенко, Е. А. Экологическая оценка влияния гуминовых препаратов на состояние почв и растений : дис. ... канд. биологических наук : 03.02.08 / Полиенко Елена Александровна ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону, 2016. – 152 л.
22. Хмелинин, И. Н. Фосфор в подзолистых почвах и процессы трансформации его соединений / И. Н. Хмелинин. – Л. : Наука, 1984. – 151 с.
23. Карпинский, Н. П. Подвижный фосфор и использование его растениями / Н. П. Карпинский, В. Б. Замятина, Н. М. Глазунова // Доклады советских почвоведов к VII Международному конгрессу в США. – М. : Изд. АН СССР, 1960. – С. 262–266.
24. Барсукова, Л. И. Роль мороза в годовом цикле структурного состояния почвы / Л. И. Барсукова, З. И. Бахарева // Почвоведение. – 1950. – №1. – С. 21–31
25. Дадыкин, В. П. Температура почвы как один из факторов, определяющий эффективность удобрений / В. П. Дадыкин // Почвоведение. – 1951. – № 9. – С. 537–561.
26. Соколов, А. В. Запасы в почвах усвояемых фосфатов и их накопление при внесении фосфорных удобрений // Почвоведение. – 1958. – № 2. – С. 1–8.
27. Аверкина, С. С. Методы определения подвижных фосфатов на чернозёмах Сибири / С. С. Аверкина. – Новосибирск. : Lap Lambert Akademik Publishing, 2012. – 116 с.
28. Лебедянцева, А. М. Высыхание почвы как природный фактор образования ее плодородия / А. М. Лебедянцева // Избранные труды. – М. : Сельхозиздат, 1960. – С. 205–264.
29. Красницкий, В. М. Влияние гидротермических факторов на подвижность

фосфора в черноземных почвах / В. М. Красницкий, О. Т. Ермолаев // Плодородие. – 2012. – № 3. – С. 19–22.

30. Возбудская, А. Е. Химия почв / А. Е. Возбудская. – М. : Высшая школа, 1968. – 428 с.

31. Елешев, Р. Е. Формы фосфатов в орошаемых почвах юго-восточного Казахстана и приемы рационального использования фосфорных удобрений : дис. ... д-ра с/х. наук : 06.01.04 / Елешев Рахимжан Елешевич ; с/х академия им. К. А. Тимирязева. – М, 1984. – 310 л.

SEASONAL DYNAMICS OF THE DEGREE OF PHOSPHATE MOBILITY IN SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY HIGHLY CULTIVATED SOIL

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

Summary

The article presents the results of a study of the seasonal dynamics of the degree of phosphate mobility in corn and spring wheat crops on sod-podzolic light loamy highly cultivated soil. The effect of fertilizers and hydrothermal conditions on the change in this indicator during the growing season was established. The use of mineral phosphorus fertilizers increased the degree of phosphate mobility in the initial periods of growth of the studied crops by 0,14–0,31 mg/l of solution or by 10–28 %. The application of cattle manure increased the indicator by 0,23–0,45 mg/l of solution or 26–42 % in the year of action and in the first year of after-effect.

The effect of moisture conditions on changes in the indicator of the degree of phosphate mobility was established. The highest concentration of phosphates extracted by salt extract was noted under conditions of optimal soil moisture – 70–100 % of the lowest moisture capacity. With a decrease in moisture from 100 to 70 % of the lowest moisture capacity, the degree of phosphate mobility increased, and with a decrease in soil moisture below 70 % of the lowest moisture capacity, it decreased.

Поступила 12.05.25

ВЛИЯНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{90}Sr ЗЕРНОМ ОВСА

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

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Почва-растение – начальное звено экологического цикла переноса радионуклидов из внешней среды к человеку. Интенсивность потоков перехода радионуклидов из почвы в растения зависит от тех свойств почвы, которые влияют на процессы их поглощения и закрепления. Одним из таких свойств является кислотность почвенного раствора. Внимание ученых уже довольно давно было обращено к извести как потенциальному средству снижения поступления радионуклидов в продукцию растениеводства. Исследования по этой теме были стимулированы одной из первых тяжелых аварий на Южном Урале, произошедшей в 1957 г., где в природную среду было выброшено большое количество ^{90}Sr [1, 2].

Физико-химическое состояние радионуклидов в почве и, в первую очередь, количество их мобильных форм являются определяющим фактором в процессах миграции радиоцезия и радиостронция в почвенном профиле и по биологическим цепочкам. ^{90}Sr сорбируется твердой фазой почвы значительно слабее, чем ^{137}Cs . По сравнению с ^{137}Cs , у которого доля фиксированной фракции составляет 83–98 % от валового содержания в почве, содержание ^{90}Sr в прочносвязанной форме не превышает 7–12 % [3].

Высокая степень подвижности ^{90}Sr в почве определяет высокие коэффициенты перехода радиоизотопа из почвы в растения, которые в среднем на порядок выше, чем у ^{137}Cs [4]. Из кислых почв радионуклиды поступают в растения в значительно больших количествах, чем из почв слабокислых, нейтральных или слабощелочных. Дерново-подзолистые почвы характеризуются высокой исходной кислотностью и слабой насыщенностью основаниями [5]. При увеличении кислотности почвы снижается прочность закрепления ППК ^{90}Sr и ^{137}Cs и, соответственно, возрастает интенсивность поступления их в растения. При повышении pH ряд радионуклидов переходит из ионной формы в различные гидролизные комплексные соединения, что снижает их доступность для растений [6, 7]. Кислотность оказывает и косвенное влияние на сорбцию почвами радионуклидов, изменяя емкость катионного обмена [8].

На основе анализа многолетних данных, полученных в полевых условиях, Пристером Б. С. с соавторами показано, что значения коэффициентов перехода радионуклидов из почвы в растения наиболее тесно связаны с кислотностью почвенного раствора (pH_{KCl}) [9]. Показатель pH_{KCl} наиболее часто используется при прогнозе загрязнения продукции ^{90}Sr [10]. Эффективность снижения содержания радионуклидов в урожае в результате внесения удобрений и известкования на бедных питательными веществами почвах существенно выше, чем на плодородных почвах. Дополнительное внесение мелиорантов с целью снижения поступления

радионуклидов в урожай на известкованных почвах является малоэффективным агротехническим приемом [11–14].

Овес – ценная зернофуражная культура, используемая в рационах всех видов сельскохозяйственных животных и является эффективным энергетическим кормом. По биологическим свойствам овес относится к культурам умеренного климата и достаточного увлажнения, нетребователен к почвам, выносит высокую кислотность, холодостоек. В мировом земледелии овес занимает пятое место по посевным площадям среди зерновых культур. В Беларуси посевные площади овса за последние годы составляли 140–160 тыс. га. Протеиновая составляющая зерна овса богата лизином, лейцином, аргинином, треонином, триптофаном. Значительный процент сырого жира в зерне овса превосходит другие злаковые культуры.

Для достижения оптимального уровня кислотности почвы в Беларуси в 1999 г. были разработаны дозы извести, дифференцированные по плотности радиоактивного загрязнения и гранулометрическому составу [15]. В послеаварийный период систематическое известкование в повышенных дозах позволило значительно сократить площади кислых почв на загрязненных территориях. Следствием реализации агрохимических защитных мер в агропромышленном комплексе явилось значительное снижение удельной активности радионуклидов в основных видах сельскохозяйственной продукции, что обусловило существенное ослабление дозовых нагрузок на население [16–19].

Целью исследований было изучение влияния агрохимических свойств почв на интенсивность поступления ^{90}Sr в зерно овса и определение пороговых параметров плодородия почв, до которых наблюдается эффект снижения накопления радионуклидов биомассой растений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Маршрутные исследования проводились в 2022–2024 гг. путем отбора проб растительных образцов в фазу полной спелости и сопряженных почвенных образцов в производственных посевах Хойникского и Брагинского районов Гомельской области методом учетных площадок на дерново-подзолистых супесчаных почвах.

Почвенные образцы отбирались из пахотного слоя (0–20 см). Представительные пробы формировались из точечных проб. Из точечных растительных проб массой 0,3–0,6 кг формировали объединенную пробу. Масса воздушно-сухого образца почвы для проведения анализа на содержание ^{90}Sr составляла 100 г. Почвенные образцы отбирали методом конверта, т. е. один смешанный образец состоял из 5 индивидуальных проб, взятых на глубину перегнойного горизонта с площади 1 м² с помощью почвенного тростевого бура. Общая выборка составила 70 образцов растений и почвы.

Все данные по удельной активности растительных образцов (Бк/кг) пересчитывались на стандартную влажность 14 %.

Агрохимические показатели почв определяли по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (0,4 н $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – ГОСТ 26213-91), обменную кислотность – pH_{KCl} потенциометрическим методом (1 М KCl – ГОСТ 26483-85), содержание подвижных форм фосфора и калия – по Кирсанову (0,2 М HCl – ГОСТ 26207-91), обменных форм кальция и магния – на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-30 (1 М KCl – ГОСТ 26487-85).

Содержание ^{90}Sr оценивали по дочернему продукту распада ^{90}Y после проведения радиохимической очистки от мешающих радионуклидов оксалатным методом с последующим измерением на пластиковом сцинтилляционном детекторе спектрометра-радиометра «Прогресс-БГ». Выход носителя иттрия определяли гравиметрическим методом, выход носителя стронция – на атомно-абсорбционном спектрофотометре. Статистическая погрешность измерений не превышала 15 %.

Методы математической обработки результатов. Коэффициенты перехода (K_p) радионуклида ^{90}Sr из почвы в растения рассчитывались по формуле:

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

где:

A_p – удельная активность радионуклида в растении (Бк кг^{-1});

A_s – плотность загрязнения почвы радионуклидом (кБк м^{-2}).

Значения агрохимических свойств почв, при которых наблюдается минимальное накопление ^{90}Sr , рассчитывались на основе квадратичной функции распределения путем деления коэффициента пропорциональности первого порядка на удвоенное значение коэффициента второго порядка. Для математической обработки экспериментального материала использовали методы: регрессионный, корреляционный, описательной статистики с использованием программного обеспечения MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для установления корреляционных зависимостей по влиянию обеспеченности дерново-подзолистых супесчаных почв элементами питания на накопление радиостронция зерном овса проведен отбор сопряженных почвенных и растительных образцов в производственных посевах методом закладки пробных площадок. В производственных посевах удельная активность зерна овса по ^{90}Sr варьировала от уровня почвенного плодородия и плотности загрязнения в пределах от 1,96 до 39,7 Бк/кг.

Корреляционный анализ показал достаточно тесную отрицательную взаимосвязь (r) между pH ($r = -0,67$), содержанием обменного кальция ($r = -0,69$) и содержанием гумуса ($r = -0,61$) в дерново-подзолистой супесчаной почве (табл. 1, рис. 1–6) и коэффициентами перехода (K_p) ^{90}Sr в зерно овса. Менее значимые связи отмечаются между (K_p) ^{90}Sr и содержанием подвижного калия ($r = -0,46$), фосфора ($r = -0,36$), обменного магния ($r = -0,42$).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции (r) между агрохимическими показателями дерново-подзолистой супесчаной почвы и коэффициентами перехода (K_p) радионуклида ^{90}Sr в зерно овса

Радионуклид	Гумус, %	pH _{KCl}	Подвижный калий, K_2O , мг/кг почвы	Подвижный фосфор, P_2O_5 , мг/кг почвы	Обменный Ca, мг/кг почвы	Обменный Mg, мг/кг почвы
^{90}Sr	–0,61	–0,67	–0,46	–0,36	–0,69	–0,42

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

В наших экспериментах доля доступных форм радиостронция (водорастворимая + обменная + подвижная) для растений составляет в дерново-подзолистых песчаных почвах 87,3 %, в супесчаных 81,2 % и в суглинистой 92,0 % от валового содержания в почве и доля легкодоступных (водорастворимая + обменная) составляет 67,2 %, 59,5 % и 75,5 % соответственно (табл. 2). Данный факт определяет высокие переходы радиостронция в продукцию растениеводства [20].

Таблица 2

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

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

Интенсивность перехода ^{90}Sr из почвы в растения зависит от кислотности почвы, и с увеличением pH переход радиостронция из почвы в растения снижается. В экспериментах увеличение pH почвы на 0,1 единицы в интервале 4,5–6 вызывает снижение накопления ^{90}Sr зерном овса на 15 %, в интервале pH 6–7 темпы снижения поступления ^{90}Sr уменьшаются. Следовательно, затраты на предотвращение коллективной дозы при известковании почв с более высокими исходными pH будут выше чем на кислых почвах. Минимальное накопление ^{90}Sr отмечается в интервале обменной кислотности 6,4–6,9 pH (рис. 1).

Согласно действующим градациям по показателю pH минеральные почвы Беларуси подразделяются на 7 групп: I – сильнокислые (pH менее 4,5), II – среднекислые (pH 4,51–5,00), III – кислые (5,01–5,50), IV – слабокислые (pH 5,51–6,00), V – близкие к нейтральным (pH 6,01–6,50), VI – нейтральные (pH 6,51–7,00) и VII – слабощелочные (pH более 7,00). Интервалы оптимальных параметров агрохимических свойств почв Беларуси для связносупесчаных и рыхлосупесчаных почв определены в интервале 5,5–6,5 [17,18].

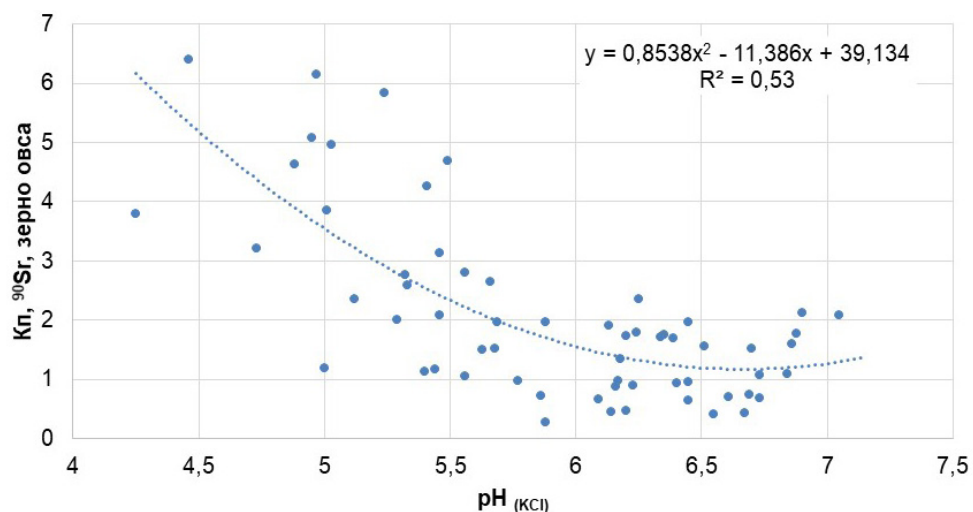


Рис. 1. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в зерно овса в зависимости от обменной кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы

По данным последнего тура обследования, доля пахотных почв, загрязненных радионуклидами 47 районов Республики Беларусь, в которых можно ожидать минимальные переходы ^{90}Sr в сельскохозяйственные растения (рН более 6,0), составляет 45,5 % (табл. 3).

Таблица 3

Динамика реакции пахотных почв Беларуси (47 районов), загрязненных радионуклидами, по группам кислотности за период 1986–2020 гг.

Периоды	В том числе по группам кислотности, %							Средне- взвешен- ное, рН
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
	< 4,5	4,51–5,00	5,01–5,50	5,51–6,00	6,01–6,50	6,51–7,00	> 7,00	
2017–2020	1,4	6,7	18,0	28,5	29,1	13,9	2,5	5,86
1997–2000	1,5	5,1	13,9	26,7	34,7	21,8	3,3	5,95
1986–1989	3,4	9,0	18,5	29,6	37,1		2,4	5,77
1981–1985	5,4	21,4	23,3	26,9	27,8		2,2	5,61

Важным показателем, определяющим миграционную способность радионуклидов, является содержание в почвенном компоненте органического вещества. Органическое вещество почвы способно образовывать сложные комплексные соединения с поллютантами, поэтому в почвах с высоким содержанием гумуса они менее доступны для растений. Гумус объединяет комплекс или группу химических веществ, в состав которых входит как органическая часть (гуминовые и фульвокислоты), так и неорганическая составляющая – химические элементы неорганического происхождения [21]. Органическая часть гумуса – гуминовые кислоты, обладают высокой сорбционной емкостью по отношению к рудным элементам, а также изотопным носителям долгоживущих радионуклидов: 1 г

гуминовых кислот сорбирует 30 мг цезия, 18 мг стронция. В связи с этим гуминовые кислоты выступают как эффективный геохимический барьер, ограничивающий подвижность ионов радионуклидов [22]. В наших исследованиях зависимость перехода ^{90}Sr в зерно овса от содержания гумуса в почве удовлетворительно описывалась квадратичной функцией ($R^2 = 0,43$). Содержание гумуса, при котором отмечено минимальное накопление ^{90}Sr , находилось в пределах 3,0–3,3 %, наиболее заметное снижение поступления радиостронция наблюдается до 2,7 % (рис. 2). Полученные значения близки к верхнему уровню диапазона оптимального содержания гумуса для дерново-подзолистых связносупесчаных почв, который установлен в пределах 2,4–2,8 % [10].

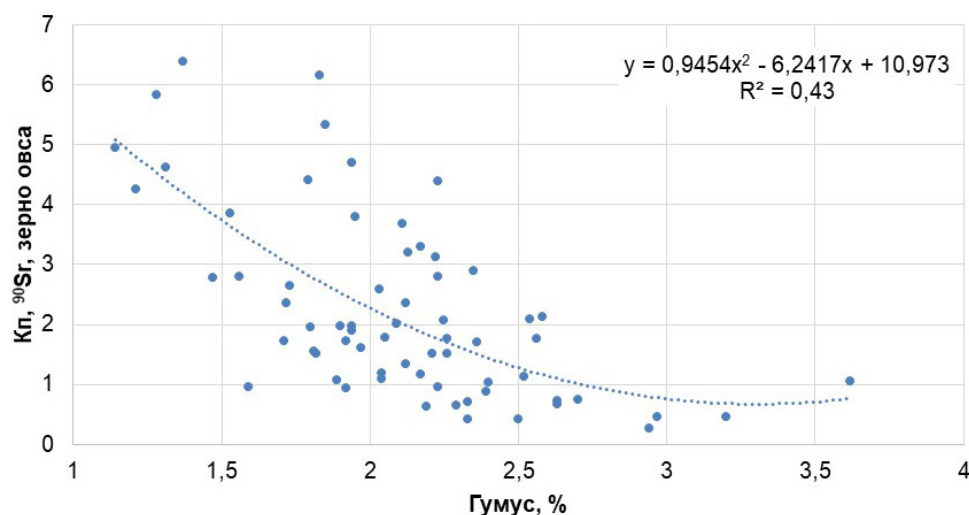


Рис. 2. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в зерно овса в зависимости от содержания гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве

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

На загрязненных радионуклидами землях используются повышенные дозы известковых удобрений для доведения реакции почвенной среды до оптимального уровня и насыщения почвенно-поглощающего комплекса кальцием. Несмотря на определенную зависимость между pH и обменным кальцием, почвы, имеющие одинаковую кислотность, могут существенно отличаться по содержанию обменного кальция и, соответственно, иметь различные коэффициенты перехода ^{90}Sr и ^{137}Cs в растения. В экспериментах содержание обменного кальция, при котором отмечено минимальное накопление ^{90}Sr зерном овса находилось в пределах 930–1033 мг/кг почвы, наиболее заметное снижение поступления радиостронция наблюдалось до 800 мг/кг почвы (рис. 3).

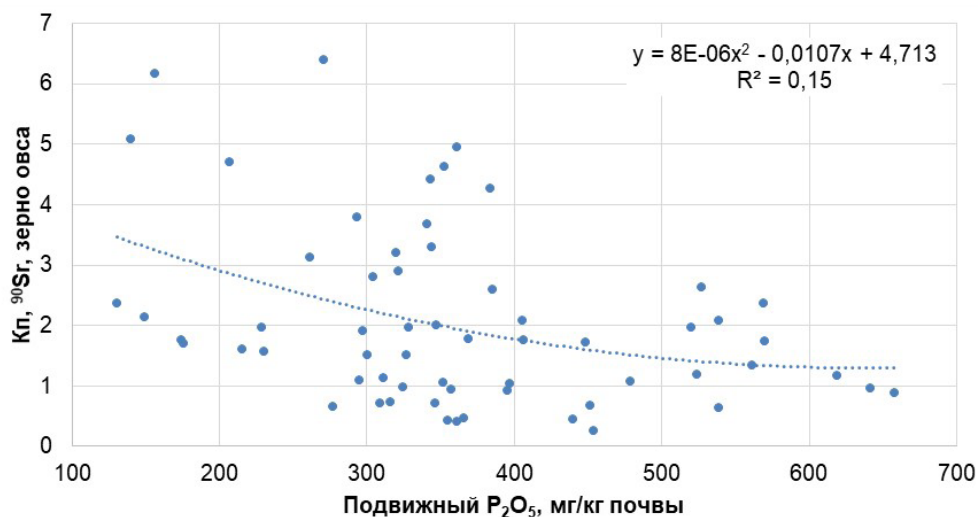


Рис. 3. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в зерно овса в зависимости от содержания обменного кальция в дерново-подзолистой супесчаной почве

Основные массивы земель, загрязненных Чернобыльскими выпадениями, находятся в Гомельской и Могилевской областях Республики Беларусь, где средневзвешенное содержание обменного кальция в пересчете на элемент составляет 750 и 690 мг/кг и доля пахотных почв, где можно прогнозировать минимальные переходы ^{90}Sr в сельскохозяйственные растения составляет 75 % и 69 % соответственно. Содержание обменного магния, при котором отмечено минимальное накопление ^{90}Sr зерном овса находилось в пределах 260–290 мг/кг почвы, наиболее заметное снижение поступления радиостронция наблюдалось до 230 мг/кг почвы (рис. 6).

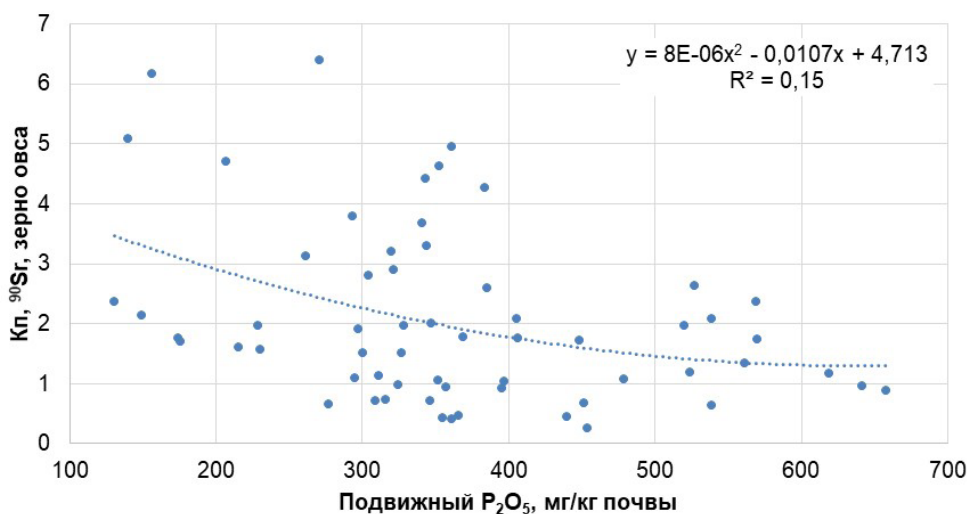


Рис. 4. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в зерно овса в зависимости от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой супесчаной почве

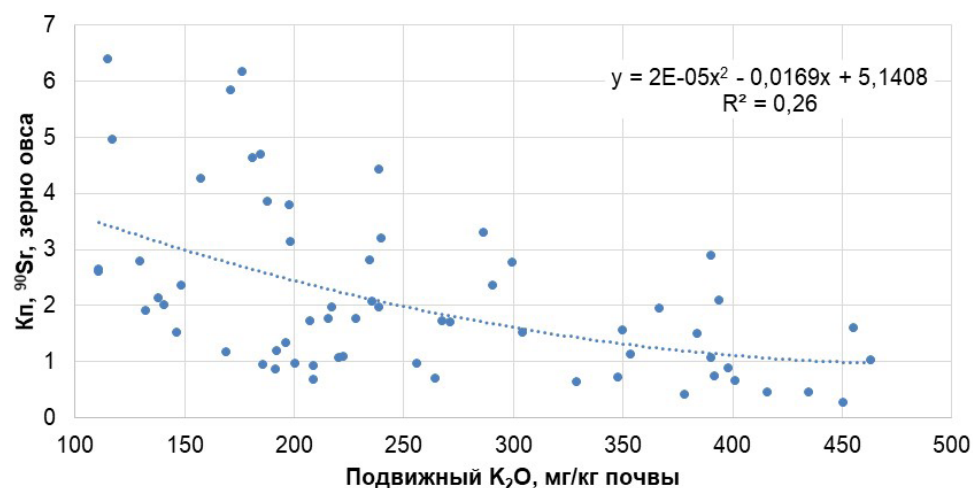


Рис. 5. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в зерно овса в зависимости от содержания подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве

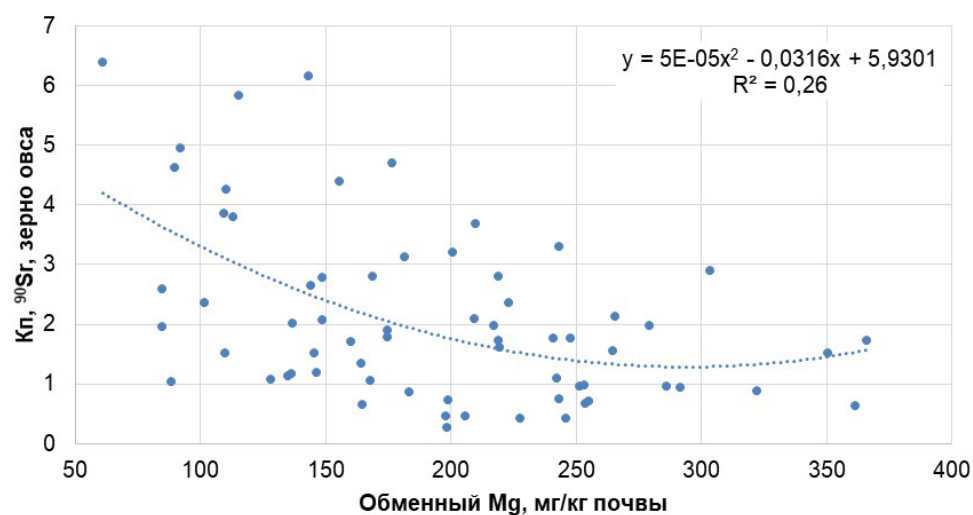


Рис. 6. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в зерно овса в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой супесчаной почве

В связи с тем, что доступность радионуклидов для растений может меняться с течением времени, необходимо на периодической основе проводить уточнение коэффициентов перехода радионуклидов в продукцию. По результатам анализа данных отбора сопряженных образцов почвы и растений за 2022–2024 гг. установлены коэффициенты перехода ^{90}Sr в зерно овса в зависимости от обменной кислотности почв в зависимости от обменной кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы, на кислых почвах коэффициенты составляют 3,97–3,27, на близких к нейтральным и нейтральных 1,04–0,77.

ВЫВОДЫ

Корреляционный анализ показал достаточно тесную отрицательную взаимосвязь (r) между рН ($r = -0,67$), содержанием обменного кальция ($r = -0,69$) и содержанием гумуса ($r = -0,61$) в дерново-подзолистой супесчаной почве и коэффициентами перехода (K_p) ^{90}Sr в зерно овса. Менее значимые связи отмечаются между (K_p) ^{90}Sr и содержанием подвижного калия ($r = -0,46$), фосфора ($r = -0,36$), обменного магния ($r = -0,42$).

В экспериментах увеличение рН почвы на 0,1 единицы в интервале 4,5–6 вызывает снижение накопления ^{90}Sr зерном овса на 15 %, в интервале рН 6–7 темпы снижения поступления ^{90}Sr уменьшаются. Минимальное накопление ^{90}Sr отмечается в интервале обменной кислотности 6,4–6,9 рН. Доля пахотных почв, загрязненных радионуклидами 47 районов Республики Беларусь, в которых можно ожидать минимальные переходы ^{90}Sr в сельскохозяйственные растения (рН более 6,0), составляет 45,5 %. Содержание гумуса, при котором отмечено минимальное накопление ^{90}Sr , находилось в пределах 3,0–3,3 %, наиболее заметное снижение поступления радиостронция наблюдается до 2,7 %. Содержание обменного кальция, при котором отмечено минимальное накопление ^{90}Sr зерном овса, находилось в пределах 930–1033 мг/кг почвы, наиболее заметное снижение поступления радиостронция наблюдалось до 800 мг/кг почвы.

Содержание обменного магния, при котором отмечено минимальное накопление ^{90}Sr зерном овса, находилось в пределах 260–290 мг/кг почвы, наиболее заметное снижение поступления радиостронция наблюдалось до 230 мг/кг почвы. По результатам анализа данных отбора сопряженных образцов почвы и растений за 2022–2024 гг. установлены коэффициенты перехода ^{90}Sr в зерно овса в зависимости от обменной кислотности почв дерново-подзолистой супесчаной почвы, на кислых почвах коэффициенты составляют 3,97–3,27, на близких к нейтральным и нейтральных 1,04–0,77.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, Ю. В. Сравнение известняковых материалов по химической активности взаимодействия с почвой и эффективности снижения поступления ^{90}Sr в растения / Ю. В. Алексеев // Агрохимия. – 1978. – № 2. – С. 133–136.
2. Гулякин, И. В. Сельскохозяйственная радиобиология / И. В. Гулякин, Е. В. Юдинцева. М.: Колос, 1973. – 272 с.
3. Москалев, Ю. И. Распределение, биологическое действие и миграция радиоактивных изотопов / Ю. И. Москалев, В. Н. Стрельцова. М.: Атомиздат, 1961. – 172 с.
4. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь. / под ред. И. М. Богdevича. – Минск.: ИПА, 2003. – 72 с.
5. Почвы Белорусской ССР / Под ред. Т. Н. Кулаковской, П. П. Рогового, Н. И. Смеяна. – Минск.: Ураджай, 1974. – 328 с.
6. Алексахин, Р. М. Поведение ^{137}Cs в системе почва–растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожае / Р. М. Алексахин, И. Т. Моисеев, Ф. А. Тихомиров // Агрохимия. – 1992. – № 8. – С. 127–132.

7. Анненков, Б. Н. Основы сельскохозяйственной радиологии. / Б. Н. Анненков, Е. В. Юдинцева. – М. : Агропромиздат, 1991. – 287 с.
8. Кожевникова, Р. Н. Влияние кальцийсодержащих веществ на поступление стронция-90 в урожай культур из выщелоченного чернозема / Р. Н. Кожевникова, И. Г. Тепляков // Агрохимия. – 1989. – № 2. – С. 91–94.
9. Пристер, Б. С. Эффективность мероприятий, направленных на уменьшение загрязнения продукции растениеводства в районах, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС / Б. С. Пристер, Л. В. Перепелятникова, Г. П. Перепелятников // Проблемы с.-х. радиологии : сб. науч. трудов ; под ред. Н. А. Лощилова. – Киев, 1991. – Вып. 1. – С. 141–153.
10. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / под ред. И. М. Богдевича. – Минск., 2003. – 72 с.
11. Богдевич, И. М. Основы ведения сельского хозяйства / И. М. Богдевич, В. Ю. Агеец, С. К. Фирсакова ; под ред. Е. Ф. Конопки, И. В. Ролевича // Экологические, медико-биологические и социально-экономические последствия катастрофы на ЧАЭС в Беларуси. – Минск, 1996. – С. 52–102.
12. Бондарь, П. Ф. Влияние удобрений и мелиорантов на накопление радиоцезия в урожае овса на производственных почвах / П. Ф. Бондарь, А. И. Дутов // Радиозэкологические и экономико-правовые аспекты землепользования после аварии на Чернобыльской АЭС : материалы науч. конф. / АН УССР. – Киев, 1991. – Ч. 2. – С. 201–204.
13. Общие закономерности загрязнения продукции растениеводства на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС / Бондарь П. Ф. [и др.] // Проблемы сельскохозяйственной радиологии: сб. науч. тр. / Украинский науч.-исслед. ин-т с.-х. радиологии ; под ред. Н. А. Лощилова. – Киев, 1991. – Вып. 1. – С. 88–105.
14. Бондарь, П. Ф. Параметры перехода радиоцезия в урожай овса на производственной почве в зависимости от применения минеральных удобрений и химических мелиорантов / П. Ф. Бондарь, А. И. Дутов // Проблемы сельскохозяйственной радиологии : сб. науч. тр. / Украинский науч.-исслед. ин-т с.-х. радиологии ; под ред. Н. А. Лощилова. – Киев, 1992. – Вып. 2. – С. 125–132.
15. Инструкция определения дополнительной потребности материально-технических ресурсов для сельского хозяйства в зоне радиоактивного загрязнения. – Минск, 1999. – 26 с.
16. Путятин, Ю. В. Регулирование кислотности пахотных почв, загрязненных ^{90}Sr : анализ стоимости предотвращенных доз облучения населения Республики Беларусь / Ю. В. Путятин, О. Б. Адианова // Радиационная биология. Радиозэкология. – 2010. – Т. 50 – № 5. – С. 582–589.
17. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: методические указания / И. М. Богдевич [и др.] ; под ред. И. М. Богдевича. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 48 с.
18. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020 гг.). / под ред. И. М. Богдевич [и др.]. – Минск, 2022. – 276 с.

19. 20 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление : национальный доклад // Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете министров Республики Беларусь ; под ред. В. Е Шевчука, В. Л. Гурачевского. – Минск, 2006. – 112 с.

20. Путятин, Ю. В. Оценка доступности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr сельскохозяйственным растениям в изменяющихся климатических условиях // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 64–72.

21. Смагин, А. И. Экология водоемов зоны техногенной радиационной аномалии на Южном Урале. : Пермь, 2008. – 51 с.

22. Орлов, Д. С. Химия почв / Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова, Н. И. Суханова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. – 561 с.

INFLUENCE OF AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL ON ACCUMULATION OF ^{90}Sr BY OAT GRAIN

Yu. V. Putyatin, I. M. Bogdevitch, I. S. Stanilevich,
E. S. Tretyakov, V. A. Dovnar

Summary

Correlation analysis showed a close negative relationship (r) between pH ($r = -0,67$), the content of exchangeable calcium ($r = -0,69$) and the content of humus ($r = -0,61$) in sod-podzolic sandy loam soil and the coefficients of transition (K_p) ^{90}Sr to oat grain. Less significant relationships are noted between (K_p) ^{90}Sr and the content of mobile potassium ($r = -0,46$), phosphorus ($r = -0,36$), and exchangeable magnesium ($r = -0,42$). The minimum accumulation of ^{90}Sr is observed in the range of exchange acidity of 6,4–6,9 pH. The share of arable soils contaminated with radionuclides in 47 districts of the Republic of Belarus in which minimal ^{90}Sr transfers to agricultural plants (pH more than 6,0) can be expected is 45,5 %. The humus content, at which the minimum accumulation of ^{90}Sr was noted, was in the range of 3,0–3,3 %, the most noticeable decrease in the intake of radiostrontium was observed up to 2,7 %. The content of exchangeable calcium, at which the minimum accumulation of ^{90}Sr by oat grain was noted, was in the range of 930–1033 mg/kg of soil, the most noticeable decrease in radiostrontium intake was observed up to 800 mg/kg of soil. The content of exchangeable magnesium, at which the minimum accumulation of ^{90}Sr by oat grain was noted, was in the range of 260–290 mg/kg of soil, the most noticeable decrease in radiostrontium intake was observed up to 230 mg/kg of soil. Based on the analysis of data on the selection of conjugate soil and plant samples for 2022–2024. The coefficients of the transfer of ^{90}Sr to oat grain have been established depending on the exchangeable acidity of sod-podzolic sandy loam soils, on acidic soils the coefficients are 3,97–3,27, on neutral 1,04–0,77.

Поступила 12.05.25

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕСЕНИЯ МАКРО- И МИКРОУДОБРЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

М. В. Рак, Е. Н. Пукалова, С. Г. Кудласевич, Л. Н. Гук
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных зерновых кормовых культур в Беларуси является ячмень. В структуре посевных площадей зерновых колосовых культур он занимает до 30 %. Озимый ячмень имеет значительные преимущества перед яровым ячменем. Возделываемые на территории Беларуси сорта озимого ячменя имеют многорядный колос, и в большинстве случаев содержат в зерне больше протеина (на 1–2 %), чем яровые двурядные формы. Важной особенностью озимого ячменя является его высокая засухоустойчивость, обусловленная раннеспелостью и эффективным использованием накопившихся в почве в течение зимы запасов влаги. Это позволяет получать относительно высокие урожаи в засушливые годы, а также на легких с неустойчивым водным режимом почвах, характерных для южной части Беларуси. В почвенно-климатических условиях центральной части Республики Беларусь на дерново-подзолистой супесчаной почве при соблюдении всех элементов технологии возделывания озимый ячмень способен формировать урожайность зерна на уровне 58,8–64,7 ц/га [1–5].

Повышение урожайности зерна и улучшение его качества невозможно получить без разработки новых агрохимических приемов в технологии возделывания озимого ячменя. Самым необходимым фактором для получения стабильных урожаев этой культуры являются рациональное применение удобрений и правильный подбор высокозимостойкого сорта. Урожайность сельскохозяйственных культур примерно на 50 % определяется рациональным применением органических и минеральных удобрений. Особенно тесно связано формирование компонентов продуктивности с уровнем азотного питания и влагообеспеченности в критические этапы органогенеза растений. Азотное питание растений, которое обеспечивается за счет использования минерального удобрения, является определяющим фактором в формировании продуктивности сельскохозяйственных культур, а также в повышении качественных показателей урожая зерна [6–9].

Для повышения эффективности макроудобрений в технологии возделывания озимого ячменя большое значение имеет внесение микроэлементов. Потребность растений в микроэлементах увеличивается с уменьшением кислотности почвы, при высоком содержании доступного фосфора и азота в почве, при внесении больших доз фосфорных и азотных удобрений. Особенно это актуально для дерново-подзолистых почв, где потребность растений в микроэлементах и роль сбалансированности минерального питания возрастает в условиях интенсивных технологий, направленных на формирование высокопродуктивных посевов. Поэтому определение роли и места макро- и микроэлементов в минеральном питании озимого ячменя актуально и имеет практическую значимость [10–13].

Цель исследований – установить влияние разных доз и сроков применения азотных, медных, марганцевых и цинковых удобрений на урожайность и качество озимого ячменя на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования с озимым ячменем проводились в 2023–2024 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в ОАО «Гастелловское» Минского района. Агрохимическая характеристика пахотного слоя дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы: pH_{KCl} – 6,4, гумус – 2,3 %, P_2O_5 – 754 мг/кг почвы, K_2O – 364, В – 0,5, Cu – 1,9, Zn – 3,6, Mn обм. – 1,8, S – 4,4 мг/кг почвы.

Опыт с ячменем (сорт Буслик) включал 10 вариантов с применением в некорневую подкормку возрастающих доз и сочетаний меди, марганца и цинка на двух уровнях азотного питания (N_{90} и N_{120}), на фоне внесения фосфорно-калийных удобрений ($\text{P}_{75}\text{K}_{150}$).

Фосфорные и калийные удобрения под озимый ячмень внесены до посева с заделкой под культивацию в форме суперфосфата аммонизированного и хлористого калия. Азотные подкормки проведены в начале возобновления активной вегетации (КАС) и в стадию первого узла (карбамид). На первом уровне (фон 1) дробное внесение азота составило N_{50+40} , на втором уровне (фон 2) – в дозе N_{70+50} . Микроэлементы $\text{Cu}_{0,05}\text{Mn}_{0,05}\text{Zn}_{0,075}$ внесены однократно в стадии первого узла, микроэлементы $\text{Cu}_{0,05}\text{Mn}_{0,05}$ двукратно: в стадию осеннего кущения и в стадии первого узла. Микроэлементы вносили в виде микроудобрений МикроСтим-Медь Л, МикроСтим-Марганец и МикроСтим-Цинк в некорневые подкормки озимого ячменя согласно схеме опыта. Расход рабочего раствора 200 л/га. Общая площадь делянок – 30 м², повторность – 3-кратная. Предшественник – озимый рапс. Норма высева – 4,0 млн всхожих семян на 1 га.

Период исследований 2023–2024 гг. отличался от среднеемноголетних значений по температурному режиму и влагообеспеченности. В вегетационный период 2023 г. ГТК в весенне-летний период вегетации озимого ячменя составил 1,5, при среднеемноголетних показателях ГТК – 1,9. Весна оказалась засушливой и формирование урожайности ячменя проходило в условиях жаркой и сухой погоды. Гидротермический коэффициент в мае составил 0,2, при среднеемноголетней норме – 1,8, в июне – 0,8, при среднеемноголетней норме – 1,4 соответственно. При этом в июле количество выпавших осадков составило 153,6 % от среднеемноголетнего показателя. В вегетационный период 2024 г. растения озимого ячменя развивались в условиях избыточного увлажнения на фоне повышенных температур. ГТК в весенне-летний период вегетации озимого ячменя составил 2,4, при среднеемноголетних показателях ГТК – 1,8. Возобновление весенней вегетации 2024 г. происходило в условиях избыточного увлажнения. В апреле сумма осадков за месяц на 157,6 % превысила среднеемноголетний показатель. Дальнейшее формирование урожайности ячменя проходило в условиях жаркой и умеренно влажной погоды. Гидротермический коэффициент в мае составил 1,4, при среднеемноголетней норме – 1,8, в июне – 1,5, при среднеемноголетней норме – 1,4 соответственно. В последний месяц вегетации (июль) сумма осадков составила 172,3 % от среднеемноголетнего показателя, при отклонении температуры на 1,1 °C выше нормы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что урожайность и качество озимого ячменя зависели от системы применения удобрений. При этом подкормки озимого ячменя азотными удобрениями обеспечили прибавку урожайности зерна на уровне 56,4–68,9 %, некорневые подкормки медными, марганцевыми и цинковыми удобрениями повышали урожайность зерна на 7,7–12,0 %.

Так, при возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в среднем за два года, в варианте без внесения удобрений, получена урожайность зерна 23,5 ц/га, при внесении фосфорно-калийных удобрений в дозе $P_{35}K_{90}$ – 36,0 ц/га. Применение фосфорно-калийных удобрений в сочетании с азотной подкормкой в дозе N_{90} (N_{50+40}) обеспечило урожайность зерна на уровне 56,3 ц/га, при повышении уровня азотного питания до N_{120} (N_{70+50}) – 60,8 ц/га. Применение азотных подкормок на фоне $P_{35}K_{90}$ обеспечивало повышение урожайности зерна на 20,3 и 24,8 ц/га (56,4 и 68,9 %), сбор белка – на 2,1 и 2,8 ц/га. С повышением дозы азотных удобрений с N_{90} до N_{120} , урожайность зерна увеличилась на 4,5 ц/га (рис.1, табл.1).

Некорневые подкормки озимого ячменя микроудобрениями МикроСтим на фоне минерального питания $N_{90}P_{35}K_{90}$ достоверно повышали урожайность зерна на 5,7–6,8 ц/га (10,1–12,0 %), на фоне $N_{120}P_{35}K_{90}$ – на 4,7–6,1 ц/га (7,7–10,0 %).

Внесение азотных удобрений способствовало повышению содержания белка в зерне ячменя на 0,9–1,4 %, сбор белка – на 2,1–2,8 ц/га. Увеличение дозы азотных удобрений с N_{90} до N_{120} , на фоне $P_{35}K_{90}$, повышало содержание белка в зерне ячменя на 0,5 %, сбор белка – на 0,7 ц/га. Внесение микроудобрений увеличивало содержание белка в зерне ячменя на 0,3–0,7 %, сбор белка – на 0,6–1,0 ц/га.

При оценке эффективности применения минеральных удобрений 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.

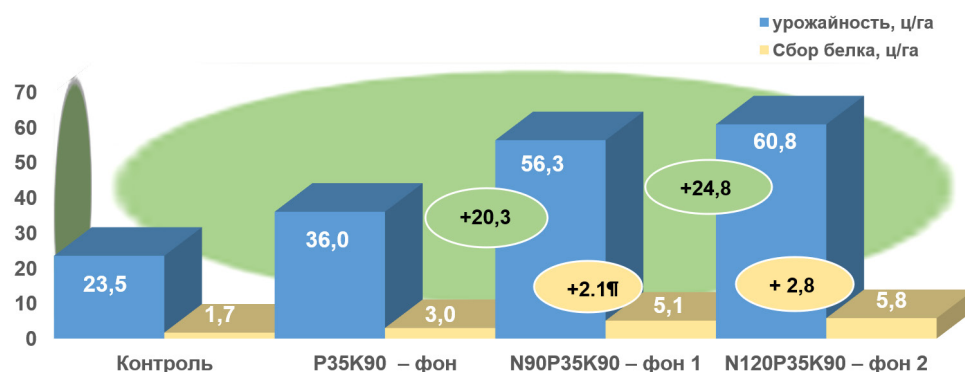


Рис. 1. Влияние азотных удобрений на урожайность и сбор белка зерна озимого ячменя

Таблица 1

Влияние макро- и микроудобрений на урожайность и качество озимого ячменя

Вариант	Урожайность зерна, ц/га			Прибавка к фону 1,2, ц/га	Среднее 2023–2024 гг.	
	2023 г.	2024 г.	средняя		содержание белка, %	сбор белка, ц/га
Вариант без удобрений	25,0	22,1	23,5	–	8,2	1,7
P ₃₅ K ₉₀ – фон	38,0	34,0	36,0	–	9,6	3,0
N ₉₀ P ₃₅ K ₉₀ – фон 1	60,0	52,7	56,3	–	10,5	5,1
Фон 1 + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	65,6	58,4	62,0	5,7	10,8	5,8
Фон 1 + Cu _{0,05} Mn _{0,05} Zn _{0,075}	64,8	59,5	62,1	5,8	11,0	5,9
Фон 1 + Cu _{0,05} Mn _{0,05} + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	67,0	59,2	63,1	6,8	11,2	6,1
N ₁₂₀ P ₃₅ K ₉₀ – фон 2	63,3	58,4	60,8	–	11,0	5,8
Фон 2 + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	67,6	63,4	65,5	5,5	11,5	6,5
Фон 2 + Cu _{0,05} Mn _{0,05} Zn _{0,075}	66,6	64,5	65,5	4,7	11,3	6,4
Фон 2 + Cu _{0,05} Mn _{0,05} + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	69,7	64,2	66,9	6,1	11,7	6,8
HCP ₀₅	3,0	2,5	2,6	–	–	0,63

Содержание элементов минерального питания в основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур определяется прежде всего их видовыми особенностями, но зависит также от сорта и условий выращивания. 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: N > P > K > Mg > S > Ca, в соломе – K > N > Mg > Ca > S > P. Так, содержание азота и фосфора значительно выше в хозяйственной части урожая – в зерне, чем в соломе. Калия больше содержится в соломе, чем в товарной части урожая. Из микроэлементов в зерне больше цинка, в соломе – марганца (рис. 2, табл. 2).

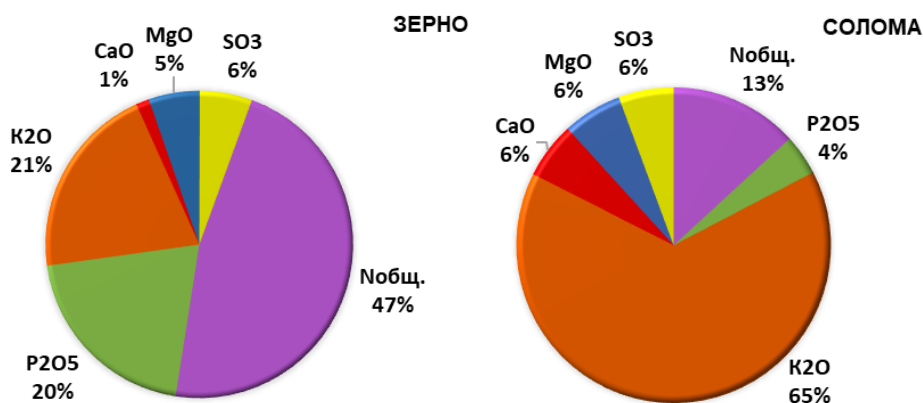


Рис. 2. Соотношение элементов питания в зерне и соломе озимого ячменя

В результате исследований установлено, что повышение уровня азотного питания с 90 кг/га до 120 кг/га увеличивало содержание азота в растениях ячменя с 1,64 до 1,78 %. На фоне внесения минеральных удобрений $N_{120}P_{75}K_{150}$ содержание азота, фосфора и калия в зерне и соломе ячменя выше, чем на фоне $N_{90}P_{75}K_{150}$. Некорневые подкормки растений озимого ячменя медью, марганцем и цинком также повышали содержание микроэлементов в продукции в сравнении с фоновыми вариантами.

Таблица 2

**Содержания макро- и микроэлементов в зерне и соломе озимого ячменя
(среднее 2023–2024 гг.)**

Варианты	$N_{\text{общ.}}$	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	SO_3	Cu	Zn	Mn
	% сухой массы						мг/кг сухой массы		
Вариант без удобрений	<u>1,48</u> 0,36	<u>0,67</u> 0,10	<u>0,69</u> 1,86	<u>0,04</u> 0,18	<u>0,19</u> 0,22	<u>0,16</u> 0,19	<u>1,8</u> 1,5	<u>8,4</u> 4,9	<u>6,6</u> 9,8
$P_{35}K_{90}$ – фон	<u>1,54</u> 0,37	<u>0,69</u> 0,11	<u>0,74</u> 2,02	<u>0,05</u> 0,18	<u>0,19</u> 0,22	<u>0,20</u> 0,18	<u>1,8</u> 1,5	<u>8,7</u> 5,3	<u>7,0</u> 10,3
$N_{90}P_{35}K_{90}$ – фон 1	<u>1,59</u> 0,40	<u>0,67</u> 0,12	<u>0,71</u> 2,11	<u>0,05</u> 0,19	<u>0,19</u> 0,19	<u>0,19</u> 0,20	<u>1,9</u> 1,6	<u>8,9</u> 5,5	<u>7,2</u> 10,5
Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	<u>1,67</u> 0,41	<u>0,70</u> 0,14	<u>0,74</u> 2,26	<u>0,05</u> 0,19	<u>0,19</u> 0,20	<u>0,19</u> 0,22	<u>2,0</u> 1,8	<u>9,2</u> 5,7	<u>7,6</u> 10,9
Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}Zn_{0,075}$	<u>1,66</u> 0,43	<u>0,72</u> 0,13	<u>0,72</u> 2,19	<u>0,04</u> 0,21	<u>0,19</u> 0,20	<u>0,21</u> 0,19	<u>2,4</u> 2,0	<u>9,8</u> 5,9	<u>7,5</u> 11,0
Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05} + Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	<u>1,72</u> 0,44	<u>0,79</u> 0,13	<u>0,72</u> 2,16	<u>0,07</u> 0,19	<u>0,19</u> 0,20	<u>0,17</u> 0,18	<u>2,1</u> 2,0	<u>10,4</u> 6,2	<u>8,0</u> 11,3
$N_{120}P_{35}K_{90}$ – фон 2	<u>1,70</u> 0,45	<u>0,72</u> 0,15	<u>0,71</u> 2,16	<u>0,05</u> 0,18	<u>0,19</u> 0,19	<u>0,21</u> 0,19	<u>2,1</u> 1,9	<u>9,4</u> 5,8	<u>7,7</u> 11,3
Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	<u>1,73</u> 0,47	<u>0,72</u> 0,17	<u>0,73</u> 2,17	<u>0,05</u> 0,19	<u>0,19</u> 0,19	<u>0,22</u> 0,18	<u>2,2</u> 2,0	<u>10,2</u> 6,4	<u>7,8</u> 11,8
Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}Zn_{0,075}$	<u>1,73</u> 0,47	<u>0,74</u> 0,15	<u>0,75</u> 2,27	<u>0,05</u> 0,21	<u>0,19</u> 0,20	<u>0,21</u> 0,17	<u>2,5</u> 2,2	<u>10,6</u> 6,6	<u>8,0</u> 12,0
Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05} + Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	<u>1,80</u> 0,55	<u>0,78</u> 0,17	<u>0,75</u> 2,25	<u>0,04</u> 0,19	<u>0,20</u> 0,20	<u>0,19</u> 0,17	<u>2,2</u> 2,1	<u>10,8</u> 6,7	<u>9,1</u> 12,2

*содержание элементов: над чертой – в зерне, под чертой – в соломе.

Так, при возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, в среднем за два года в зерне и соломе ячменя в контроле содержалось 1,48 % азота, 0,67 % фосфора, 0,69 % калия, 0,04 % кальция, 0,19 % магния, 0,16 % серы и 0,36 % азота, 0,10 % фосфора, 1,86 % калия, 0,18 % кальция, 0,22 % магния, 0,19 % серы соответственно.

На первом уровне минерального питания ($N_{90}P_{35}K_{90}$) концентрация азота в зерне и соломе ячменя составила 1,59 % и 0,40 %, фосфора – 0,67 % и 0,12 %, калия – 0,71 % и 2,11 % соответственно. На втором уровне минерального питания ($N_{120}P_{35}K_{90}$) отмечается тенденция к повышению содержания основных элементов питания в зерне и соломе озимого ячменя. Так, концентрация азота в зерне и соломе ячменя составила 1,70 % и 0,45 %, фосфора – 0,72 % и 0,15 %, калия – 0,71 % и 2,16 % соответственно. Существенного изменения кальция, магния и серы по вариантам опыта не отмечается.

В среднем за два года в зерне и соломе озимого ячменя в фоновых вариантах содержалось: 1,9–2,1 мг/кг меди, 8,9–9,4 мг/кг цинка, 7,2–7,7 мг/кг марганца и 1,6–1,9 мг/кг меди, 5,5–5,8 мг/кг цинка, 10,5–11,3 мг/кг марганца соответственно. Под влиянием некорневых подкормок ячменя медью содержание элемента в зерне увеличивалось до 2,4–2,5 мг/кг, в соломе – до 2,0–2,2 мг/кг сухой массы. Применение цинковых удобрений повышало содержание цинка в зерне до 10,4–10,8 мг/кг, в соломе – до 6,2–6,7 мг/кг сухой массы. Некорневое внесение марганца в подкормку ячменя способствовало увеличению его содержания в зерне до 8,0–9,1 мг/кг, в соломе – до 11,3–12,2 мг/кг сухой массы.

При оценке хозяйственного выноса отмечено, что за свой короткий период вегетации озимый ячмень усваивал в большей мере азот и калий и в сравнительно меньшей – фосфор, магний, серу и кальций. С урожаем озимого ячменя в среднем потребление азота в 2,5 раза, а калия в 4,7 раза больше, чем фосфора. Из микроэлементов с урожаем ячменя марганца выносятся в 1,3 раза больше, чем цинка и в 5,0 раз больше, чем меди. На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, с повышением уровня минерального питания наряду с увеличением урожайности ячменя вынос азота увеличился на 25,4 кг/га, калия – на 31,6 кг/га, фосфора – на 9,8 кг/га (табл. 3).

Таблица 3

Общий вынос элементов питания озимым ячменем (среднее 2023–2024 гг.)

Вариант	Урожайность, ц/га		N _{общ.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	Cu	Zn	Mn
	зерно	солома	кг						г		
N ₉₀ P ₃₅ K ₉₀ – фон 1	56,3	107,2	113,0	43,2	224,4	19,5	26,3	27,2	24,5	92,6	129,4
N ₉₀ P ₃₅ K ₉₀ + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	62,0	112,6	127,8	50,6	253,5	20,6	29,0	30,9	27,7	103,0	143,6
N ₉₀ P ₃₅ K ₉₀ + Cu _{0,05} Mn _{0,05} Zn _{0,075}	62,1	110,6	128,6	50,5	241,7	21,6	28,7	28,9	31,4	107,2	143,9
N ₉₀ P ₃₅ K ₉₀ + Cu _{0,05} Mn _{0,05} + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	63,1	113,0	135,1	55,2	244,1	21,8	29,3	26,9	30,4	115,3	150,7
В среднем фон 1			123,1	48,1	239,9	20,6	28,0	29,0	27,9	100,9	139,0
N ₁₂₀ P ₃₅ K ₉₀ – фон 2	60,8	121,2	134,7	52,9	256,5	20,9	29,3	30,3	30,3	108,2	155,3
N ₁₂₀ P ₃₅ K ₉₀ + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	65,5	125,6	151,3	58,5	269,5	22,9	31,8	31,4	33,5	125,0	169,0
N ₁₂₀ P ₃₅ K ₉₀ + Cu _{0,05} Mn _{0,05} Zn _{0,075}	65,5	124,2	146,5	57,3	278,8	24,7	31,6	29,6	37,0	128,6	170,3
N ₁₂₀ P ₃₅ K ₉₀ + Cu _{0,05} Mn _{0,05} + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	66,9	126,0	161,8	62,9	281,3	22,4	33,7	28,9	34,9	134,2	176,3
В среднем фон 2			148,5	57,9	271,5	22,7	31,6	30,0	33,9	124,0	167,7
В среднем общий			137,4	53,9	256,2	21,8	30,0	29,3	31,2	114,3	154,8

ВЫВОДЫ

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве двукратная азотная подкормка озимого ячменя в дозах N_{50+40} и N_{70+50} на фоне внесения фосфорно-калийных удобрений ($P_{35}K_{90}$) обеспечила повышение урожайности зерна на 20,3 и 24,8 ц/га, содержание белка – на 0,5 и 1,3 %, сбор белка – на 2,1 и 2,8 ц/га при урожайности 56,3 и 60,8 ц/га соответственно. Эффективным приемом повышения урожайности озимого ячменя является некорневая подкормка растений медными и марганцевыми удобрениями, обеспечивающая прибавку урожайности зерна 4,7–6,8 ц/га.

В зерне озимого ячменя накапливается больше азота, фосфора и цинка, в соломе – калия и марганца. На фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{35}K_{90}$ содержание азота, фосфора, калия, цинка и марганца в зерне и соломе ячменя выше, чем на фоне – $N_{90}P_{35}K_{90}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Седукова, Г. В. Влияние элементов питания на урожайность озимого ячменя при разных системах удобрения / Г. В. Седукова, А. А. Зубкович, С. А. Исаченко // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2020. – № 56. – С. 174–180.
2. Урбан, Э. П. Состояние селекции зерновых, зернобобовых культур в Республике Беларусь / Э. П. Урбан // Земледелие и растениеводство – 2016. – № 2. – С. 7–10.
3. Привалов, Ф. И. Урожайность озимого ячменя и динамика формирования ее структурных компонентов / Ф. И. Привалов, В. В. Холодинский, И. С. Акулич // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2015. – № 51. – С. 117–123.
4. Булавин, Л. А. Основные факторы, определяющие перезимовку и продуктивность озимого ячменя в условиях Беларуси / Л. А. Булавин, Т. М. Булавина, И. И. Яцкевич [и др.] // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. тр. / УО «Гродненский государственный аграрный университет». – Гродно : ГГАУ, 2012. – Т. 16: Агрономия. – С. 32–43.
5. Сенченко, В. Г. Озимый ячмень в Беларуси / В. Г. Сенченко, И. И. Яцкевич // Белорусское сельское хозяйство. – 2009. – № 8. – С. 8–10
6. Семененко, Н. Н. Адаптивные системы применения азотных удобрений / Н. Н. Семененко. – Минск: Бел. изд. товарищество «Хата», 2003. – 163 с.
7. Ерешко, А. С. Озимый ячмень: сорт, удобрение, урожай : монография / А. С. Ерешко, В. Б. Хронюк, Р. Г. Бершанский, С. В. Татаркин-Зерноград : ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2013. – 134 с.
8. Коростылев, М. Н. Оптимизация азотного питания озимого ячменя в зоне неустойчивого увлажнения / М. Н. Коростылев, А. Н. Есаулко // Агрохимический вестник. – 2009. – С. 26–27.
9. Научные системы ведения сельского хозяйства Республики Беларусь / В. Г. Гусаков, В. И. Бельский, И. И. Крупко [и др.]; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред) [и др.] / Нац. акад. наук Беларуси, МСХП Респ. Беларусь. – Минск : Беларуская навука, 2020. – 683 с.
10. Рак, М. В. Жидкие комплексные микроудобрения МикроСтим в технологии возделывания сельскохозяйственных культур / М. В. Рак // Земледелие и защита растений. – 2018. – Прил. к журналу № 2 (117). – С. 53.
11. Эффективность микроудобрений при возделывании ярового ячменя на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве / М. В. Рак,

Е. Н. Пукалова, Н. С. Гузова, [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1 – С. 112–118.

12. Шпока, Е. И. Влияние комплексного применения макро- и микроудобрений на урожайность и вынос элементов питания ячменем при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве / Е. И. Шпока // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 128–134.

13. Бугаевский, В. К. Применение микроэлементов для питания и защиты озимых колосовых культур / В. К. Бугаевский [и др.] // Земледелие. – 2005. – № 6. – С. 31–32.

EFFICIENCY OF MACRO- AND MICRO-FERTILIZATION IN TECHNOLOGY OF WINTER BARLEY CULTIVATION ON SOD-PODZOLIC LIGHTLY CARBONACEOUS SOIL

М. V. Rak, E. N. Pukalova, S. G. Kudlasevich, L. N. Guk

Summary

The article presents the results of studies on the effect of macro- and micro-fertilizers on the yield and quality of grain when cultivating winter barley on sod-podzolic lightly loamy soil. It has been established that an effective technique for increasing winter barley yield of winter barley is feeding plants with nitrogen, copper and manganese against the background of the application of phosphorus-potassium fertilizers.

Поступила 14.05.25

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ОБРАБОТКИ И СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ

**Е. Н. Богатырева¹, Т. М. Серая¹, О. М. Бирюкова²,
Т. М. Кирдун¹, Ю. А. Симанкова¹**

¹Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

²Лицей им. Ф. Э. Дзержинского БГУ, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим компонентом любой агроэкосистемы являются почвенные микроорганизмы, которые осуществляют множество биологических процессов в почве, в том числе определяя направленность и интенсивность трансформации соединений углерода и азота, принимают главное участие в разложении органических остатков, изменении химических свойств и преобразовании минерального состава почвы, что, в конечном итоге, влияет на характер питания растений в процессе онтогенеза.

В этой связи стратегия управления микробными сообществами почвы является одним из перспективных путей повышения почвенного плодородия в условиях рационального ведения сельскохозяйственного производства, особенно экологически безопасного земледелия [1–3]. Основным способом управления функциями почвенного микробиома является изменение условий обитания микроорганизмов – это внесение органических и минеральных удобрений, приемы обработки почвы, севообороты и т. д.

Применяемые агротехнологии оказывают разнонаправленное влияние на состояние микробного сообщества почвы и функциональную активность разных групп почвенных микроорганизмов. За последние 20 лет российскими учеными проведено достаточно много научных исследований по изучению численности и таксономической структуры микробных систем в почвах, различающихся по химическому, физическому и гранулометрическому составам, биоклиматическим факторам, а также в зависимости от антропогенной нагрузки при возделывании сельскохозяйственных культур, по изменению их динамики в различных диапазонах времени [4–18].

В Республике Беларусь в 70–90-х гг. прошлого столетия изучением закономерностей формирования микробного сообщества и установлением его взаимосвязи с функционированием почв занимались Л. А. Карягина с соавторами [19–21] и другие ученые [22–24]. За истекший период в нашей стране изменились не только физико-химические показатели почв, но и агротехника возделывания культур, что, в свою очередь, влияет на деятельность почвенных микроорганизмов. Тем не менее, исследований по данной тематике недостаточно, можно выделить лишь следующие работы в этом направлении [25–28], что и актуализировало проведение данной работы.

Цель исследований – изучение численности основных физиологических групп микроорганизмов в разных слоях дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от приемов основной обработки и систем удобрения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнены в полевом опыте с озимой пшеницей, заложенном на опытном поле Института, расположенном в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области на дерново-подзолистой супесчаной, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 80 см моренным суглинком, почве [29]. В опыте изучали три фактора: фактор А – приемы основной обработки почвы (вспашка на глубину 20–22 см и дискование на глубину 10–12 см); фактор В – системы удобрения; фактор С – глубина отбора почвенных образцов. Схема опыта представлена в таблице 1.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя перед закладкой опыта: pH_{KCl} – 5,58, содержание гумуса – 1,98 %, подвижных форм фосфора – 161 мг/кг и калия – 179 мг/кг, обменных соединений CaO – 1000 мг/кг и MgO – 164 мг/кг почвы.

Предшественник озимой пшеницы – горохо-овсяная смесь на зерно, урожайность соломы в среднем составила 3,0 т/га. После уборки солому измельчали и равномерно распределяли по делянкам; затем вносили удобрение микробиологическое «Жыцень» в дозе 3 л/га или компенсирующую дозу азота в виде КАС (N_{20}) и задисковывали. Через две недели в 1-м блоке проводили вспашку, во 2-м – дискование в один след. Удобрение микробиологическое «Жыцень» – целлюлозоразлагающее удобрение с содержанием *Pseudomonas* sp.–11 – не менее 1×10^9 КОЕ/см³; *Bacillus* sp.–49, не менее 1×10^9 КОЕ/см³. Примененный в опыте подстилочный навоз имел следующие показатели (в расчете на естественную влажность): органическое вещество – 17 %, N – 0,60 %, P_2O_5 – 0,34 %, K_2O – 0,75 %, pH_{KCl} – 8,74, влажность – 73 %. Фосфорные и калийные удобрения в виде аммонизированного суперфосфата и хлористого калия внесены под основную обработку почвы, азотные – в три подкормки: в начале ранневесенней вегетации (КАС), в фазы первый узел и флаг-лист (карбамид) из расчета $N_{70+40+40}$. В варианте с внесением 40 т/га подстилочного навоза КРС дозы внесения азота в первые две подкормки были на 10 кг/га ниже и составили $N_{60+30+40}$.

В течение вегетации озимой пшеницы поделочно отбирали почвенные образцы: весной в фазе кущения (главный побег и 2 побега кущения) (1-й отбор), в фазы выхода флаг-листа перед подкормкой азотными удобрениями посевов (2-й отбор) и созревания (перед уборкой) (3-й отбор)

В почвенных образцах основные агрохимические показатели определены по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); обменная кислотность pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85); подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91), обменные кальций и магний в 1 М KCl-вытяжке с определением на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS-30 (ГОСТ 26487-85).

Химический анализ подстилочного навоза КРС выполнен в соответствии с Государственными отраслевыми стандартами: определение влаги и сухого остатка – путем высушивания образцов до постоянной массы (ГОСТ 26713-85), органического вещества – по ГОСТ 27980-88, pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 27979-88), общего азота – методом Кьельдаля (ГОСТ 26715-85), общего фосфора – фотометрическим методом (ГОСТ 26717-85), общего калия – пламенно-фотометрическим методом (ГОСТ 26718-85).

Таблица 1

Численность аммонифицирующих, амилалитических и целлюлозолитических микроорганизмов в дерново-подзолистой супесчаной почве

Вариант	Глубина отбора, см	Численность микроорганизмов, тыс. КОЕ/г абс. сух. почвы								
		Аммонифицирующих			Амилолитических			Целлюлозолитических		
		Отбор								
		1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й
Вспашка										
Без удобрений (контроль 1)	0–10	420	263	420	1155	1076	998	158	184	139
	10–20	578	394	473	971	893	683	142	158	105
N ₇₀₊₄₀₊₄₀ P ₆₅ K ₁₁₅ – фон	0–10	840	1129	1313	2126	4515	3019	236	394	223
	10–20	1155	2363	1575	2153	3990	3124	210	289	184
ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₃₀₊₄₀ P ₄₀ K ₃₅	0–10	2599	1103	1916	4673	3859	2310	394	499	171
	10–20	3990	2074	2520	4121	3308	2783	315	368	210
Фон + солома, 3 т/га	0–10	1733	1890	2021	2048	2468	1995	368	420	236
	10–20	1838	2520	1759	1969	2363	1811	289	315	263
Фон + солома + Жыцень, 3 л/га	0–10	1549	945	1234	1995	1496	1391	446	525	210
	10–20	2363	1365	1759	2468	1339	1260	341	394	252
Фон + солома + N ₂₀ (КАС)	0–10	1759	1339	1260	1890	1680	1470	420	473	257
	10–20	1864	1601	1575	1916	1706	1260	315	368	263
Дискование										
Без удобрений (контроль 2)	0–10	630	158	184	1575	893	840	210	236	105
	10–20	525	499	578	709	735	971	131	140	131
N ₇₀₊₄₀₊₄₀ P ₆₅ K ₁₁₅ – фон	0–10	1365	1339	1470	3518	2835	4200	323	473	236
	10–20	1050	1286	1391	1575	1916	2494	184	210	194
ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₃₀₊₄₀ P ₄₀ K ₃₅	0–10	2880	788	1208	5115	2625	3531	480	578	184
	10–20	1150	1418	1549	1617	2100	2835	200	202	210
Фон + солома, 3 т/га	0–10	1155	945	1208	2021	1549	1733	420	512	263
	10–20	998	1523	1496	1523	2520	2940	168	231	263
Фон + солома + Жыцень, 3 л/га	0–10	1313	788	1365	2363	1496	2048	525	656	210
	10–20	1155	1365	1523	1733	1916	2678	159	158	197
Фон + солома + N ₂₀ (КАС)	0–10	1575	1234	1181	2074	1785	2100	473	551	263
	10–20	1103	1313	1339	1418	2021	2573	137	184	236

Численность функциональных групп микроорганизмов учитывали методом посева последовательных разведений почвенной суспензии на соответствующие твердые питательные среды: аммонифицирующих – на мясо-пептонном агаре (МПА), амилалитических – на крахмало-аммиачном агаре (КАА), целлюлозоли- тических – на агаре Гетчинсона-Клейтона (АГК), актиномицетов – на агаре Гаузе №1 (АГ-1), олигонитрофилов – на агаре Эшби (АЭ), олигокарбофилов – на водном агаре по Эрскову (голодный агар – ГА), автохтонную группу микроорганизмов – на нитритном агаре по Теппер (НА) в соответствии с [30].

Для выявления зависимостей между урожайностью озимой пшеницы и чис- ленностью изучаемых физиологических групп микроорганизмов проведен пар- ный корреляционно-регрессионный анализ согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова с использованием соответствующих программ пакета MSExcel [31].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что численность всех определяемых в опыте физиологических групп микроорганизмов в значительной степени зависит от приемов обработки почвы и применяемых систем удобрения. Так, по вспашке в слое 10–20 см супесчаной почвы в период исследований численность аммо- нификаторов, использующих азот органических соединений, была заметно выше, чем в слое 0–10 см: в среднем по удобренным вариантам весной в фазе кущения озимой пшеницы превышение составило 32 %, выхода флаг-листа – 55 %, созрева- ния – 19 % (табл. 1). В то же время учет числа амилалитических микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, показал, что на протяжении всего срока наблюдений при отвальной обработке почвы между изучаемыми слоями в целом установлены небольшие различия, которые зависели от вносимых удобрений.

В блоке с дискованием при 1-м отборе почвенных проб в нижнем слое по сравнению с верхним, наоборот, наблюдалось снижение численности этих групп микроорганизмов по вариантам опыта: аммонификаторов – на 12–60 % (в вари- антах с внесением удобрений в среднем на 34 %), амилалитиков – на 25–68 % (в среднем на 48 %). В последующий срок отбора в вариантах с применением только минеральных удобрений и обработкой соломы КАС разницы в количестве аммонификаторов между слоями не обнаружено, при заделке подстилочного навоза, необработанной соломы и ее обработке удобрением Жыцень прослежи- валось заметное увеличение количества аммонификаторов в слое 10–20 см на 61–80 %, в варианте без удобрений – в 3,2 раза. Дифференциация почвенных слоев по амилалитическим микроорганизмам в этот срок, как в случае и с аммо- нификаторами, также зависела от вносимых удобрений: в вариантах с заделкой соломы их в нижнем слое было на 13–63 % больше, чем в верхнем; в остальных вариантах, наоборот, меньше на 18–32 %.

Перед уборкой урожая в удобренных вариантах при поверхностной обработке почвы отмечено относительное выравнивание численности аммонификаторов меж- ду слоями (их количество в нижнем слое было в среднем только на 13 % выше, чем в верхнем). Количество иммобилизаторов азота (на КАА) в слое 10–20 см к фазе созревания значительно возросло (на 23–70 %) по сравнению со слоем 0–10 см (исключение органоминеральная система удобрения с внесением навоза и мине- ральная система удобрения, в которых наблюдались более низкие показатели).

Распределение целлюлозолитических микроорганизмов при обоих способах обработки свидетельствовало о сокращении их численности в слое 10–20 см по сравнению со слоем 0–10 см при первых двух отборах: по вспашке – в среднем по блоку на 20–24 % при более ярко выраженном снижении по дискованию – на 60–63 %.

К фазе созревания в блоке со вспашкой в неудобренном варианте и при внесении $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$ количество целлюлолитиков в нижнем слое также было меньше на 18–25 %, в вариантах с подстилочным навозом КРС, запашкой «чистой» соломы и при ее обработке удобрением Жыцень – на 11–23 % больше, чем в верхнем слое, в варианте с внесением КАС – разницы не наблюдалось. При поверхностной обработке почвы в этот период в изучаемых слоях отмечалась их стабилизация на одинаковом уровне.

В течение всего срока наблюдений численность автохтонных микроорганизмов, способных усваивать гумусовые компоненты почвы, в супесчаной почве по вспашке в слое 10–20 см была заметно ниже, чем в слое 0–10 см: в среднем по вариантам с внесением удобрений снижение составило 28–44 % (табл. 2). В блоке с дискованием в один след в качестве основной обработки почвы при 1-м отборе почвенных образцов для микроорганизмов-деструкторов гумуса в нижнем слое также характерно уменьшение численности в среднем на 49 % (кроме варианта, где по соломе применяли КАС – разницы не наблюдалось), в остальные сроки отбора – различия между слоями зависели от вносимых удобрений, четких закономерностей не установлено. Однако в целом полученные по дискованию усредненные данные показали, что количество автохтонов в удобренных вариантах на протяжении всего времени исследования в слое 10–20 см, точно также как и по вспашке, было меньше, чем в слое 0–10 см: весной в фазе кущения – на 44 %, к фазам выхода флаг-листа и созревания – на 13–20 %.

Актиномицеты представляют собой сообщество мицелиальных бактерий, которые принимают непосредственное участие в трансформации всевозможных компонентов органического вещества почвы и продуцировании пигментов гумиподобного типа. При традиционной обработке почвы по актиномицетам в варианте без удобрений также зафиксировано их меньшее число в нижнем слое на протяжении всего периода исследований, как и для автохтонов. В удобренных вариантах в начале вегетации снижение численности в слое 10–20 см по сравнению со слоем 0–10 см составило 39–44 %.

К фазе выхода флаг-листа более низкое содержание актиномицетов в нижнем слое сохранялась только при минеральной системе удобрения и в варианте с внесением подстилочного навоза КРС; при запашке соломы их количество в слое 10–20 см превышало численность в слое 0–10 см на 9–26 %. Перед уборкой меньшие значения по численности актиномицетов в удобренных вариантах соответствовали верхнему 10-сантиметровому слою, количество в слое 10–20 см на 50–76 % было выше. Следует отметить вариант с применением 40 т/га подстилочного навоза КРС, в котором весной в фазе кущения и в предуборочный период наблюдалось более равномерное их распределение по всему пахотному слою (0–20 см).

В целом, по усредненным данным при обоих способах обработки почвы в начале и середине вегетации озимой пшеницы на фоне применяемых систем удобрений актиномицеты менее активно развивались в слое 10–20 см, их количество на 16–53 % было меньше, чем в слое 0–10 см; к фазе созревания развитие этой группы микроорганизмов, наоборот, в нижнем слое протекало более интенсивно – превышение относительно верхнего слоя составило 16–48 %.

Таблица 2

**Численность актиномицетов, автохтонных, олигокарбофильных и олигонитрофильных микроорганизмов
в дерново-подзолистой супесчаной почве**

Вариант	Глу- бина отбо- ра, см	Численность микроорганизмов, тыс. КОЕ/г абс. сух. почвы											
		актиномицеты			автохтонные			олигокарбофилы			олигонитрофилы		
		отбор											
		1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й
Вспашка													
Без удобрений (контроль 1)	0–10	1680	1181	2704	1391	1260	945	1496	840	1706	1234	1260	1076
	10–20	998	866	2100	683	866	525	1234	683	2783	1916	1129	998
	0–10	6300	3990	4515	2888	4725	1418	2678	2520	4069	3019	2126	2520
	10–20	3518	1470	7245	1706	2573	1103	4384	919	5906	4607	2310	5053
ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₃₀₊₄₀ P ₄₀ K ₃₅	0–10	3439	2415	6431	2363	3728	1313	3518	2625	4515	2546	2310	3255
	10–20	3465	1654	6851	2363	2730	919	5880	971	5171	4909	2494	5355
Фон + солома, 3 т/га	0–10	4699	1943	5329	2783	3911	1890	2835	2678	7009	2048	2126	4200
	10–20	2888	2441	9371	1549	2126	1181	5145	1391	7429	4305	3019	4279
Фон + солома + Жыцень, 3 л/га	0–10	5066	1706	5828	1313	1575	2100	3150	2310	7613	1444	2126	2310
	10–20	3360	1864	9214	1155	1470	1050	4856	1470	7061	2205	1234	2363
Фон + солома + N _{20(КАС)}	0–10	5408	1943	6169	2415	2783	2678	2205	1628	7298	1181	2520	4449
	10–20	3518	2284	9266	1706	2205	1050	4699	1234	7455	3783	1523	4778
Дискование													
Без удобрений (контроль 2)	0–10	1496	814	1733	1339	919	630	1838	1181	2021	1129	945	1995
	10–20	1418	578	2231	656	893	709	1365	709	2231	1943	1076	1129
	0–10	5959	1890	6379	3281	4279	1785	2153	1995	3203	3413	3885	4358
	10–20	1903	1575	7455	1601	2573	1234	4646	1365	5499	3714	1916	2231
ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₃₀₊₄₀ P ₄₀ K ₃₅	0–10	3400	1943	7823	3471	2205	1916	2675	1549	2993	3315	2651	3806
	10–20	1915	1706	6799	1650	2468	1523	5980	1575	4909	3688	3216	3649
Фон + солома, 3 т/га	0–10	3176	1995	6221	3570	3701	1444	2625	1286	3413	5801	2415	3071
	10–20	2244	1864	8400	1680	2179	1418	5513	1496	5460	3386	2048	4541
Фон + солома + Жыцень, 3 л/га	0–10	3150	1680	6773	3045	1234	1391	2415	1496	2258	5040	1444	1654
	10–20	1811	1418	8190	1785	2205	1339	5985	1391	5906	3701	2559	3701
Фон + солома + N _{20(КАС)}	0–10	4594	1916	6694	1969	2021	2389	1943	1496	3150	5919	2441	2940
	10–20	1733	1391	8531	1890	2284	1601	5119	1523	6090	3426	2546	3964

Распределение олигокарбофилов в блоке со вспашкой по слоям почвы в начале активной вегетации озимой пшеницы свидетельствовало о большем их количестве (в удобренных вариантах в среднем на 74 %) в слое 10–20 см при максимальном отличие в варианте с запашкой соломы, обработанной компенсирующей дозой азота в виде КАС (+113 %). К фазе выхода флаг-листа олигокарбофильных микроорганизмов в нижнем слое, наоборот, содержалось меньше в среднем на 49 % (или на 24–64 % в зависимости от системы удобрения) вследствие более интенсивного сокращения их численности в слое 10–20 см, чем в слое 0–10 см. В предуборочный период наблюдалось выравнивание числа олигокарбофилов между слоями за исключением минеральной системы удобрения, где количество в нижнем слое было выше на 45 %; в результате по усредненному показателю в нижнем слое их было только на 8 % больше, чем в верхнем. При дисковании во время проведения исследований установлена практически такая же закономерность по обогащению изучаемых слоев олигокарбофилами, как и вспашке: более высокое число в слое 10–20 см в начале вегетации (+131 % в среднем) и перед уборкой (+86 %) при более ярко выраженной дифференциации между слоями; к фазе выхода флаг-листа их количество в слоях в целом было равнозначным. Что касается варианта с заделкой только пожнивно-корневых остатков, то при первых двух отборах, как по вспашке, так и по дискованию количество олигокарбофилов ниже в верхнем слое (на 19–40 %) и выше к моменту уборки урожая (на 10–63 %).

Учет числа олигонитрофильных бактерий, способных расти в условиях незначительного количества доступного азота в почвенном растворе, показал, что на фоне применения удобрений при отвальной обработке почвы в начале активной вегетации растений в слое 10–20 см их на 53–220 % больше, чем в слое 0–10 см при наибольшей разнице в варианте с обработкой соломы КАС, точно также как и олигокарбофилов. К середине вегетации численность в нижнем слое в значительной степени зависела от вносимых удобрений, в то время как в слое 0–10 см количество олигонитрофилов в удобренных вариантах характеризовалось равновеликими величинами, в результате чего в нижнем слое этот показатель в варианте с запашкой «чистой» соломы превышал аналогичный в верхнем слое на 42 %, при ее обработке удобрением Жыцень и КАС – был меньше на 40–42 %, в остальных вариантах – различия отсутствовали. К завершению вегетации в блоке со вспашкой численность олигонитрофилов в слое 10–20 см была значительно выше лишь при минеральной системе удобрения (на 101 %) и органоминеральной с внесением подстилочного навоза (на 65 %), в других вариантах опыта установлено определенной равновесие между слоями. В блоке с дискованием также не наблюдалось каких-либо однонаправленных изменений в распределении олигонитрофилов по слоям супесчаной почвы.

По усредненным показателям в удобренных вариантах весной в фазе кущения по вспашке численность олигонитрофильных микроорганизмов выше на 93 % в слое 10–20 см по сравнению со слоем 0–10 см, а при дисковании, наоборот, ниже на 24 %. В фазе выхода флаг-листа их количество при обоих способах обработки почвы характеризовалось равновеликими величинами, а перед уборкой оказалось выше на 14–30 %.

В результате проведенных исследований установлено, что применяемые системы удобрения оказали разноплановое влияние на микробиоценоз дерново-

подзолистой супесчаной почвы. Так, при минеральной системе удобрения количество аммонификаторов в изучаемых слоях по вспашке и дискованию в течение вегетации озимой пшеницы превышало их уровень в удобренной почве в 2,0–8,5 раза, амилаolitikов – в 1,8–5,0 раза при наименьшей разбежке в численности целлюлозолитических микроорганизмов (1,4–2,3 раза). Применение более низкой дозы минеральных удобрений на фоне подстильного навоза обеспечило большее развитие аммонификаторов в изучаемых слоях по вспашке в начале вегетации озимой пшеницы и перед уборкой, их численность была выше на 209–245 % и 46–60 % соответственно по сравнению с минеральным фоном. По дискованию положительный эффект отмечен лишь при 1-м отборе в слое 0–10 см – рост численности этой группы микроорганизмов составил 111 %. Запашка соломы стимулировала активизацию аммонификаторов в течение всего срока наблюдений при большей эффективности в верхнем слое: за счет этого агроприема их количество увеличилось на 54–106 % в слое 0–10 см и на 7–59 % в слое 10–20 см. В блоке с дискованием при заделке соломы в верхний 10-сантиметровый слой почвы наблюдалось снижение численности аммонификаторов в этом слое (на 15–29 %) при тенденции повышения в нижнем относительно минерального фона. Применение по соломе удобрения Жыцень привело к увеличению аммонифицирующих микроорганизмов только по вспашке при 1-м отборе в слое 10–20 см – прирост был на уровне 29 %.

Что касается минерализующих бактерий на КАА, то особенно сильно их численность в супесчаной почве в период исследований возрастала весной в фазе кущения в варианте с применением подстильного навоза: по вспашке в обоих слоях до уровня 4121–4673 тыс. КОЕ/г почвы, по дискованию только в слое 0–10 см – до 5115 тыс. КОЕ/г почвы, что выше, чем при минеральной системе удобрения на 91–120 % и 45 % соответственно. Наибольшее влияние применения по соломе удобрения Жыцень на количество иммобилизаторов (на КАА) по вспашке отмечено в слое 10–20 см в начале вегетации (прирост составил 25 %). При поверхностной заделке соломы более интенсивное развитие амилаolitikов при использовании этого удобрения наблюдалось, наоборот, в слое 0–10 см – в начале и конце вегетации (+17–18 %), а также при внесении компенсирующей дозы азота в виде КАС в период от фазы выхода флаг-листа до созревания (+15–21 %). Во всех остальных случаях не выявлено положительного влияния применяемых удобрений на данную группу микроорганизмов.

По целлюлозолитическим микроорганизмам также следует отметить органоминеральную систему удобрения с внесением подстильного навоза КРС, обеспечившую их активизацию весной в начале активной вегетации и до фазы выхода флаг-листа: по вспашке в обоих слоях численность этой группы была на 122–171 % больше по сравнению с контролем и на 27–67 % относительно минеральной системы удобрения; по дискованию в слое 0–10 см – на 129–144 % и 22–49 % соответственно. К моменту созревания культуры влияние данной системы удобрения на численность целлюлоolitikов уменьшалось: превышение относительно варианта без удобрений составило 23–100 % и мало отличалось от показателей, полученных на минеральном фоне. Поверхностная заделка соломы осенью приводила к увеличению количества целлюлозолитических микроорганизмов весной в фазе кущения только в верхнем слое на 30 %, в то время как по вспашке их численность возросла в этот период по всему пахотному слою (0–20 см) на 38–56 %, а также

в фазе созревания в слое 10–20 см (+43 %). Применение по соломе удобрения Жыцень обеспечило рост численности целлюлолитиков при первых двух отборах по вспашке в обоих слоях на 18–25 %, по дискованию только в слое 0–10 см – на 25–28 %. Влияние компенсирующей дозы азота в виде КАС по соломе на их количество в этот период наблюдений было более слабым, увеличение составило не больше 17 %. В дальнейшем к фазе созревания наблюдали некоторое снижение численности целлюлолитиков при использовании удобрения Жыцень и отсутствие изменений по сравнению с необработанной соломой при внесении КАС.

При используемых способах обработки почвы внесение минеральных удобрений активизировало рост численности микроорганизмов-деструкторов гумуса и актиномицетов, участвующих в разложении сложных безазотистых полимерных соединений, до 1103–4725 тыс. КОЕ/г почвы и 1575–7455 тыс. КОЕ/г почвы, что выше, чем на контроле на 74–366 % и 34–298 % соответственно. Снижение дозы минеральных удобрений на фоне внесения подстилочного навоза обеспечило их количество либо на уровне варианта с полной дозой минеральных удобрений, либо характеризовалось более низкими показателями. Большее количество автохтонов (+38 %) в варианте с применением навоза по сравнению с минеральной системой удобрения обнаружено лишь в блоке со вспашкой в нижнем слое (10–20 см) весной в фазе кущения; актиномицетов – в верхнем слое при обоих способах обработки в предуборочный период (+23–42 %).

В вариантах с соломой преимущественное увеличение числа автохтонных микроорганизмов прослеживалось только в слое 0–10 см перед уборкой урожая: по соломе, запаханной в чистом виде, их численность составила 1890 тыс. КОЕ/г почвы, что на 33 % выше относительно минерального фона, за счет применения удобрения Жыцень прирост достиг 11 % при большем эффекте от внесения компенсирующей дозы азота в виде КАС (+42 %). По дискам лишь применение КАС по соломе активизировало рост количества микроорганизмов-деструкторов гумуса – по сравнению с фоновым вариантом их число выросло на 34 %, с необработанной соломой – на 65 %. Следует иметь в виду, что увеличение числа автохтонов под влиянием вносимых удобрений может свидетельствовать о деструкции специфических органических компонентов почвы различной степени гумификации, что негативно скажется на почвенном плодородии, на что указывали авторы работы [32].

По актиномицетам положительное влияние соломы выявлено в блоке со вспашкой в фазе выхода флаг-листа в слое 10–20 см, а также в предуборочный период в обоих слоях, где их численность возросла на 66 % и 18–29 % по сравнению с фоном. Также как и по автохтонам, обработка соломы удобрением Жыцень и КАС несколько стимулировала рост этой группы микроорганизмов только по вспашке в слое 0–10 см перед уборкой – прирост был на уровне 9–16 % относительно варианта с запашкой «чистой» соломы, в результате численность актиномицетов в этих вариантах на 1313–1654 тыс. КОЕ/г почвы (или 29–37 %) выше, чем на минеральном фоне.

При анализе численности олигокарбофилов и олигонитрофилов установлено, что при минеральной системе удобрения их количество в изучаемых слоях супесчаной почвы в период исследований составило 919–5906 тыс. КОЕ/г почвы и 1916–5053 тыс. КОЕ/г почвы, что на 17–240 % и 69–407 % выше, чем в удобренных вариантах. Органоминеральная система удобрения с внесением подстилочного навоза по сравнению с минеральным фоном способствовала увеличению олигокарбофилов

(на 24–34 %) при обоих способах обработки в верхнем слое только при 1-м отборе; олигонитрофилов – к моменту уборки урожая по вспашке (+29 %) и с середины вегетации до конца по дискованию в нижнем слое (+64–68 %). При заделке соломы заметный рост числа олигокарбофилов отмечен в блоке со вспашкой в слое 10–20 см на протяжении всего периода наблюдений (+17–51 %), в слое 0–10 см – только к уборке урожая (+72 %), в блоке с дискованием – весной в начале вегетации в обоих слоях (+19–22 %). По олигонитрофилам положительный эффект от заделки соломы получен по вспашке в слое 0–10 см к концу вегетации (+67 %) и в слое 10–20 см к фазе выхода флаг-листа (+31 %), а также по дискованию в верхнем слое в начале вегетации (+70 %) и в нижнем слое перед уборкой (+104 %). При обработке соломы стимулирующее действие на численность олигокарбофильных микроорганизмов обнаружено только к завершению вегетации при применении компенсирующей дозы азота в виде КАС по вспашке в слое 10–20 см – их количество было выше на 12 и 41 % соответственно, чем в варианте с запашкой необработанной соломы и минеральным фоном. По олигонитрофилам увеличение численности в вариантах с обработанной соломой выявлено по вспашке в слое 0–10 см в фазе выхода флаг-листа также при использовании КАС – прирост по сравнению с «чистой» соломой и минеральным фоном был на уровне 19 %.

В период исследований наименьшая численность физиологических групп микроорганизмов характерна для варианта без удобрений. Наибольшей их активизации в изучаемых слоях независимо от способов обработки способствовала минеральная система удобрения ($N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$ – фон), а также органоминеральная с внесением более низких доз минеральных удобрений ($N_{60+30+40}P_{40}K_{35}$) на фоне 40 т/га подстилочного навоза КРС. По мнению Д. Г. Звягинцева с соавторами [33], активизация деятельности микроорганизмов в зависимости от поступающего субстрата, гидротермического режима и сформированного микробного сообщества может привести к быстрому разрушению органического вещества почвы и, как следствие, отсутствию положительных изменений в гумусовом фонде. Что касается заделки соломы в супесчаную почву, а также ее обработки удобрениями Жыцень и КАС, нельзя сделать однозначного вывода, поскольку наблюдаемые изменения не носили постоянного характера: в период исследований происходила то вспышка в развитии изучаемых микроорганизмов, то отсутствие влияния на их численность или даже снижение относительно минерального фона. Это обеспечивает, по нашему мнению, формирование в почве более разнообразного микробного сообщества, характеризующегося большей эффективностью по активизации гумификационных процессов путем деструкции свежей органической биомассы с последующей трансформацией целлюлозно-лигнинных комплексов в гумусоподобные и гумусовые вещества, что, в конечном итоге, будет способствовать увеличению образования гумуса. Данное предположение подтверждается исследованиями, выполненными О. В. Орловой с соавторами [34], а также нашими исследованиями [35, 36].

При сравнении численности изучаемых групп микроорганизмов в период вегетации озимой пшеницы отмечено, что в среднем по опыту в супесчаной почве в удобренных вариантах наибольшее количество аммонификаторов наблюдалось весной в начале вегетации, автохтонных и целлюлозолитических микроорганизмов – к фазе выхода флаг-листа, актиномицетов, олигокарбофилов и олигонитрофилов – в предуборочный период. Исключение составили микроорганизмы на МПА в блоке с дискованием в слое 10–20 см (максимум к концу вегетации),

а также олигонитрофилы и автохтоны в слое 0–10 см (максимум в начале вегетации). Что касается амилаolitikов, то тренд изменений зависел от вносимых удобрений. Полученные нами данные вполне согласуются с исследованиями других ученых, согласно которым в весенний период при наличии в почве легко-разлагаемых органических соединений в большей степени активизируются микроорганизмы, усваивающие как органические, так и минеральные формы азота (на МПА и КАА); на этапе от формирования до максимального продуцирования биомассы появляются целлюлозолитики, участвующие в разложении безазотистого органического вещества почвы (клетчатки и близких к ней соединений), в этот же период наблюдается всплеск автохтонной микрофлоры, использующей гумусовые компоненты почвы, способствуя их трансформации и продуцированию; и, наконец, на конечной стадии превращения органического вещества почвы, уже подвергшегося деструкции, включаются микроорганизмы олиготрофной группы и актиномицеты [9–12, 13, 16, 28, 30, 37].

При этом по опыту в период наблюдений наиболее высокая численность аммонификаторов (3990 тыс. КОЕ/г почвы) и амилаolitikов (5115 тыс. КОЕ/г почвы) отмечена весной в начале вегетации озимой пшеницы при органо-минеральной системе удобрения с внесением подстилочного навоза в дозе 40 т/га по вспашке в слое 10–20 см и по дискованию в слое 0–10 см соответственно; целлюлозолитиков (656 тыс. КОЕ/г почвы) – в фазе выхода флаг-листа также в верхнем слое при обработке соломы удобрением Жыцень по дискам. Максимальное количество актиномицетов (9371 тыс. КОЕ/г почвы) и олигокарбофилов (7613 тыс. КОЕ/г почвы) наблюдалось в блоке со вспашкой перед уборкой при органо-минеральной системе удобрения с заашкой «чистой» соломы в слое 10–20 см и при ее обработке удобрением Жыцень в слое 0–10 см соответственно; автохтонов (4725 тыс. КОЕ/г почвы) – в этом же блоке в слое 0–10 см в фазе выхода флаг-листа при минеральной системе удобрения; олигонитрофилов (5919 тыс. КОЕ/г почвы) – в блоке с дискованием в слое 0–10 см весной в начале вегетации при органо-минеральной системе удобрения с обработкой соломы КАС.

Почвенные микроорганизмы, оказывая непосредственное влияние на многочисленные биологические процессы, протекающие в почве, могут существенно изменять характер трансформации почвенного органического вещества, что в конечном итоге сказывается на плодородии и ближайшем резерве питательных элементов для растений, и как следствие на урожайности культур. Из приведенной таблицы 3 следует, что зависимость между урожаем зерна и численностью представленных физиологических групп микроорганизмов в пахотном слое дерново-подзолистой супесчаной почвы по этапам органогенеза озимой пшеницы в большинстве случаев существенна или близка к таковой на протяжении всего срока наблюдений.

Наиболее высокие статистически значимые связи урожайности зерна с численностью изучаемых микроорганизмов в почве по вспашке в целом отмечены в межфазный период от кущения до выхода флаг-листа ($R^2 = 0,68–0,88$). В блоке с дискованием тренд наблюдаемой взаимосвязи несколько отличался.

Таблица 3

Значение коэффициента детерминации, характеризующего связь между урожайностью зерна озимой пшеницы и численностью микроорганизмов в дерново-подзолистой супесчаной почве

Способ обработки почвы	Межфазный период развития растений	МПА	КАА	АГК	АГ-1	НА	ГА	АЭ
		R ²						
Вспашка	посев – фаза кущения (главный побег и 2 побега кущения)	0,71 ¹	0,72	0,53	0,80	0,58	0,92	0,52
	кущение – фаза выхода флаг-листа	0,88	0,74	0,78	0,88	0,69	0,80	0,68
	фаза выхода флаг-листа – созревание	0,83	0,66	0,52	0,70	0,50	0,64	0,67
Дискование	посев – фаза кущения (главный побег и 2 побега кущения)	0,67	0,44	0,87	0,52	0,66	0,84	0,78
	кущение – фаза выхода флаг-листа	0,85	0,65	0,95	0,79	0,77	0,78	0,69
	фаза выхода флаг-листа – созревание	0,87	0,69	0,53	0,91	0,64	0,76	0,63

¹ существенность связи при рассматриваемом объеме данных обнаруживается при $R^2 \geq 0,64$.

Урожай зерна в наибольшей степени коррелировал с численностью олигокарбофилов и олигонитрофилов в межфазный период от посева до кущения ($R^2 = 0,78–0,84$), целлюлозолитических микроорганизмов и автохтонов – от кущения до выхода флаг-листа ($R^2 = 0,95$ и $0,77$), актиномицетов – от выхода флаг-листа до созревания ($R^2 = 0,91$). Зависимость между урожайностью озимой пшеницы и количеством бактерий на МПА и КАА прослеживалась на протяжении от кущения до созревания ($R^2 = 0,85–0,87$ и $R^2 = 0,65–0,69$ соответственно).

ВЫВОДЫ

Наибольшей активизации изучаемых физиологических групп микроорганизмов независимо от способов обработки дерново-подзолистой супесчаной почвы способствовала минеральная система удобрения и органоминеральная с внесением 40 т/га подстилочного навоза КРС, что не следует однозначно рассматривать как положительное или отрицательное явление, поскольку в зависимости от складывающихся почвенно-климатических условий это может привести к быстрому разрушению органического вещества почвы и, как следствие, отсутствию положительных изменений в гумусовом фонде. При заделке «чистой» соломы и ее обработке удобрениями Жыцень и КАС наблюдаемые изменения не носили постоянного характера: в период исследований происходила то вспышка в развитии изучаемых микроорганизмов, то отсутствие влияния на их численность или даже снижение относительно минерального фона, что может способствовать формированию более разнообразного микробного сообщества, характеризующегося большей эффективностью по активизации гумификационных процессов путем

деструкции свежей органической биомассы с последующей трансформацией целлюлозно-лигниновых комплексов в гумусоподобные и гумусовые вещества, что в конечном итоге будет приводить к увеличению образования гумуса.

Наиболее высокая численность аммонификаторов в удобренных вариантах отмечена весной в начале вегетации озимой пшеницы, автохтонных и целлюлозолитических микроорганизмов – к фазе выхода флаг-листа, актиномицетов, олигокарбофилов и олигонитрофилов – в предуборочный период, тренд изменений в количестве амилолитиков зависел от вносимых удобрений. Исключение составили микроорганизмы на МПА по дискованию в слое 10–20 см (максимум к концу вегетации), а также олигонитрофилы и автохтоны в слое 0–10 см (максимум в начале вегетации).

По опыту максимальное количество аммонификаторов (3990 тыс. КОЕ/г почвы) наблюдалось весной в начале вегетации озимой пшеницы в блоке со вспашкой в слое 10–20 см при органоминеральной системе удобрения с внесением подстилочного навоза КРС в дозе 40 т/га; амилолитиков (5115 тыс. КОЕ/г почвы) и олигонитрофилов (5919 тыс. КОЕ/г почвы) также в этот период только по дискованию в слое 0–10 см в вариантах с внесением навоза и обработкой соломы КАС соответственно; целлюлолитиков (656 тыс. КОЕ/г почвы) – к фазе выхода флаг-листа тоже в верхнем слое по дискам при обработке соломы удобрением Жыцень. Самое большое число актиномицетов (9371 тыс. КОЕ/г почвы) и олигокарбофилов (7613 тыс. КОЕ/г почвы) отмечено по вспашке в слое 10–20 см перед уборкой при запашке «чистой» соломы и в слое 0–10 см при ее обработке удобрением Жыцень соответственно; автохтонов (4725 тыс. КОЕ/г почвы) – в этом же блоке в верхнем слое в фазе выхода флаг-листа при минеральной системе удобрения.

Установлена взаимосвязь между урожайностью зерна и численностью микроорганизмов при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой супесчаной почве. По вспашке наиболее тесная связь отмечена в межфазный период от кущения до выхода флаг-листа ($R^2 = 0,68–0,88$). По дискованию урожай зерна в наибольшей степени коррелировал с количеством олигокарбофилов и олигонитрофилов в межфазный период от посева до кущения ($R^2 = 0,78–0,84$), целлюлозолитиков и автохтонов – от кущения до выхода флаг-листа ($R^2 = 0,95$ и $0,77$), актиномицетов – от выхода флаг-листа до созревания ($R^2 = 0,91$), бактерий на МПА и КАА – от кущения до созревания ($R^2 = 0,85–0,87$ и $R^2 = 0,65–0,69$ соответственно).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов, Т. И. Управление почвенными микробными сообществами: возможности и перспективы (обзор) / Т. И. Чернов, М. В. Семенов // Почвоведение. – 2021. – № 12. – С. 1506–1522.
2. Достижения и перспективы развития почвенной микробиологии в Московском университете / А. Л. Степанов, Н. А. Манучарова, Д. А. Никитин [и др.] // Вестник Московского ун-та. – 2023. – Т. 78. – № 4. – С. 63–69.
3. Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) / Д. А. Никитин, М. В. Семенов, Т. И. Чернов [и др.] // Почвоведение. – 2022. – № 2. – С. 228–243.
4. Влияние известкования на комплекс почвенных микроорганизмов и гумусовое состояние дерново-подзолистой почвы в многолетнем опыте / Л. Г. Бакина, М. В. Чугунова, Т. Б. Зайцева [и др.] // Почвоведение. – 2014. – № 2. – С. 225–234.

5. Гармашов, В. М. Принципы и методы оптимизации основной обработки почвы и воспроизводства плодородия чернозема обыкновенного в зернопропашных севооборотах ЦЧР: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.01 / В. М. Гармашов; ФГБНУ «ВНИИСС им. А. Л. Мазлумова». – Рамонь, 2018. – 39 с.
6. Минеев, В. Г. Влияние длительного применения удобрений и известкования на биологические свойства почвы / В. Г. Минеев, Н. Ф. Гомонова, Е. В. Морачевская // Проблемы агрохимии и экологии. – 2014. – № 1. – С. 3–9.
7. Русакова, И. В. Теоретические основы и методы управления плодородием почв при использовании растительных остатков в земледелии / И. В. Русакова. – Владимир : ФГБНУ ВНИИОУТ, 2018. – 142 с.
8. Московкин, В. В. Эколого-агрохимическая оценка влияния микробиологических препаратов-деструкторов растительных остатков зерновых культур в агроценозах на дерново-подзолистых супесчаных почвах: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / В. В. Московкин; ФГБНУ ВНИИОУ. – Рамонь, 2018. – 39 с.
9. Перфильев, Н. В. Системы основной обработки и формирование ассоциаций микроорганизмов в темно-серой лесной почве / Н. В. Перфильев, О. А. Вьюшина, Д. Р. Майсямова // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – № 10. – С. 16–18.
10. Никульчев, К. А. Влияние культур севооборота на микробиологическую активность, агрофизические свойства почвы и урожайность сои / К. А. Никульчев, Е. В. Банецкая // Земледелие. – 2020. – № 1. – С. 11–14.
11. Чернов, Т. И. Динамика микробных сообществ почвы в различных диапазонах времени (обзор) / Т. И. Чернов, А. Д. Железова // Почвоведение. – 2020. – № 5. – С. 590–600.
12. Бородин, О. И. Динамика численности микроорганизмов, участвующих в трансформации азотсодержащих веществ в посевах культур зернопропашного севооборота / О. И. Бородин, Н. В. Безлер, М. А. Сумская // Плодородие. – 2011. – № 5. – С. 19–21.
13. Активность микроорганизмов дерново-подзолистой почвы в различных агроэкосистемах / Н. С. Матюк, В. А. Шевченко, А. М. Соловьев [и др.] // Плодородие. – 2020. – № 2. – С. 61–64.
14. Мосина, Л. В. Экологическая оценка влияния органических и минеральных удобрений на микрофлору дерново-подзолистой почвы и продуктивность агроценозов в экстремальных погодных условиях / Л. В. Мосина, Г. Е. Мерзлая // Известия ТСХА. – 2013. – Вып. 5. – С. 5–18.
15. Микробное сообщество дерново-подзолистой почвы после длительного применения удобрений / Т. А. Карепина, Н. А. Лисицина, Э. А. Муравин [и др.] // Плодородие. – 2012. – № 5. – С. 29–31.
16. Мельникова, Н. А. Влияние различных способов основной обработки на биологическую активность почвы при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Заволжья / Н. А. Мельникова, Е. Х. Нечаева // Электронное периодическое изд-е Междунар. науч.-практ. журн. «Эпоха науки». – 2015. – № 4.
17. Майсямова, Д. Р. Влияние соломы на численность микроорганизмов чернозема обыкновенного при минимальной обработке / Д. Р. Майсямова, А. П. Лазарев // Аграрный вестник Урала. – 2008. – № 6. – С. 33–35.
18. Балабанова, Н. Ф. Влияние длительного применения удобрений на органическое вещество лугово-черноземной почвы и урожайность зерна яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Н. Ф. Балабанова; СибНИИСХ. – Новосибирск, 2013. – 19 с.
19. Карягина, Л. А. Влияние последствий удобрений на биологическую активность дерново-подзолистой почвы и урожай моркови / Л. А. Карягина, З. Н. Тиханович // Почвоведение и агрохимия. – 1974. – Вып. 11. – С. 122–126.

20. Карягина, Л. А. Особенности развития микрофлоры дерново-подзолистой песчаной почвы при ее окультуривании / Л. А. Карягина, З. Н. Тиханович // Почвоведение и агрохимия. – 1977. – Вып. 13. – С. 63–72.
21. Карягина, Л. А. Влияние условий гумификации соломы на накопление общего углерода, микрофлору и активность ферментов в дерново-подзолистой почве / Л. А. Карягина, Л. М. Стефанькина // Почвенные исследования и применение удобрений : Межведомст. тематич. сб; ред. кол.: И. М. Богдевич [и др.]. – Минск, 1987. – Вып. 18. – С. 93–102.
22. Коляда, Т. И. Влияние тиомочевины, внесенной совместно с минеральными удобрениями, на биологическую активность почвы и урожай растений / Т. И. Коляда // Почвенные исследования и применение удобрений: межведомст. тематич. сб; ред. кол.: Н. И. Смеян [и др.]. – Минск, 1973. – Вып. 4. – С. 136–142.
23. Влияние приемов окультуривания на биогенность и биологическую активность в дерново-подзолистой почве / И. А. Юшкевич [и др.]. // Почвенные исследования и применение удобрений : Межведомст. тематич. сб; ред. кол.: Т. Н. Кулаковская [и др.]. – Минск, 1975. – Вып. 6. – С. 65–72.
24. Чиканова, В. М. Влияние органических и двойных доз минеральных удобрений на биологическую активность дерново-подзолистой супесчаной почвы / В. М. Чиканова // Почвоведение и агрохимия. – 1971. – Вып. 8. – С. 165–170.
25. Атрашкова, А. В. Влияние пестицидов на микрофлору дерново-подзолистой почвы Беларуси / А. В. Атрашкова // Известия Академии агр. наук Республики Беларусь. – 2001. – № 2. – С. 61–64.
26. Концевая, И. И. Оценка состояния микробоценоза почвы при обработке пожнивных остатков микробным биопрепаратом Жыцень / И. И. Концевая, Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев // Известия Гомельского гос. ун-та. – 2019. – № 3 (114). – С. 41–45.
27. Дайнеко, Н. М. Анализ численности микроорганизмов при использовании микробных деструкторов на пожнивные остатки соломы / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев // Достижения науки и образования. – 2020. – № 8 (62). – С. 11–13.
28. Щур А. В. Экологические подходы к оптимизации состава почвенного микробоценоза как основа поддержания стабильной производительной способности агроэкосистем: дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.08 / А. В. Щур; Гос. учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет». – Могилев, 2016. – 326 с.
29. Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования) / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси; Проектный ин-т Белгипрозем. – Минск, 2003. – 43 с.
30. Титова, В. И. Методы оценки функционирования микробоценоза, участвующего в трансформации органического вещества: науч.-метод. пособие / В. И. Титова, А. В. Козлов. – Н. Новгород : Нижегородская с.-х. академия, 2012. – 64 с.
31. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
32. Чевердин, А. Ю. Влияние бактериальных удобрений на микробиологическую активность чернозема сегрегационного в посевах ярового ячменя / А. Ю. Чевердин, Ю. И. Чевердин, М. Ю. Сауткина // Агрохимия. – 2023. – № 11. – С. 29–35.
33. Звягинцев, Д. Г. Биология почв: учебник / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова – Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.
34. Таксономический состав и организация микробного сообщества дерново-подзолистых почв после внесения соломы зерновых культур и использования препарата

Баркон / О. В. Орлова, Е. Л. Чирак, Н. И. Воробьев [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54. – № 1. – С. 47–64.

35. Богатырева, Е. Н. Влияние систем удобрения на содержание гумуса и подвижных гумусовых веществ в дерново-подзолистой супесчаной почве / Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая // Современные технологии сельскохозяйственного производства: материалы XV Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 18 мая 2012 г., Минск : в 2 ч. / ГГАУ. – Гродно, 2012. – Ч. 1. – С. 9–11.

36. Изменение содержания и состава подвижных гумусовых веществ в дерново-подзолистых почвах под влиянием различных систем удобрения / В. В. Лапа, Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева [и др.] // Вес. НАН Беларусі. Сер. агр. навук. – 2012. – № 4 – С. 44–48.

37. Миникаев, Р. В. Управление факторами плодородия и совершенствование системы обработки почвы в агроландшафтах Среднего Поволжья: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.01 / Р. В. Миникаев; ФГБОУ ВО «Казанский гос. аграрный университет». – Казань, 2018. – 546 с.

ASSESSMENT OF THE STATE OF THE MICROBIAL COMMUNITY OF SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL DEPENDING ON THE TREATMENT METHOD AND FERTILIZER SYSTEMS

E. N. Bogatyreva, T. M. Seraya, O. M. Birukova,
T. M. Kirdun, Y. A. Simankova

Summary

The article considers the influence of tillage methods and fertilization systems on the number of the main physiological groups of microorganisms in different layers of sod-podzolic sandy loam soil, and studies their dynamics in the phases of winter wheat development. It was determined that the greatest activation of the studied microorganisms, regardless of the methods of soil cultivation, was facilitated by the mineral fertilization system and the organomineral system with the introduction of 40 t/ha of cattle bedding manure. The highest number of ammonifiers in fertilized variants was noted in the spring at the beginning of the growing season, autochthonous and cellulolytics – by the phase of flag leaf emergence, actinomycetes, oligocarbophiles and oligonitrophiles – in the pre-harvest period, the trend of changes in the number of amylolytics depended on the fertilizers applied. The exceptions were microorganisms on MPA in a block with disking in a layer of 10–20 cm (maximum by the end of the growing season), as well as oligonitrophils and autochthons in a layer of 0–10 cm (maximum at the beginning of the growing season).

Поступила 21.02.25

**ДИНАМИКА КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БЕЛАРУСИ ЗА ПОСЛЕДНИЙ
30-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 1991–2020 ГГ.
(по данным лизиметрического центра «Минск»)**

Г. В. Пироговская, А. С. Лемешевская

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Изучение количества поступления атмосферных осадков на поверхность почв и их состава, а также изменение температурного режима территории, имеет важное значение для решения многих теоретических и практических задач, в том числе при изучении миграции и круговорота веществ в природе, расчете солевого баланса отдельных водных объектов и территорий, оценке их влияния на состав поверхностных и грунтовых вод. Атмосферные осадки приносят в почву не только влагу, но и различные растворенные химические вещества. Они являются основным фактором очистки атмосферы от различных загрязняющих веществ и, соответственно, одним из источников поступления химических веществ на поверхность суши и Мирового океана. Почти 25 % всех глобальных выбросов приходится на сектор землепользования.

При оценке климатических факторов, наряду с атмосферными осадками, одним из критериев является наблюдения за температурой воздуха. Комплексная характеристика степени увлажнения территории оценивается таким показателем как гидротермический коэффициент (ГТК) по Г. Т. Селянинову, позволяющий сравнивать количество выпавших атмосферных осадков с возможным их испарением с открытой водной поверхности. Влага и тепло являются одними из главных факторов, определяющих условия роста и развития растений. Влагообеспеченность, т. е. степень удовлетворения потребности растений в воде, зависит от выпадающих атмосферных осадков, гранулометрического состава почв, запаса гумуса в почве и т. д. Считается, что при оптимальной влажности почвы, которая находится в интервале влажности разрыва капилляров (ВРК) и наименьшей влагоемкости (НВ), достигается полная обеспеченность влагой возделываемых сельскохозяйственных культур [1].

Изучением химического состава атмосферных осадков в различные по степени увлажнения годы занимались многие отечественные и зарубежные ученые и установили, что поступление химических элементов с атмосферными осадками не является стабильным во времени и пространстве. На их поступление влияет целый комплекс природных (географические условия, рельеф местности, температура воздуха, роза ветров, время года) и антропогенных факторов (наличие промышленных производств, содержание пыли в воздухе, трансграничный перенос) и т. д. Данные литературных источников свидетельствуют о широком диапазоне содержания и количества химических элементов, поступающих с атмосферными осадками в той или другой местности [2–6].

Следует учитывать, что поступление химических элементов с атмосферными осадками является одной из приходных статей хозяйственного баланса. Именно поэтому и возникает потребность в изучении современной оценки химического состава атмосферных осадков, как важного звена круговорота химических веществ и определении поступления с ними химических элементов на поверхность суши при настоящем уровне антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Мероприятия, направленные на более устойчивое восстановление и управление земельными ресурсами, должны разрабатываться с учетом изменения климатических особенностей территории, что может обеспечить краткосрочные преимущества для качества жизни на Земле. Наблюдения за изменением количества выпадающих атмосферных осадков, а также температурой воздуха и характером их пространственного распределения на территории каждой страны, в том числе и в Республике Беларусь, необходимы для обоснования направленности приспособления природных экосистем к изменяющимся климатическим условиям и для принятия мер по адаптации отраслей народного хозяйства к новой климатической обстановке.

Оценка изменения состояния климатической системы проводилась на основе сравнения данных ежегодных наблюдений со средними климатическими характеристиками за предшествующие годы, а также климатическими нормами, вычисленными по последнему 30-летнему периоду, в частности за период 1991–2020 гг., который принят в Республике Беларусь. Обновление базового 30-летнего периода соответствует рекомендациям Всемирной метеорологической организации, что позволяет лучше отражать меняющийся климат и его влияние на повседневную погоду. На совещании Комиссии по обслуживанию ВМО рекомендовано было обновить тридцатилетний базовый период на 1991–2020 гг. [7].

Цель исследований – установить динамику изменения климатических показателей (количества выпавших атмосферных осадков, температуры воздуха, ГТК и бездождных периодов) по данным лизиметрического центра «Минск», расположенного в центральной части Республики Беларусь.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наблюдения за количеством, выпавших атмосферных осадков проводились в лизиметрическом центре «Минск», расположенном в южной части г. Минска (широта – 53°51′03″ с. ш., долгота – 27°30′26″ в. д.). Введен в эксплуатацию РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в 1980 г. и функционирует по настоящее время. Включает 48 насыпных лизиметров цилиндрической формы, состоящих из сборных железобетонных колец. Глубина почвенных профилей в лизиметрах 1,0 м (24 лизиметра) и 1,5 м (24 лизиметра). Колодцы лизиметров имеют внутренний диаметр 2,0 м, площадь – 3,14 м².

Лизиметры заполнены наиболее распространенными почвами Республики Беларусь: автоморфными – дерново-подзолистыми разного гранулометрического состава; полугидроморфными – дерновыми заболоченными (под травами); гидроморфными – торфяно-болотными низинными (используются в типичных севооборотах и под травами) и торфянисто-глеевыми низинными (под травами).

Общий вид лизиметрического центра представлен на фото.



Фото. Люпин узколистый, 2006 г.

Экспериментальные данные, полученные в лизиметрическом центре за 1981–2015 гг., обобщены и опубликованы в монографии Г. В. Пироговской «Поступление, потери элементов питания растений в системе «атмосферные осадки – почва – удобрение – растение» [6].

В лизиметрическом центре осуществляли наблюдения за количеством выпавших атмосферных осадков и определяли их химический состав (концентрации и ионный состав), отбор и анализ почвенных растворов, профильтрованных на глубину 1,0–1,5 м наиболее распространенных почв Республики Беларусь при возделывании сельскохозяйственных культур в типичных для республики севооборотах.

Данные по температуре воздуха в годы исследований и среднемноголетние данные по количеству атмосферных осадков и температурам воздуха за последний 30-ти летний период, предоставлены Государственным учреждением «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» (метеорологическая станция Минск, широта – 53°55′43″ с. ш., долгота – 27°38′7″ в. д.).

В атмосферных осадках определяли следующие показатели:

- pH – потенциометрический, ГОСТ 26423-85, п. 4, п. 4.1, п. 4.3;
- N-NO₃ – потенциометрический, ГОСТ 18826-73;
- N-NH₄ – ГОСТ 26488-85;
- фосфор – спектрометрический метод, СТБ 6878-2005;
- калий и натрий – на пламенном фотометре, ГОСТ 26427-85;
- кальций и магний на атомно-абсорбционном спектрофотометре, ГОСТ 26428-85;
- хлориды – ГОСТ 4245-72;
- сульфаты – ГОСТ 26490-85;
- гидрокарбонаты – ГОСТ 26424-85;
- сухой остаток – ГОСТ 18164-72;
- общая жесткость (кальций + магний) – ГОСТ 4151-72.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные по количеству выпавших атмосферных осадков за 1991–2020 гг. и температурам воздуха в лизиметрическом центре «Минск» приведены в таблицах 1–3.

Наблюдения за количеством выпавших атмосферных осадков в лизиметрическом центре «Минск» за период 1991–2020 гг. показывают, что среднегодовое их количество составило 593,7 мм, на 93,8 мм (на 13,6 %) меньше по сравнению со среднемноголетним показателем за 1991–2020 гг. (687,5 мм). Годовое количество атмосферных осадков меньше 500 мм выпадало: в 2015 г. – 449,2 мм, 1995 г. – 462,8 мм, 1999 г. – 471,4 мм, 2002 г. – 475,5 мм, 2020 г. – 488,0 мм, 1992 г. – 490,9 мм и 2019 г. – 492,0 мм (табл. 1).

Для сведения: среднемноголетнее количество атмосферных осадков за период 1961–1990 гг. составляло 696 мм.

Сумма атмосферных осадков за вегетационный период (май–сентябрь) в зависимости от года исследований, находились в пределах от 160,6 мм (1999 г.) до 463,8 мм (2014 г.), при среднем за эти годы – 306,8 мм (51,3 % от общего выпадения осадков за указанный период). На метеостанции Минск среднемноголетнее значение за 1991–2020 гг. составило 365,1 мм, или 53,1 % от общего выпадения осадков, и было на 58,3 мм выше, чем в лизиметрическом центре «Минск» (табл. 1).

Распределение атмосферных осадков по сезонам года приведено в таблице 2.

Таблица 2

**Количество атмосферных осадков по периодам года в лизиметрическом центре
Минск и на метеостанции Минск (в среднем за 1991–2020 гг.)**

Сезон года/(месяцы)	Лизиметрический центр «Минск» (1)	Метеорологическая станция Минск (2)	Отношение 2:1
Весенний (03–05)	123,3	150,2	1,22
Летний (06–08)	206,8	247,7	1,20
Осенний (09–11)	139,9	156,0	1,12
Зимний (12–(01–02)	123,7	133,6	1,08
За лизиметрический год	593,7	687,5	1,16

Данные, приведенные в таблице 2, показывают, что количество атмосферных осадков в лизиметрическом центре «Минск» во все сезоны года меньше, в том числе в весенний период – в 1,22 раза, летний – в 1,20, осенний – 1,12, зимний – в 1,08 раза, а в среднем за год – в 1,16 раза, по сравнению с данными, полученными на метеостанции Минск. Это свидетельствует о том, что даже в одном и том же городе на станциях, расположенных на разной широте и долготе, количество атмосферных осадков за один и тот же период может различаться.

Температура воздуха в среднем за 1991–2020 гг. по данным лизиметрического центра «Минск» составила 7,2 °С, при среднемноголетнем по метеостанции Минск – 6,9 °С, и эти показатели в температуре воздуха отличались незначительно (на 0,3 °С, или на 4,4 %) (табл. 3).

Гидротермический коэффициент (ГТК) по данным лизиметрического центра «Минск» за май–сентябрь изменялся в пределах от 0,62 (1999 г.) до 1,98 (1998 г.), а в среднем за 1991–2020 гг. составил 1,26. На долю влажных лет приходилось 20 % (6 лет), оптимальных – 20 % (6 лет), слабозасушливых – 40 % (12 лет), засушливых – 13,3 % (4 года) и очень засушливых – 6,7 % (2 года).

Согласно М. А. Гольберга и др., если ГТК больше 1,6, то год считается влажный, 1,6–1,3 – оптимальный, 1,3–1,0 – слабозасушливый, 1,0–0,7 – засушливый, 0,7–0,4 – очень засушливый, от 0,4–0,2 – сухой [8].

Таблица 2

**Количество атмосферных осадков в лизиметрическом центре «Минск»,
1991–2020 гг., мм**

Год	Месяц												Сумма за год, мм	Сумма за 5–9 месяцев	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		мм	%*
1991	21,5	30,4	16,1	21,9	70,1	110,3	42,2	12,2	30,7	76,1	57,4	19,6	508,5	265,5	52,2
1992	21,1	41,4	25,4	58,3	67,6	48,4	18,4	6,5	53,4	64,9	61,3	24,2	490,9	194,3	39,6
1993	59,6	27,8	34,9	35,1	21,9	36,1	170,0	49,5	96,6	5,8	30,2	77,3	644,8	374,1	58,0
1994	96,0	23,8	71,2	32,3	89,6	59,6	29,8	48,5	46	23,6	64,9	44,6	629,9	273,5	43,4
1995	36,6	49,7	32,0	39,8	31,1	52,2	26,3	56,6	45,2	20,0	42,4	30,9	462,8	211,4	45,7
1996	55,8	40,9	12,4	27,2	57,6	38,8	95,1	20,4	92,6	20,0	76,0	51,4	588,2	304,5	51,8
1997	9,9	31,5	44,6	40,8	55,5	94,9	80,5	13,9	37,0	64,9	63,2	40,9	577,6	281,8	48,8
1998	41,8	22,1	40,0	38,6	68,4	129,1	114	54,4	88,6	83,0	40,5	47,0	767,5	454,5	59,2
1999	15,9	80,1	61,2	9,6	18,4	57,0	44,8	19,9	20,5	33,3	52,2	58,5	471,4	160,6	34,1
2000	27,6	54,1	27,4	67,9	18,7	46,8	76,5	51,1	29,6	1,4	61,5	45,8	508,4	222,7	43,8
2001	33,7	27,9	34,0	25,3	32,6	89,4	137,3	81,1	47,2	39,2	51,7	34,0	633,4	387,6	61,2
2002	56,2	56,4	13,1	12,6	24,2	37,0	47,5	44,3	27,5	126,7	16,0	14,0	475,5	180,5	38,0
2003	32,3	34,5	25,9	90,1	53,2	28,6	126,5	39,6	15,6	65,8	17,8	44,4	574,3	263,5	45,9
2004	75,8	78,0	33,2	48,2	26,6	53,4	94,9	119,0	44,2	63,8	39,3	37,1	713,5	338,1	47,4
2005	35,5	33,6	58,9	19,0	111,3	37,0	38,6	148,2	20,2	38,2	51,1	58,8	650,4	355,3	54,6
2006	6,4	21,7	35,1	26,0	76,4	58,5	51,2	219,7	40,6	30,1	36,3	16,1	618,1	446,4	72,2
2007	69,8	47,8	20,6	6,6	81,1	44,0	123,8	10,4	19,5	48,6	58,2	18,1	548,5	278,8	50,8
2008	62,0	55,1	84,9	106,4	157,1	45,3	84,7	59,0	52,2	59,7	29,9	22,8	819,1	398,3	48,6
2009	44,8	37,4	37,3	3,1	30,9	169,8	156,6	54,3	34,9	116,9	60,0	82,1	828,1	446,5	53,9
2010	40,2	36,4	17,4	15,9	88,9	103,5	107,4	60,4	44,8	40,1	52,2	62,9	670,1	405,0	60,4
2011	44,2	24,9	6,0	13,8	70,5	62,3	119,1	56,9	17,9	39,8	20,2	37,8	513,4	326,7	63,6
2012	84,2	37,2	25,9	95,4	63,7	99,5	25,9	37,2	49,0	44,1	68,5	54,1	684,7	275,3	40,2
2013	53,0	40,7	39,1	16,9	75,3	92,5	42,2	23,7	37,8	21,9	92,1	28,6	563,8	271,5	48,2
2014	54,0	17,9	5,9	13,7	83,4	113,7	74,3	166,8	25,6	10,7	4,4	44,9	615,3	463,8	75,4
2015	54,9	30,7	21,0	26,3	58,2	12,2	49,6	0,0	82,6	26,8	58,5	28,4	449,2	202,6	45,1
2016	57,3	41,9	14,2	43,5	54,8	25,8	106,7	19,8	15,6	132,2	45,4	10,0	567,2	222,7	39,3
2017	46,2	21,6	42,8	74,4	21,0	45,6	120,0	70,9	87,6	94,9	57,0	51,5	733,5	345,1	47,0
2018	28,8	23,4	4,0	21,4	22,2	24,6	171,8	52,2	41,0	48,3	29,8	55,9	523,4	311,8	59,6
2019	27,3	22,7	40,9	4,0	48,9	40,8	65,4	89,5	17,0	5,1	60,3	71,0	492,9	261,6	53,1
2020	26,7	51,9	21,9	3,6	33,4	58,8	93,1	67,8	26,8	23,0	41,8	39,2	488,0	279,9	57,4
Среднее за 1991– 2020 гг. (лиз. центр «Минск»)	44,0	38,1	31,6	34,6	57,1	63,9	84,5	58,5	42,9	49,0	48,0	41,7	593,7	306,8	51,3
Сред- немно- голетнее за 1991– 2020 гг. (метео- станция Минск)	46,8	40,0	41,3	43,1	65,8	79,2	97,5	71,0	51,6	55,3	49,1	46,8	687,5	365,1	53,1

* процент количества осадков за 5–9 месяцев от годового.

Таблица 3

Температура воздуха по г. Минску, 1991–2020 гг.

Годы	Температура воздуха по месяцам, °С												Сред- негодо- вая	За май– сентябрь	
	месяц													сумма t °С	ГТК
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1991	–2,6	–5,3	0,7	6,7	10,8	15,9	18,6	18,1	13,2	7,0	2,2	–2,6	6,9	2345,5	1,13
1992	–2,5	–2,0	2,5	4,9	12,5	16,9	19,4	20,5	12,1	3,4	–0,5	–2,5	7,1	2494,4	0,78
1993	–2,4	–2,7	–0,7	6,8	15,6	14,4	16,2	15,0	9,1	6,0	–6,8	–1,1	5,8	2155,8	1,74
1994	–0,8	–8,0	–0,7	8,5	11,3	14,2	20,2	17,3	14,5	5,4	0,3	–4,0	6,5	2373,8	1,15
1995	–4,5	0,5	2,0	7,3	12,5	19,0	18,4	17,8	12,1	7,6	–1,6	–8,1	6,9	2442,7	0,87
1996	–9,2	–8,1	–3,9	7,8	15,1	16,0	16,3	18,2	9,4	7,9	4,7	–6,9	5,6	2299,6	1,32
1997	–5,3	–1,4	0,1	3,9	12,0	16,4	18,2	18,3	11,0	5,1	1,5	–5,2	6,2	2325,5	1,21
1998	–1,4	–0,5	–0,8	7,6	13,2	17,7	17,2	15,1	11,7	5,9	–5,3	–5,1	6,3	2292,5	1,98
1999	–3,2	–4,6	0,9	10,0	10,7	21,1	21,3	17,7	13,9	6,9	–0,8	–1,2	7,7	2590,7	0,62
2000	–3,9	–0,8	1,1	10,7	13,4	16,1	16,9	17,1	10,5	8,7	3,8	0,2	7,8	2267,4	0,98
2001	–2,5	–4,2	–0,4	9,4	12,8	15,4	22,0	18,1	12,1	8,0	1,1	–8,4	7,0	2464,9	1,57
2002	–3,0	1,4	3,1	8,4	15,1	17,2	21,9	19,7	12,2	4,4	1,1	–9,3	7,7	2639,7	0,68
2003	–5,7	–6,6	–0,5	4,9	15,3	15,5	19,9	16,6	12,0	4,5	2,4	–1,2	6,4	2430,8	1,06
2004	–7,1	–4,5	1,2	2,0	10,8	15,1	18,2	18,6	12,5	7,4	0,4	–0,3	6,2	2303,6	1,47
2005	–1,4	–6,2	–3,9	4,6	10,4	15,7	19,6	17,9	13,7	7,4	0,9	–3,0	6,3	2366,9	1,50
2006	–8,4	–8,4	–3,1	7,0	12,5	17,0	20,5	17,7	13,7	8,3	2,7	2,7	6,9	2492,7	1,79
2007	0,3	–7,9	5,1	5,8	15,1	18,4	18,1	20,3	13,1	6,9	–0,3	–1,1	7,8	2603,5	1,07
2008	–2,6	0,5	1,8	9,3	11,9	16,6	18,2	18,4	12,4	8,5	1,9	–1,0	8,0	2373,5	1,68
2009	–4,1	–4,1	0,2	8,6	12,5	15,9	18,6	18,2	14,1	5,5	3,5	–4,1	7,1	2428,3	1,84
2010	–11,1	–4,8	0,2	8,7	14,6	18,4	22,6	20,9	11,9	4,4	4,2	–7,3	6,9	2710,1	1,49
2011	–3,8	–8,2	–0,3	8,8	14,2	18,7	20,7	18,2	13,9	6,2	2,3	1,1	7,7	2624,1	1,27
2012	–5,0	–10,5	1,0	8,0	14,7	15,6	21,0	18,3	13,6	6,9	3,6	–5,8	6,8	2550,0	1,08
2013	–7,3	–2,0	–4,9	6,8	16,8	19,0	18,5	18,3	11,8	7,9	4,5	0	7,5	2585,6	1,05
2014	–7,4	–0,9	5,4	8,3	14,3	14,5	20,3	18,5	12,9	6,2	0,9	–2,6	7,5	2468,1	1,88
2015	–1,3	–1,1	4,0	7,4	12,1	16,6	18,1	19,6	14,5	5,4	3,8	1,6	8,4	2476,8	1,26
2016	–7,4	1,0	1,5	8,3	14,7	18,0	19,7	18,8	13,9	4,9	–0,2	–1,4	7,7	2606,2	0,85
2017	–5,7	–3,1	4,2	6,0	16,9	16,4	17,6	21,4	13,7	6,7	2,8	0,5	8,1	2635,9	1,31
2018	–2,8	–6,0	–2,6	11,1	18,0	18,4	20,6	20,7	15,5	8,2	0,7	–2,1	8,3	2855,3	1,09
2019	–5,1	–0,1	3,0	8,1	14,2	20,3	16,5	17,0	12,2	9,2	4,0	1,7	8,4	2453,7	1,07
2020	1,2	1,5	3,1	6,1	11,0	19,5	18,6	19,6	13,9	10,5	3,6	–1,2	9,0	2527,2	1,11
Среднее за 1991– 2020 гг. (лиз. центр «Минск»)	–4,2	–3,57	0,64	7,4	13,5	17,0	19,1	18,4	12,7	6,7	1,4	–2,6	7,2	2472,8	1,26
Сред- немно- голет- нее за 1991– 2020 гг. (метео- станция Минск)	–4,3	–3,6	0,5	7,3	12,9	16,5	18,5	17,6	12,3	6,4	1,2	–2,7	6,9	2383,0	1,53

Инфильтрация атмосферных осадков в почвах зависит не только от их количества и интенсивности, температурного режима, условий испарения, растительного покрова, но изменяется в зависимости от типа и гранулометрического состава почв.

Таблица 4

Изменение инфильтрации атмосферных осадков в пахотных наиболее распространенных почвах Республики Беларусь (слой почвы 1,0–1,5 м, среднее за 1999–2020 гг.)

Название почвы	Годы				Инфильтрация от суммы осадков, %
	1991–2020 гг.	1991–2000 гг.	2001–2010 гг.	2011–2020 гг.	
1. Дерново-подзолистая суглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке, лиз. 1, 2	108,9	71,7	129,9	125,2	18,3
2. Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке (агрозем), лиз. 33, 34	108,4	80,1	128,5	116,6	18,3
3. Почвообразующая порода (лессовидный суглинок с глубины 1,5–3,0 м), лиз. 11, 12	132,6	113,2	146,9	137,6	22,3
4. Дерново-подзолистая суглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины 0,75 м моренным суглинком, лиз. 3, 4	164,1	134,3	187,5	170,4	27,6
5. Дерново-подзолистая суглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с 0,5 м рыхлым песком, лиз. 5, 6	144,2	108,9	182,4	141,3	24,3
6. Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на связной супеси, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком с прослойкой песка на контакте, лиз. 7, 8	173,3	137,8	194,7	187,4	29,2
7. Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком, лиз. 9, 10	164,6	136,7	195,9	161,3	27,7
8. Дерново-подзолистая песчаная, развивающаяся на мощных песках, лиз. 13–16	212,5	204,6	249,1	183,9	35,8
9. Торфяная низинная, лиз. 23, 24	97,2	77,5	156,7	57,5	16,4
Среднегодовое по всем почвам	145,1	118,3	174,6	142,4	24,4
НСР _{0,5}	12,87	9,5	14,8	13,7	–

В таблице 4 приведена инфильтрация атмосферных осадков за последнее 30 лет (1991–2020 гг.) на почвах разного типа и гранулометрического состава. При сравнении инфильтрации атмосферных осадков в почвах по десятилетиям (1991–2000, 2001–2010 и 2011–2020 гг.) и в среднем за (1991–2020 гг.) установлено, что среднегодовая инфильтрация изменялась в зависимости от типа и грануломе-

трического состава почв и в среднем находилась в пределах от 97,2 л/м² (торфяная) до 212,5 л/м² (песчаная). Процент инфильтрации атмосферных осадков от их выпавшего количества изменялся на дерново-подзолистых почвах в пределах от 18,3 % (легкосуглинистые почвы) до 35,8 % (песчаные), на торфяной низинной при возделывании сельскохозяйственных культур в севооборотах – 16,4 %.

Поступление химических элементов с осадками на поверхность почв является одной из приходных статей хозяйственного баланса и оценка химического состава атмосферных осадков, как важного звена круговорота химических веществ и определение поступления с ними химических элементов при настоящем уровне антропогенной нагрузки на окружающую среду актуально.

В атмосферных осадках преобладают те же ионы, что и в поверхностных и грунтовых водах: NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ и др. Среднегодовое поступление элементов питания с атмосферными осадками на поверхность почв в лизиметрическом центре «Минск» за 1991–2020 гг. приведено в таблице 5.

Таблица 5

**Поступление элементов питания на поверхность дерново-подзолистых и торфяной низинной почв с атмосферными осадками, кг/га
(по данным лизиметрического центра «Минск», 1991–2020 гг.)**

Среднегодовое поступление элементов с атмосферными осадками, кг/га	рН водный	Поступление элементов питания, кг/га									
		N-NO ₃	N-NH ₄	N общ.	N-NO ₂ *	K ₂ O	P ₂ O ₅	S	Ca	Mg	Na
	7,21	13,6	16,2	29,8	1,4	12,0	1,3	14,8	36,1	4,5	9,3

* средние данные по поступлению N-NO₂ за 2016–2020 гг.

Установлено, что в среднем за 30-летний период (с 1991 по 2020 гг.) с атмосферными осадками поступало на поверхность почв азота нитратного (N-NO₃) 13,6 кг/га, азота аммонийного (N-NH₄) 16,2 кг/га, общего азота – 29,8 кг/га, калия (K₂O) – 12,0 кг/га и фосфора (P₂O₅) – 1,3 кг/га, серы – 14,8 кг/га, кальция – 36,1, магния – 4,5 и натрия – 9,3 кг/га. Поступление N-NO₂ приведено по средним данным за 2016–2020 гг., которое составило – 1,4 кг/га. Общее количество растворенных веществ в атмосферных осадках, представленных в таблице 5, составило – 36,4 мг/л.

Средняя кислотность (рН водный) атмосферных осадков на лизиметрической станции составила 7,21, по литературным данным обычно она находится в пределах от 5 до 7. Общее количество растворенных веществ в осадках не превышает 100 мг/л, но, зачастую, меньше 50 мг/л. Минерализация атмосферных осадков Русской равнины находилась в пределах от 25 до 206 мг/л, причем морские соли составляли только 3–7 мг/л, а континентальные – 23–200 мг/л. Отмечалось, что минерализация осадков зависит от времен года: зимой, весной и во влажный период она ниже, чем в сухой [2].

В условиях изменения климата очень важным является сравнительная оценка засушливых явлений (бездождных периодов) при возделывании сельскохозяйственных культур. Бездождным считается период, когда в течение 10 дней подряд за сутки выпадает меньше 1 мм осадков. Неэффективны также осадки менее 5 мм. Известно, что независимо от первоначальных запасов влаги в почве, уже после

10 дней без атмосферных осадков (или с незначительными осадками до 5 мм) растения из-за недостатка влаги, угнетаются, задерживается их рост и развитие, что приводит к недобору урожая сельскохозяйственных культур. Несмотря на то, что Республика Беларусь расположена в зоне достаточного увлажнения, опасные бездождные периоды с апреля по октябрь наблюдаются ежегодно. По данным М. А. Гольберга и др., повторяемость лет с бездождными периодами в среднем по республике составляла: в апреле – 49 %, мае – 51, июне – 42, июле – 35, августе – 44, сентябре – 52 и октябре – 56 %. Для Беларуси характерно преобладание бездождья продолжительностью 10–20 дней примерно 3 раза в году. Бездождья, длящиеся более 20 дней, наблюдались около семи раз, а более 30 дней – до двух раз в десятилетие. Наиболее опасны бездождные периоды с апреля по июль на дерново-подзолистых песчаных и рыхлосупесчаных, подстилаемых рыхлыми песками почвах [8].

Важным показателем погодных условий вегетационного периода является суммарная продолжительность бездождья (СПБ). Средняя величина суммарной продолжительности бездождья составляет около 50–65 дней, раз в 10 лет она может превышать средние значения более чем в 1,5 раза. Например, бездождные периоды в 1951 г. по ряду районов Беларуси составляли 62–87 дней (за это время в центральной части республики выпало только 30 % осадков от нормы) [8]. Необходимо также отметить, что бездождье, длящиеся более 30 дней, наблюдалось три раза за период с 1981 по 1990 гг.; 8 раз – за 1990–2000 гг. и 5 раз – за 2001–2010 гг. [6].

По нашим исследованиям установлено, что количество бездождных периодов с мая по сентябрь (1991–2020 гг.) в г. Минске в среднем составляло 4,7. Суммарная продолжительность бездождья, определяемая как сумма числа дней бездождных периодов, составила – 88,4 дней, или 57,8 % от величины вегетационного периода (май–сентябрь). Минимальная продолжительность бездождного периода была на уровне 11,9 дня, максимальная – 29,4 дня (табл. 6).

Таблица 6

**Бездождные периоды в центральной части Республики Беларусь
(лизиметрическая станция «Минск») за 5–9 месяц 1991–2020 гг.**

Годы	Количество бездождных периодов	Минимальный и максимальный период, дни	Сумма бездождных дней	% к вегетационному периоду	Средняя длина бездождного периода, дни
1991	5	13/28	105	68,6	21,0
1992	4	11/48	92	60,1	23,0
1993	4	11/25	70	45,8	17,5
1994	7	11/35	110	71,9	15,7
1995	4	11/47	112	73,2	28,0
1996	5	13/30	106	69,3	21,2
1997	6	11/31	102	66,8	17,0
1998	4	11/26	69	45,1	17,3
1999	5	11/60	156	102,0	31,2
2000	6	13/45	124	81,0	20,7
2001	5	11/30	91	59,5	18,2

Продолжение таблицы 6

Годы	Количество бездожных периодов	Минимальный и максимальный период, дни	Сумма бездожных дней	% к вегетационному периоду	Средняя длина бездожного периода, дни
2002	5	15/34	117	76,5	23,4
2003	5	16/32	119	77,8	23,8
2004	5	11/16	64	41,8	12,8
2005	5	11/26	91	59,5	18,2
2006	5	12/26	93	60,8	18,6
2007	6	11/39	126	82,4	21,0
2008	3	11/25	60	39,2	20,0
2009	4	11/42	80	52,3	20,0
2010	3	15/24	55	35,9	18,3
2011	4	14/28	78	51,0	19,5
2012	5	11/25	87	56,9	17,4
2013	6	11/19	80	52,3	13,3
2014	4	11/13	45	29,4	11,3
2015	5	10/31	81	52,9	16,2
2016	6	10/16	81	52,9	13,5
2017	4	10/19	59	38,6	14,8
2018	4	11/14	50	32,7	12,5
2019	3	18/27	70	45,8	23,3
2020	5	11/22	78	51,0	15,6
Среднее (1991–2020 гг.)	4,7	11,9/29,4	88,4	57,8	18,8

ВЫВОДЫ

Анализ приведенных данных по лизиметрическому центру «Минск и среднемноголетним данным по метеостанции Минск за период 1991–2020 гг. позволяет сделать следующие выводы:

1. Среднемноголетнее годовое количество атмосферных осадков в лизиметрическом центре «Минск» составило 593,7 мм, на 93,8 мм (13,6 %) ниже, по сравнению со среднемноголетним по метеостанции Минск (687,5 мм), в том числе за весенний период – на 26,9 мм, летний – 40,9, осенний – 16,1, зимний – на 9,9 мм.

2. За период с 1991 по 2020 гг. среднегодовая температура воздуха в лизиметрическом центре «Минск» составила 7,2 °С, при среднемноголетнем за этот период по г. Минску – 6,9 °С, сумма активных температур воздуха за май–сентябрь составила 2472,8 и 2383,0 °С соответственно, при ГТК – 1,26 и 1,53.

3. В центральной части Беларуси за период с 1991 по 2020 гг. на долю *влажных лет* приходилось 20 % (6 лет), оптимальных – 20 % (6 лет), слабозасушливых – 40 % (12 лет), засушливых – 13,3 % (4 года) и очень засушливых – 6,7 % (2 года).

4. Величина инфильтрации атмосферных осадков в большей степени изменяется в зависимости от типа и гранулометрического состава почв: общий объем инфильтрации атмосферных осадков составил в среднем за 1991–2020 гг. в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (лиз. 1, 2) – 108,9 л/м², рыхлосупесчаной,

подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлыми песками, (лиз. 9, 10) – 164,6, песчаных – 212,5 и торфяной низинной (в севообороте) – 97,2 л/м².

5. Среднегодовое (за 1991–2020 гг.) поступление химических элементов с атмосферными осадками на поверхность дерново-подзолистых и торфяной низинной в севообороте почв составило: азота нитратного – 13,6 кг/га, аммонийного – 16,2, общего – 29,8, калия – 12,0, фосфора – 1,3, серы – 14,8, кальция – 36,1, магния – 4,5 и натрия – 9,3 кг/га.

6. Количество бездождных периодов с мая по сентябрь в Минске в среднем составило 4,7 периодов, суммарная продолжительность бездождья – 88,4 дня, или 57,8 % от величины вегетационного периода, при минимальной продолжительности на уровне 11,9 дня, максимальной – 29,4 дня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голченко, М. Г. Влагообеспеченность и орошение земель в Белоруссии / М. Г. Голченко. – Минск : Ураджай, 1976. – 192 с.
2. Санец, Е. В. Химический состав атмосферных осадков и поверхностного стока в Минске / Е. В. Санец, Е. П. Овчарова, О. Е. Белькович // Природопользование : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования НАН Беларуси. – Минск, 2009. – Вып. 16. – С. 39–48.
3. Состояние природной среды Беларуси : экол. бюл. 2007 г.; под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Минсктиппроект, 2008. – 376 с.
4. Interactions of atmospheric deposition with a mixed hardwood and a coniferous forest canopy at the Lake Clair Watershed (Duchesnay, Quebec) / D. Houle [et al.] // Canad. J. of Forest Research. – 1999. – Vol. 29, – № 12. – P. 1944–1957.
5. Janek, M. Wpływ drzewostanów iglastych na jakość wód opadowych. 3. Dopyw depozytu do dna lasu w drzewostanach iglastych puszczy Augustowskiej / M. Janek // Pr. Inst. Badawczego Lesnictwa. Ser. A. – 2002. – № 3. – S. 97–107.
6. Пироговская Г. В. Поступление, потери элементов питания растений в системе атмосферные «осадки – почва – удобрение – растение» / Г. В. Пироговская. – Минск : Беларуская навука, 2018. – 227 с.
7. Гидрометцентр России : [сайт]. – М. 2025. – URL <https://meteoinfo.ru/Novosti/99-pogoda-v-mire/17951-obnovlennyj-30-letnij-bazisnyj-period-otrazhaet-izmenenie-klimata> (дата обращения: 19.03.2025).
8. Гольберг, М. А. Опасные явления погоды и урожай / М. А. Гольберг, Г. В. Волбуева, А. А. Фалей. – Минск : Ураджай, 1988. – 120 с.
9. Принципиальная схема агрометеорологической оценки засух, засушливости территории и засухоустойчивости сельскохозяйственных культур: метод. указания; сост. Н.И. Калинин ; ВАСХНИЛ, Всесоюз. ин-т растениеводства им. Н. И. Вавилова. – Л. : ВИР, 1981. – 38 с.

**THE DYNAMICS OF CLIMATIC INDICATORS IN THE CENTRAL
PART OF BELARUS OVER THE LAST 30-YEAR PERIOD 1991–2020
(according to the lysimetric center «Minsk»)**

G. V. Pirogovskaya, A. S. Lemeshevskaya

Summary

The article presents data on the dynamics of climatic indicators (the amount of precipitation, air temperature, the amount of precipitation infiltration to a depth of 1,0–1,5 m, the flow of chemical elements with precipitation to the surface of sod-podzolic and peat lowland soils, the number of rainless periods (from may to september) according to the lysimetric center «Minsk» and the average annual data from the Minsk weather station for the period 1991–2020. It was found that the average annual annual precipitation in the lysimetric center Minsk decreased by 93,8 mm (13,6 %) compared with the average annual precipitation at the Minsk meteorological station (687,5 mm), including 26,9 mm in spring, 40,9 mm in summer, 16,1 mm in autumn, and 9,9 mm in winter. The average annual air temperature in the lysimetric center «Minsk» was 7,2 °C, with the average annual temperature for this period at the Minsk weather station being 6,9 °C, respectively, the sum of active air temperatures for may-september was 2472,8 and 233,0 °C, at the HCC – 1,26 and 1,53. The share of wet years accounted for 20 % (6 years), optimal – 20 % (6 years), slightly arid – 40 % (12 years), arid – 13,3 % (4 years) and very arid – 6,7 % (2 years). The amount of precipitation infiltration varies to a greater extent depending on the type and granulometric composition of soils: the total volume of precipitation infiltration averaged 108,9 l/m² in sod-podzolic light loamy soil (liz. 1, 2), friable sand, underlain from a depth of 0,3 m by loose sands, (liz. 9, 10) – 164,6, sandy – 212,5 and peat lowland (in crop rotation) – 97,2 l/m², with an average annual intake of chemical elements with precipitation on the surface of these soils, nitrate nitrogen – 13,6 kg/ha, ammonium – 16,2 and total nitrogen – 29,8, potassium – 12,0, phosphorus – 1,3, sulfur – 14,8, calcium – 36,1, magnesium – 4,5 and sodium – 9,3 kg/ha. The number of idle periods from May to September in Minsk averaged 4,7 periods, the total duration of idle time was 88.4 days (57,8 % of the value of the growing season), with a minimum duration of 11,9 days and a maximum of 29,4 days.

Поступила 31.03.25

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КАПУСТЫ БРОККОЛИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Е. В. Сачивко¹, И. П. Козловская²

¹Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
г. Горки, Беларусь

²Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Среди капустных овощных культур перспективным видом является капуста брокколи (*Brassica oleracea* var. *cymosa* Duch.) [1–3].

Капуста брокколи (*Brassica oleracea* var. *cymosa* Duch.) – однолетнее или озимое перекрестноопыляющееся растение. Растения достигают высоты 70–100 см. Стебель заканчивается соцветием, которое в недоразвитом виде (головка) представляет хозяйственную ценность. Капуста брокколи обладает повышенной ремонтантной способностью. Брокколи имеет две разновидности: головчатую и стеблевую. По способу выращивания головчатую брокколи подразделяют на яровую отпрысковую и озимую многоголовчатую. Яровая отпрысковая брокколи – однолетнее растение с зеленой головкой, весьма ценная и перспективная культура для всех регионов Республики Беларусь. Вегетационный период у сортов этой разновидности длится от 50 до 150 дней [3–6].

Капуста брокколи содержит витамины групп А, В, С, Р, U, макро- и микроэлементы, жиры, белки и углеводы, что делает ее незаменимым продуктом питания. Капуста оказывает благотворное действие на процессы обмена веществ, имеет обезболивающее и противовоспалительное действие. Пищевые волокна, находящиеся в капусте, отлично выводят из организма человека холестерин. Употребление капусты помогает при болезнях сердца и почек, а также при гастритах с пониженной кислотностью. Она укрепляет иммунитет и оказывает очищающее действие на организм [7–11].

Применение научно-обоснованной системы удобрения обеспечивает получение высоких и устойчивых урожаев товарной продукции сельскохозяйственных культур, в т. ч. и капусты брокколи [12–19].

Цель исследований – изучить влияние минеральных и органических удобрений на урожайность и качество капусты брокколи.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как показали результаты исследования, применение минеральных и органических удобрений, а также погодные условия вегетационных периодов оказали существенное влияние на урожайность капусты брокколи (табл. 1).

Урожайность головок капусты брокколи в 2022 г. в зависимости от опытного варианта составила 10,1–21,5 т/га, в 2023 г. – 11,3–24,1 т/га, в 2024 г. – 9,8–19,1 т/га.

Таблица 1

Влияние минеральных и органических удобрений на урожайность капусты брокколи на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Вариант	Урожайность (головки), т/га				Прибавка, т/га	
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Ø	контроль	фон
Без удобрений – контроль	10,1	11,3	9,8	10,4	–	–
$N_{60}P_{50}K_{90}$ – фон	16,4	18,9	15,5	16,9	6,5	–
$N_{60}P_{50}K_{90}$ + навоз (40 т/га)	20,2	21,9	18,1	20,1	9,7	3,2
$N_{60}P_{50}K_{90}$ + вермикомпост (5 т/га)	20,3	22,6	18,4	20,4	10,0	3,5
$N_{60}P_{50}K_{90}$ + кроличий помет (10 т/га)	20,4	22,3	18,2	20,3	9,9	3,4
$N_{90}P_{50}K_{90}$	20,9	23,8	18,6	21,1	10,7	4,2
$N_{120}P_{50}K_{90}$	21,5	24,1	19,1	21,6	11,2	4,7
$НСР_{05}$	0,9	1,0	0,8	0,9		

В среднем за три года исследований применение возрастающих доз минерального азота N_{60-120} на фоне $P_{50}K_{90}$ увеличило урожайность головок капусты брокколи на 6,5–11,2 т/га при общей урожайности головок 16,9–21,6 т/га. В целом применение минеральных удобрений способствовало формированию 38–52 % общего урожая головок капусты брокколи.

Существенное увеличение прибавки урожая головок капусты брокколи отмечено при возрастании дозы минерального азота до 90 кг/га д. в. (4,2 т/га в сравнении с вариантом $N_{60}P_{50}K_{90}$). Дальнейшее увеличение дозы азота до 120 кг/га д. в. привело лишь к тенденции увеличения урожайности головок в сравнении с $N_{90}P_{50}K_{90}$ на 0,5 т/га (в пределах НСР).

Применение различных видов органических удобрений способствовало дополнительному сбору 3,2–3,5 т/га головок капусты брокколи (16–17 % урожая). При этом различные виды органических удобрений (подстилочный навоз КРС, вермикомпост, кроличий помет) по своей агрономической эффективности оказались практически равнозначными.

Комплексное применение минеральных и органических удобрений при возделывании капусты брокколи обеспечило получение 1837–3160 руб./га чистого дохода с рентабельностью 61–177 %.

Наибольший чистый доход 3160 руб./га при рентабельности 177 % был получен при совместном внесении 10 т/га кроличьего помета с $N_{60}P_{50}K_{90}$. Применение 5 т/га вермикомпоста совместно с полным минеральным удобрением способствовало получению 3025 руб./га чистого дохода с рентабельностью 153 %. Высокие затраты на приготовление, транспортировку и внесение 40 т/га подстилочного навоза КРС снизили чистый доход от его применения совместно с $N_{60}P_{50}K_{90}$ при возделывании капусты брокколи до 1837 руб./га при рентабельности 61 %.

Капуста брокколи является уникальной среди других видов капусты огородной в связи с возможностью проводить несколько сборов головок. Первый (основной) учет головок капусты брокколи проводят в июле, второй – в середине августа, третий – в начале сентября, что позволяет получать свежую продукцию на протяжении нескольких месяцев [1, 4–6]

Оценивая вклад различных учетов головок капусты брокколи в общую урожайность, следует отметить преобладающую роль 1-го учета урожая, который обеспечил в среднем 89 % общей урожайности товарной продукции. Долевое участие 2-го учета урожая головок капусты брокколи в среднем составило 8 %, 3-го учета – 3 % общей урожайности головок.

Следует отметить, что высокая эффективность применения минеральных и органических удобрений связана с лучшими показателями структуры урожая в удобренных вариантах (табл. 2).

Диаметр 1 головки капусты брокколи в удобренных вариантах при первом сборе урожая составил 16,0–17,1 см (13,6 см – в контроле), при 2-м учете – 8,5–8,7 см (6,9 см – в контроле), при 3-м учете – 4,9–5,5 см (4,5 см – в контроле) при массе 1 головки 373,3–486,4 г (1-й учет), 37,7–38,5 г (2-й учет) и 12,6–13,9 г (3-й учет) соответственно.

Применение различных видов органических удобрений существенно увеличивало диаметр головки капусты брокколи в сравнении с фоновым вариантом в 3-м учете (на 0,4–0,5 см), а также массу головки в 1-м (на 76,7–85,8 г) и 3-м (1,0–1,3 г) учетах. Внесение N_{90} на фоне $P_{50}K_{90}$ увеличивало в сравнении с фоновым вариантом диаметр головки в 1-м (на 1,1 см) и 3-м (на 0,6 см) учетах, массу головки – также в 1-м (на 102,0 г) и 3-м (на 1,0 г) учетах.

Наряду с показателями урожайности, при возделывании капусты брокколи большое значение имеют качественные показатели ее товарной продукции [7–11, 24–26].

В наших исследованиях на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве содержание сырого протеина в товарной продукции капусты брокколи было достаточно переменчивым и в удобренных вариантах составило 24,5–27,8 %, сырого жира – 2,5–2,7 %, сырой золы – 7,4–7,8 %, углеводов – 13,6–15,2 %, каротина – 1,8–2,1 мг/кг, витамина С – 66,9–68,9 мг/100 г при содержании нитратов в пределах ПДК (900 мг/кг) во всех опытных вариантах (табл. 3).

Применение минеральных и органических удобрений в большей степени оказало положительное влияние на содержание сырого протеина, витамина С и каротина.

Таблица 2

Элементы структуры урожая капусты брокколи в зависимости от применения минеральных и органических удобрений, среднее за 2022–2024 гг.

Вариант	Диаметр головки, см			Масса головки, г		
	Учет			Учет		
	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й
Без удобрений – контроль	13,6	6,9	4,5	213,5	35,1	10,9
$N_{60}P_{50}K_{90}$ – фон	16,0	8,5	4,9	373,3	37,7	12,6
$N_{60}P_{50}K_{90}$ + навоз (40 т/га)	16,6	8,7	5,4	450,0	38,2	13,7
$N_{60}P_{50}K_{90}$ + вермикомпост (5 т/га)	16,6	8,7	5,3	459,1	38,1	13,6
$N_{60}P_{50}K_{90}$ + кроличий помет (10 т/га)	16,5	8,5	5,3	455,1	38,1	13,9
$N_{90}P_{50}K_{90}$	17,1	8,7	5,5	475,3	38,5	13,6
$N_{120}P_{50}K_{90}$	17,1	8,6	5,4	486,4	38,4	13,8
HCp_{05}	0,8	0,4	0,2	20,3	1,8	0,6

Таблица 3

Качество головок капусты брокколи в зависимости от применения минеральных и органических удобрений, среднее за 2022–2024 гг.

Вариант	Сырой протеин	Сырой жир	Сырая зола	Углево-ды	Вита-мин С, мг/100 г	Каротин	Нитра-ты
	% в сухом веществе				в сыром веществе		
Контроль	22,4	2,4	7,7	13,6	63,2	1,4	305
N ₆₀ P ₅₀ K ₉₀	24,5	2,5	7,6	13,6	66,9	1,8	409
N ₆₀ P ₅₀ K ₉₀ + навоз	26,3	2,6	7,8	14,3	68,2	1,9	401
N ₆₀ P ₅₀ K ₉₀ + вермикомпост	26,5	2,5	7,8	15,2	68,9	2,1	372
N ₆₀ P ₅₀ K ₉₀ + кроличий помет	27,1	2,7	7,6	14,4	67,5	1,8	403
N ₉₀ P ₅₀ K ₉₀	27,3	2,5	7,6	14,0	67,4	2,1	460
N ₁₂₀ P ₅₀ K ₉₀	27,8	2,5	7,4	13,9	67,1	2,1	490
HCP ₀₅	1,3	0,1	0,4	0,7	3,2	0,1	20

Содержание общего азота в головках капусты брокколи в удобренных вариантах оказалось 3,91–4,41 %, фосфора – 1,15–1,17, калия – 1,94–2,05, кальция – 0,40–0,45, магния – 0,25–0,30 % в сухом веществе, меди – 4,2–5,0 мг/кг, цинка – 39,7–43,0, железа – 60,8–58,8 мг/кг сухого вещества.

Содержание общего азота в головках капусты брокколи в удобренных вариантах оказалось 3,91–4,41 %, фосфора – 1,15–1,17, калия – 1,94–2,05, кальция – 0,40–0,45, магния – 0,25–0,30 % в сухом веществе, меди – 4,2–5,0 мг/кг, цинка – 39,7–43,0, железа – 60,8–58,8 мг/кг сухого вещества.

Средний удельный (нормативный) вынос элементов питания с 10 ц головок капусты брокколи и соответствующего количества ботвы, показатели которого применяются для расчета баланса элементов питания и доз удобрений в производстве [27–29], оказался 6,5 кг (N), 2,2 (P₂O₅), 3,7 (K₂O), 2,5 (CaO), 1,3 (MgO) кг.

Побочная продукция капусты брокколи после уборки головок практически всегда остается в поле и используется в качестве дополнительного источника питательных веществ. Среднее количество сухого вещества и элементов питания с побочной продукцией капусты брокколи, которые могут быть использованы последующими культурами севооборота, в наших исследованиях составило: сухого вещества – 15 ц/га, азота – 120 кг/га, фосфора – 40, калия – 70, кальция – 45, магния – 25 кг/га.

ВЫВОДЫ

При возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве применение минеральных удобрений увеличило урожайность капусты брокколи на 6,5–11,2 т/га с лучшими показателями агрономической эффективности при применении в предпосадочную культивацию N₉₀P₅₀K₉₀ (прибавка урожая – 10,7 т/га, общая урожайность головок – 21,1 т/га).

Внесение различных видов органических удобрений (подстилочный навоз, вермикомпост, кроличий помет) обеспечило прибавку урожая 3,2–3,5 т/га при общей урожайности головок в вариантах с полной органоминеральной системой удобрения 20,1–20,4 т/га.

Комплексное применение минеральных и органических удобрений при возделывании капусты брокколи способствовало получению 1837–3160 руб./га чистого дохода с рентабельностью 61–177 %.

Содержание сырого протеина в товарной продукции капусты брокколи в удобренных вариантах составило 24,5–27,8 %, жира – 2,5–2,7 %, золы – 7,4–7,8 %, углеводов – 13,6–15,2 %, каротина – 1,8–2,1 мг/кг, витамина С – 66,9–68,9 мг/100 г при содержании нитратов в пределах ПДК (900 мг/кг).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ваш богатый огород / А. П. Шкляр, С. А. Банадысев, В. Н. Босак [и др.]. – Минск : УниверсалПресс, 2005. – 320 с.
2. Козловская, И. П. Производственные технологии в агрономии / И. П. Козловская, В. Н. Босак. – Москва : Инфра-М, 2016. – 336 с.
3. Степура, М. Ф. Влияние видов и доз удобрений на семенную продуктивность капусты брокколи / М. Ф. Степура, Т. В. Матюк, П. В. Пась // Земледелие и растениеводство. – 2025. – № 1. – С. 47–50.
4. Владимирова, И. М. Капуста брокколи / И. М. Владимирова, В. С. Кисличенко // Провизор. – 2007. – № 11. – С. 78.
5. Карпухин, М. Ю. История культуры, ботаническая характеристика и биологические особенности капусты брокколи / М. Ю. Карпухин, В. В. Гуськова // Вестник биотехнологии. – 2023. – № 1 (34). – С. 9–14.
6. Сачивко, Е. В. Значение и сортовое разнообразие различных видов капусты огородной / Е. В. Сачивко, А. И. Мыхлык // Научный поиск молодежи XXI века. – Горки : БГСХА, 2023. – Ч. 1. – С. 54–56.
7. Комплексная биохимическая характеристика брокколи и цветной капусты / Д. А. Фатеев, А. Е. Соловьева, Т. В. Шеленга, А. М. Артемьева // Овощи России. – 2020. – № 6. – С. 104–111.
8. Сачивко, Е. В. Биохимический состав различных видов капусты в зависимости от применения удобрений / Е. В. Сачивко // Наука и инновационные технологии в решении проблем продовольственной безопасности. – Горки : БГСХА, 2025.
9. Сачивко, Е. В. Особенности химического состава различных видов капусты / Е. В. Сачивко, А. И. Мыхлык, В. Н. Босак // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. – Горки : БГСХА, 2023. – С. 225–226.
10. Carotenoids, flavonoids, chlorophylls, phenolic compounds and antioxidant activity in fresh and cooked broccoli (*Brassica oleracea* var. *avenger*) and cauliflower (*Brassica oleracea* var. *alphina* F₁) / L. C. Ramos dos Reis, V. Ruffo de Alveira, M. E. Kienzle Hagen [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2015. – Vol. 63, No. 1. – P. 177–183.
11. Chemical and biological characterization of nutraceutical compounds of broccoli / D. A. Moreno, M. Carvajal. C. Lopez-Berenquer, C. Garcia-Viquera // Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. – 2006. – Vol. 41. – P. 1508–1522.
12. Босак, В. М. Арганічнія ўгнаенні: роля ў забеспячэнні харчовай бяспекі і ўзнаўленні глебавай урадлівасці / В. М. Босак, Т. У. Сачыўка, Н. У. Улаховіч // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки : БГСХА, 2025. – Вып. 10. – С. 22–24.
13. Босак, В. Н. Оптимизация питания растений / В. Н. Босак. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2012. – 203 с.

14. Босак, В. Н. Органические удобрения / В. Н. Босак. – Пинск : ПолесГУ, 2009. – 256 с.
15. Босак, В. Н. Особенности применения органических удобрений в агробиоценозе / В. Н. Босак, О. Н. Марцуль, С. Л. Максимова // Вермикомпостирование и вермикультивирование как основа экологического земледелия в XXI веке: достижения, проблемы, перспективы. – Минск : Конфидо, 2016. – С. 24–26.
16. Забара, Ю. М. Влияние комплексных минеральных удобрений и приемов выращивания рассады на урожайность и качество продукции капусты брокколи / Ю. М. Забара, Л. Гребенникова, С. Соболев // Овощеводство и тепличное хозяйство. – 2023. – № 1. – С. 31–36.
17. Моделирование системы удобрения овощных культур / В. Н. Босак, В. В. Скорина, Н. Мойсюк, М. Кузьменко // Аграрная экономика. – 2011. – № 4. – С. 48–54.
18. Применение удобрений при возделывании овощных культур / В. В. Скорина, Н. П. Купреенко, В. Н. Босак [и др.]. – Минск : БГТУ, 2012. – 16 с.
19. Сачивко, Е. В. Влияние различных видов органических удобрений на урожайность и качество капусты огородной / Е. В. Сачивко, И. П. Козловская // Актуальные проблемы почвоведения и агрохимии в природных и антропогенных ландшафтах. – Минск, 2025. – С. 209–211.
20. Почвенная характеристика опытного участка «Полигон» / В. Н. Босак, Е. Ф. Валейша, Т. В. Сачивко [и др.] // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. – Горки : БГСХА, 2024. – С. 28–30.
21. Технология возделывания овощных, бахчевых культур, картофеля, пряно-ароматических и лекарственных растений / А. А. Аутко, В. К. Пестис, В. В. Гракун [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2022. – 614 с.
22. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Москва : Альянс, 2011. – 352 с.
23. Литвинов, С. С. Методика полевого опыта в овощеводстве / С. С. Литвинов. – Москва : ВНИИО, 2011. – 650 с.
24. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 120 с.
25. Наумова, Н. Л. Оценка качества и безопасности капустных овощей на примере цветной капусты и брокколи / Н. Л. Наумова, О. М. Бурмистрова, Е. А. Бурмистров // АПК России. – 2016. – Т. 23, № 4. – С. 852–856.
26. Причко, Т. Г. Исследование питательной ценности отдельных органов капусты брокколи / Т. Г. Причко, Р. Э. Казахмедов, М. Г. Германова // Плодоводство и виноградарство юга России. – 2021. – № 68 (2). – С. 242–254.
27. Методика определения потребности в минеральных удобрениях под планируемую урожайность сельскохозяйственных культур на уровне района и области / В. И. Бельский, Н. В. Мойсюк, М. П. Кузьменко [и др.]. – Минск : Институт экономики НАН Беларуси, 2006. – 44 с.
28. Методика расчета баланса гумуса в земледелии Республики Беларусь / В. В. Лапа, В. Н. Босак, И. М. Богдевич [и др.]. – Минск : БелНИВНФХ в АПК, 2007. – 20 с.
29. Методика расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В. В. Лапа, Н. Н. Ивахненко, В. Н. Босак [и др.]. – Минск : БелНИВНФХ в АПК, 2007. – 24 с.

YIELD AND QUALITY OF BROCCOLI CABBAGE DEPENDING ON THE APPLICATION OF FERTILIZERS

E. V. Sachivko, I. P. Kozlovskaya

Summery

In studies on sod-podzolic light loamy soil, the use of a complete mineral fertilizer increased the yield of broccoli cabbage by 6,5–11,2 t/ha with better agronomic efficiency in the variant with the introduction of $N_{90}P_{50}K_{90}$ into pre-sowing cultivation, various types of organic fertilizers (bedding manure, vermicompost, rabbit manure) – by 3,2–3,5 t/ha with a total yield of heads in fertilized variants of 16,9–21,6 t/ha, net income from the complex use of fertilizers is 1837–3160 rubles/ha with a profitability of 61–177 %.

The content of crude protein in the heads of broccoli cabbage in fertilized versions turned out to be 24,5–27,8 %, fat – 2,5–2,7 %, ash – 7,4–7,8 %, carbohydrates – 13,6–15,2 %, carotene – 1,8–2,1 mg/kg, vitamin C – 66,9–68,9 mg/100 g with nitrate content within the standard (900 mg/kg).

Поступила 02.05.25

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО НОВЫХ АРОМАТИЧЕСКИХ И ГОРЬКИХ СОРТОВ ХМЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЮГО-ЗАПАДА БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

Г. М. Милоста¹, В. В. Лапа², А. Г. Тарасевич¹, И. М. Орлов¹

¹Гродненский государственный аграрный университет, г. Гродно, Беларусь

²Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Хмель относится к традиционному и наиболее дорогостоящему сырью пивоваренного производства. В настоящее время в Беларуси наблюдается необходимость в формировании отечественного хмелеводства. В соответствии с протоколом поручений Президента Республики Беларусь № 14 от 16.05.2014 г. следует в кратчайшие сроки восстановить в республике собственное производство хмеля. Расширение производственных площадей и эффективное использование уже имеющихся хмельников в Беларуси – важнейшая для республики задача, тесно связанная с Программой импортозамещения. Пивоваренные заводы республики ежегодно приобретают хмелепродукты в ряде Европейских стран. В то же время, качество хмеля, выращиваемого в Беларуси, как показал практический опыт немногочисленных хмелеводческих хозяйств республики, не уступает принятым в мире стандартам для получения хорошего пива. Почвенно-климатические условия республики соответствуют биологическим особенностям хмеля. Президентом нашей республики была подчеркнута необходимость развития пивоваренной отрасли на основе местного сырья. Экономическая независимость Республики Беларусь обуславливает необходимость организации собственного производства конкурентоспособной продукции хмеля в объемах, удовлетворяющих внутренние потребности пивоваренной отрасли республики [5]. Требуется глубокого изучения и научного обоснования вопрос соответствия качества хмелеводческой продукции, полученной в условиях нашей республики, современным требованиям пивоваренной отрасли [3, 4].

Цель проводимых исследований заключалась в научно-производственной оценке ароматических и горьких сортов хмеля отечественной селекции в зависимости от уровня азотно-фосфорно-калийного питания и установление наиболее продуктивных в почвенно-климатических условиях Беларуси в зависимости от доз NPK.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования проводились в 2023–2024 гг. в ООО «Белхмельагро» Малоритского района Брестской области.

Работниками УО «ГГАУ» с 2002 г. проводилась селекционная работа с сортами хмеля. В ходе исследований применялся индивидуальный отбор для выявления сортообразцов, характеризующихся более высокой устойчивостью к вымерзанию, пероноспорозу, развитию паутинного клеща. В результате пятнадцатилетней селек-

ционной работы над исходными образцами были выявлены, а затем размножены сортообразцы, отличающиеся от исходного материала морфологическими и качественными характеристиками. В связи с этим были внесены изменения в названия сортов. Было решено не относить сорт к особому типу (интродуцированому), а нести соответствующие изменения в наименования сортов с приставкой Бел [5].

Изучение продуктивности хмеля проводились со следующими ароматическими и горькими сортами:

- Халлертауер Магнум Бел;
- Норден Бревен Бел;
- Перле Бел;
- Теттангер Бел;
- Спалтер Селект Бел.

Почва дерново-подзолистая рыхло-супесчаная, развивающаяся на водно-ледниковой супеси, подстилаемой с глубины 60 см моренным суглинком. Агрохимическая характеристика пахотного горизонта почвы близки к оптимальным [1, 2]: pH_{KCl} – 6,0–6,2, содержание гумуса – 1,95 %; P_2O_5 – 185 мг/кг почвы; K_2O – 190 мг/кг почвы.

Полевой опыт проводился со всеми сортами на трех уровнях органоминерального питания по следующей схеме:

1. Фон 1 – 30 т/га навоза + $N_{90}P_{60}K_{120}$;
2. Фон 2 – 30 т/га навоза + $N_{180}P_{120}K_{160}$;
3. Фон 3 – 30 т/га навоза + $N_{270}P_{180}K_{200}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведенная оценка горьких и ароматических сортов хмеля в соответствии с методикой государственного сортоиспытания по показателям урожайности и качества шишек позволила выделить наиболее продуктивные в почвенно-климатических условиях Беларуси.

Основным показателем продуктивности хмеля является урожайность шишек. Из данных таблицы 1 видно, что наиболее высокий уровень урожайности шишек получен у большинства сортов в 2024 г., когда сложились более благоприятные погодные условия по влагообеспеченности – большее количество осадков в период цветения и формирования шишек (конец июля – начало августа). Это способствовало формированию большего урожая шишек, особенно у горького сорта Халлертауер Магнум Бел. В этом случае средняя урожайность шишек составила 11,5–13,3 ц/га, и 10,8–13,7 ц/га соответственно в 2023 и 2024 годах.

Самыми низкими показателями урожайности шишек характеризовался сорт Теттангер Бел – в среднем 7,3–10,1 ц/га и 7,1–10,8 ц/га соответственно по годам.

В результате исследований установлено, что урожайность шишек во многом зависит от уровня органоминерального питания и с увеличением доз минеральных удобрений отмечается тенденция к росту.

Максимальная урожайность отмечена при внесении 30 т/га навоза + $N_{270}P_{180}K_{200}$ (фон 3) – 10,1–13,3 ц/га. Практически такой же уровень урожайности получен на фоне 2 – 9,8–13,2 ц/га, т.е. разница не превышает показателей НСР₀₅. Следовательно, нецелесообразно увеличение доз до $N_{270}P_{180}K_{200}$, т. к. конечный результат практически одинаковый.

Таблица 1

Влияние уровней минерального питания на урожайность шишек хмеля, ц/га

Сорт	30 т/га навоза + N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ (фон 1)			30 т/га навоза + N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₆₀ (фон 2)			30 т/га навоза + N ₂₇₀ P ₁₈₀ K ₂₀₀ (фон 3)		
	2023 г.	2024 г.	сред- няя	2023 г.	2024 г.	сред- няя	2023 г.	2024 г.	сред- няя
Халлертауер Магнум Бел	10,8	12,2	11,5	12,8	13,5	13,2	12,9	13,7	13,3
Норден Бревер Бел	10,2	10,4	10,3	11,7	12,1	11,9	11,9	12,7	12,3
Перле Бел	9,6	9,4	9,5	10,7	11,0	10,9	11,1	11,3	11,2
Теттнангер Бел	7,1	7,5	7,3	10,4	9,2	9,8	10,8	9,4	10,1
Спалтер Селект Бел	9,4	9,8	9,6	10,6	10,8	10,7	11,0	10,9	11,0
НСР ₀₅ Фактор 1. Сорт	0,41	0,52	–	0,52	0,53	–	0,53	0,54	–
НСР ₀₅ Фактор 2. Фон	0,52	0,54	–	0,62	0,64	–	0,68	0,67	–

Важными морфологическим показателем качества, влияющим на процессы уборки хмеля, является масса 100 шишек (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние уровней минерального питания на массу 100 шишек
у разных сортов хмеля, г**

Сорт	30 т/га навоза + N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ (фон 1)			30 т/га навоза + N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₆₀ (фон 2)			30 т/га навоза + N ₂₇₀ P ₁₈₀ K ₂₀₀ (фон 3)		
	2023 г.	2024 г.	сред- няя	2023 г.	2024 г.	сред- няя	2023 г.	2024 г.	сред- няя
Халлертауер Магнум Бел	10,6	11,2	10,9	12,8	13,4	13,1	13,3	13,6	13,5
Норден Бревер Бел	10,4	10,2	10,3	12,5	11,3	11,9	12,7	11,5	12,1
Перле Бел	9,8	9,2	9,5	11,9	10,0	11,0	12,0	10,4	11,2
Теттнангер Бел	7,5	8,0	7,8	10,9	11,2	11,1	11,0	11,4	11,2
Спалтер Селект Бел	9,6	9,8	9,7	12,2	11,4	11,8	12,6	12,0	12,3

Крупные шишки облегчают их уборку и снижают потери урожая. В крупных шишках чаще более высокое содержание α- и β-кислот. Наиболее крупные шишки хмеля с максимальной массой 100 штук формировались у сортов Халлертауер Магнум Бел (10,9–13,5 г) и Норден Бревер Бел (10,3–12,1 г), особенно на фоне 3 – 13,5 г и 12,1 г соответственно. Отметим, что на фоне 2 масса 100 шишек находится практически на одном уровне с фоном 3 – 13,1 и 11,9 г соответственно.

При дефиците влаги в почве и повышенной температуре воздуха отмечается снижение урожайности шишек и показателя массы 100 штук, но возрастает количество шишек на одном растении.

Следует отметить значительное снижение урожайности шишек хмеля и массы 100 штук в 2023 г., что связано с недостаточным количеством осадков и острым дефицитом влаги в почве в период активного роста и развития растений хмеля в июне–августе.

Косвенным критерием оценки продуктивности хмеля может служить такой морфологический показатель как количество шишек на одном растении, определяющие также и качество хмеля (табл. 3, 4).

Таблица 3

**Влияние уровней минерального питания на количество шишек у разных сортов
хмеля, шт./растение**

Сорт	30 т/га навоза + N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ (фон 1)			30 т/га навоза + N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₆₀ (фон 2)			30 т/га навоза + N ₂₇₀ P ₁₈₀ K ₂₀₀ (фон 3)		
	2023 г.	2024 г.	сред- няя	2023 г.	2024 г.	сред- няя	2023 г.	2024 г.	сред- няя
Халлертауер Магнум Бел	4585	4902	4744	4500	4534	4517	4365	4083	4224
Норден Бреввер Бел	4414	4587	4501	4212	4819	4516	4216	4814	4515
Перле Бел	4409	4598	4504	4165	4685	4420	4163	4803	4783
Теттнангер Бел	4260	4219	4240	4294	3616	3955	4419	3711	4065
Спалтер Селект Бел	4407	4500	4454	3910	4264	4087	3928	4088	4008

Таблица 4

**Влияние условий минерального питания на площадь листьев
у разных сортов хмеля, тыс. м²/га**

Сорт	30 т/га навоза + N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ (фон 1)			30 т/га навоза + N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₆₀ (фон 2)			30 т/га навоза + N ₂₇₀ P ₁₈₀ K ₂₀₀ (фон 3)		
	2023 г.	2024 г.	сред- няя	2023 г.	2024 г.	сред- няя	2023 г.	2024 г.	сред- няя
Халлертауер Магнум Бел	39,0	40,2	39,6	45,9	46,3	46,0	45,8	46,5	46,2
Норден Бреввер Бел	37,2	37,0	37,1	43,4	44,6	44,0	43,3	44,2	43,8
Перле Бел	40,2	39,8	40,0	46,3	46,7	46,5	47,0	46,9	47,0
Теттнангер Бел	35,7	36,5	36,1	42,6	48,8	45,7	43,0	49,0	46,0
Спалтер Селект Бел	38,9	39,7	39,3	43,2	44,1	43,7	43,7	44,3	44,0

Как следует из полученных данных, повышенные температуры воздуха в 2024 г. способствовали образованию большего количества шишек на одном растении хмеля. Наибольшее количество шишек на одном растении отмечено у сортов Перле Бел и Норден Бреввер Бел 4504–4783 и 4501–4515 штук соответственно в зависимости от доз минеральных удобрений. Более высокое количество шишек на одном растении может служить критерием высокой продуктивности растения хмеля, так в ряде случаев ограничение величины урожайности связано с небольшим количеством шишек на растениях.

Важными показателями продуктивности растений хмеля является площадь листьев и масса листьев с одного растения или с единицы площади, оказывающие определенное влияние на урожайность и качество шишек хмеля (табл. 4).

Анализ данных показал, что сортовые особенности и уровень минерального питания оказывают определенное влияние не только на урожайность, массу 100 шишек хмеля, но и площадь листовой поверхности. В среднем за 2 года наиболее высокие показатели площади листьев получены на фоне 3 у сорта Перле Бел – 47,0 тыс. м²/га.

С увеличением уровня минерального питания показатели площади листьев возрастают, особенно у сортов Халлертауер Магнум Бел (46,2 тыс. м²/га), Перле Бел (47,0) и Теттнангер Бел (46,0 тыс. м²/га). Следует отметить, что площадь листьев на фонах 3 и 2 у этих сортов находится практически на одном уровне. Таким образом, наиболее оптимальным для формирования максимальной площади листьев является внесение 30 т/га навоза + N₁₈₀P₁₂₀K₁₆₀ (фон 2).

Анализ литературных данных показывает, что продуктивность хмеля имеет косвенную связь с площадью листовой поверхности и высотой растений. Известно, что чем более мощная формируется фотосинтетическая поверхность и листовая масса растения, тем более благоприятные условия создаются для формирования высокого и качественного урожая. Важнейшей задачей хмелевода является создание благоприятных условий для формирования мощного листового аппарата и листовой массы, а также условий, способствующих сохранению листовой поверхности и листовой массы растения от поражения вредителями и болезнями.

Таблица 5

**Влияние уровней минерального питания на массу листьев
у разных сортов хмеля, ц/га**

Сорт	30 т/га навоза + N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ (фон 1)			30 т/га навоза + N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₆₀ (фон 2)			30 т/га навоза + N ₂₇₀ P ₁₈₀ K ₂₀₀ (фон 3)		
	2023 г.	2024 г.	сред- няя	2023 г.	2024 г.	сред- няя	2023 г.	2024 г.	сред- няя
Халлертауер Магнум Бел	11,3	12,4	11,9	12,4	14,0	13,2	12,8	13,6	13,2
Норден Бревер Бел	10,5	11,0	10,8	12,1	12,5	12,3	12,6	13,2	12,9
Перле Бел	11,6	11,4	11,5	13,7	14,3	14,5	13,5	15,2	14,5
Теттнангер Бел	10,0	10,2	10,1	12,2	11,8	12,5	12,5	12,7	12,6
Спалтер Селект Бел	10,5	10,7	10,6	11,8	11,0	11,4	12,0	11,2	11,6

Показатель площади листьев имеет тесную корреляционную связь с урожайностью шишек ($r = 0,80$) и с листовой массой ($r = 0,83$). Поэтому создание условий для формирования у растений хмеля мощной листовой массы и площади листовой поверхности – важный фактор получения высокой урожайности шишек хмеля в почвенно-климатических условиях Беларуси [5].

Косвенным критерием продуктивности хмеля являются показатели соотношения массы шишек к листовой массе. Чем больше абсолютная величина этого показателя, тем более высокая доля шишек формируется относительно листовой массы. Он показывает эффективность работы листового аппарата хмеля в зависимости от сорта. Наиболее высокие показатели этого соотношения получены у сортов Халлертауер Магнум Бел (0,96), Норден Бревер Бел (0,95).

Эффективность работы листового аппарата растений хмеля определяется также соотношением массы листьев к их площади. Чем больше этот показатель, тем больше масса единицы площади листьев или их толщины. Наиболее высокие значения этого показателя получены у сортов Халлертауер Магнум Бел (0,29).

Ценность шишек обусловлена тем, что они содержат горькие вещества, полифенольные соединения и эфирные масла. Горькие вещества в свежесобранном хмеле

представлены, главным образом, α и β -кислотами. Кроме кислот, содержатся α и β мягкие смолы. Среди всех компонентов горьких веществ хмеля наиболее ценные α -кислоты (гумулон, когумулон, адгумулон), которые в процессе охмеления сусла превращаются в изо- α -кислоты (изогумулоны). Изогумулоны являются основными носителями горечи пива. Гумулоны обладают горечью, а, следовательно, участвуют в формировании горечи пива [3, 4].

Согласно данным таблицы 6, наиболее высокие показатели содержания в шишках α -кислот отмечены на фоне 3 (30 т/га навоза + $N_{270}P_{180}K_{200}$) у сортов Халлертауер Магнум Бел (13,0 %) и Норден Бревер Бел (12,3 %).

Таблица 6

**Влияние уровней минерального питания на содержание α -кислот
у разных сортов хмеля, %**

Сорт	30 т/га навоза + $N_{90}P_{60}K_{120}$ (фон 1)			30 т/га навоза + $N_{180}P_{120}K_{160}$ (фон 2)			30 т/га навоза + $N_{270}P_{180}K_{200}$ (фон 3)		
	2023 г.	2024 г.	средняя	2023 г.	2024 г.	средняя	2023 г.	2024 г.	средняя
Халлертауер Магнум Бел	12,6	12,8	12,7	13,0	13,4	13,2	12,8	13,2	13,0
Норден Бревер Бел	10,2	10,0	10,1	12,0	11,8	11,9	12,5	12,0	12,3
Перле Бел	6,1	6,3	6,2	7,2	7,5	7,4	7,3	7,7	7,5
Теттангер Бел	3,3	3,7	3,5	5,2	5,6	5,4	4,4	4,5	4,6
Спалтер Селект Бел	3,5	3,7	3,6	4,8	5,2	5,0	4,9	5,1	5,0

По содержанию β -кислот наиболее высокими показателями характеризуется сорта Перле Бел (7,5) и Халлертауер Магнум Бел (7,1) на фоне 3 (табл. 7).

Кроме урожайности шишек, одним из важнейших показателей продуктивности хмеля является сбор α - и β -кислот с единицы площади. Этот показатель значим тем, что для производителей пива важно количество α -кислот, а не только масса шишек. Оплата за хмель зависит от общего содержания в шишках α -кислот, поэтому выход их с единицы площади является важным производственным и экономическим показателем эффективности хмелеводства.

Таблица 7

**Влияние уровней минерального питания на содержание β -кислот
у разных сортов хмеля, %**

Сорт	30 т/га навоза + $N_{90}P_{60}K_{120}$ (фон 1)			30 т/га навоза + $N_{180}P_{120}K_{160}$ (фон 2)			30 т/га навоза + $N_{270}P_{180}K_{200}$ (фон 3)		
	2023 г.	2024 г.	средняя	2023 г.	2024 г.	средняя	2023 г.	2024 г.	средняя
Халлертауер Магнум Бел	5,0	5,0	5,0	6,9	6,7	6,8	7,0	7,2	7,1
Норден Бревер Бел	5,8	6,0	5,9	6,6	6,6	6,6	6,8	7,0	6,9
Перле Бел	6,1	6,3	6,2	7,2	7,5	7,4	7,3	7,7	7,5
Теттангер Бел	3,3	3,7	3,5	5,2	5,6	5,4	4,4	4,8	4,6
Спалтер Селект Бел	3,5	3,7	3,6	4,7	5,2	5,0	4,9	5,1	5,0

Максимальный сбор α -кислот отмечен у сортов Халлертауер Магнум Бел (165,1 ц/га) и Норден Бревер Бел (148,8 ц/га).

Показатель соотношения β/α отражает долю ароматических компонентов в хмеле (табл. 8). Наиболее высокие значения этого соотношения отмечены у сортов Теттангер Бел (1,04), Спалтер Селект Бел (1,00), Перле Бел (1,00).

Таблица 8

Коэффициент β/α в зависимости от сортов хмеля и условий минерального питания

Сорт	30 т/га навоза + N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ (фон 1)			30 т/га навоза + N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₆₀ (фон 2)			30 т/га навоза + N ₂₇₀ P ₁₈₀ K ₂₀₀ (фон 3)		
	2023 г.	2024 г.	сред- няя	2023 г.	2024 г.	сред- няя	2023 г.	2024 г.	сред- няя
Халлертауер Магнум Бел	0,40	0,39	0,40	0,53	0,50	0,55	0,55	0,55	0,55
Норден Бревер Бел	0,57	0,60	0,58	0,55	0,56	0,54	0,54	0,58	0,56
Перле Бел	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Теттангер Бел	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,07	1,04
Спалтер Селект Бел	1,00	1,00	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

ВЫВОДЫ

1. Почвенно-климатические условия Беларуси благоприятны для возделывания хмеля и получения высокого и качественного урожая шишек. Научно обоснованный выбор сорта хмеля и уровня органоминерального питания являются существенным фактором урожайности и качества шишек хмеля.

2. Максимальный уровень урожайности шишек хмеля отмечен при внесении 30 т/га навоза + N₂₇₀P₁₈₀K₂₀₀ (фон 3) – 10,1–13,3 ц/га в зависимости от сорта. Однако наиболее целесообразным вариантом является внесение 30 т/га навоза + N₁₈₀P₁₂₀K₁₆₀ (фон 2), так как разница между фонами не превышает НСР и составляет всего 0,1–0,4 ц/га.

3. Наиболее крупные шишки хмеля с максимальной массой 100 штук формировались на фоне 3 у всех изучаемых сортов, особенно у Халлертауер Магнум Бел (13,5 г) и Норден Бревер Бел (12,1 г). Однако на фоне 2 данный показатель находится практически на том же уровне – разница не превышает показатели НСР₀₅.

4. Максимальные показатели содержания в шишках α -кислот отмечены у сортов Халлертауер Магнум Бел I (13,0 %) и Норден Бревер Бел (12,3 %). Максимальный сбор α -кислот отмечен у сортов Халлертауер Магнум Бел (165,1 ц/га) и Норден Бревер Бел (148,8 ц/га).

5. Показатель соотношения β/α кислот отражает долю ароматических компонентов в хмеле. Наиболее высокие значения этого соотношения отмечены у сортов Теттангер Бел (1,04), Spalter Select (1,00), Перле Бел (1,00).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапа, В. В. Минеральные удобрения и пути повышения их эффективности / В. В. Лапа, В. Н. Босак / Белорус. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2002. – 184 с.

2. Лапа, В. В. Оптимальные дозы удобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / В. В. Лапа, В. Н. Босак; Белорус. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2002. – 24 с.

3. Ляшенко, Н. И. Физиология и биохимия хмеля / Н. И. Ляшенко, Н. Г. Михайлов, Р. И. Рудык. – Житомир : Полисся, 2004. – 408 с.

4. Ляшенко, Н. И. Основные результаты исследований по физиологии и биохимии хмеля / Н. И. Ляшенко, Г. Д. Солодюк // Сб. науч. тр. / Науч.-исслед. и проект.-технолог. ин-т хмелеводства. – Киев, 1988. – Вып. 10: Хмелеводство. – С. 14–19.

5. Милоста, Г. М. Качество шишек хмеля и пива в зависимости от применения комплексных удобрений / Г. М. Милоста, Е. А. Цед // Земледелие и селекция в Беларуси : сб. науч. тр. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию; редкол.: М. А. Кадыров (гл. ред.) [и др.]. – Жодино, 2009. – Вып. 45. – С. 330–339.

YIELD AND QUALITY OF BITTER AND AROMATIC HOP VARIETIES DEPENDING ON THE LEVEL OF MINERAL NUTRITION IN THE SOIL AND CLIMATIC CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

G. M. Milosta, V. V. Lapa, A. G. Tarasevich, I. M. Orlov

Summary

The soil and climatic conditions of the Republic of Belarus are favorable for the growth and development of various bitter and aromatic hop varieties from different regions of the world. Of the cultivated bitter varieties, Hallertauer Magnum Bel (11,5–13,3 c/ha) are distinguished by the yield level of cones, Pearl Bel (9,5–11,2 c/ha) from the aromatic group, and Hallertauer Magnum Bel (12,7–13,2 %) and Northern Brewer Bel (10,1–12,3 %). It should be noted the high potential productivity of the Pearl Bel variety, which is characterized by a large number of forming cones (4504–4783 pcs.) and maximum leaf mass (11.5–14.5 c/ha). The highest coefficients of the β/α acid ratio were obtained in Thettnanger Bel varieties (1,00–1,04). The effect of various doses of nitrogen-phosphorus-potassium fertilizers on the yield of hop cones has been established.

Поступила 18.03.25

3. ЮБИЛЕИ

К 100-ЛЕТИЮ ВЕДУЩЕГО УЧЕНОГО В ОБЛАСТИ ПОЧВОВЕДЕНИЯ Т. А. РОМАНОВОЙ



13 апреля 2025 г. исполнилось 100 лет одному из ведущих ученых Беларуси в области почвоведения, профессору, Заслуженному деятелю науки БССР, Лауреату Государственной премии БССР в области науки, доктору биологических наук, Почетному члену Всесоюзного и Докучаевского общества почвоведов, члену Белорусского общества почвоведов – **Татьяне Александровне Романовой.**

Татьяна Александровна родилась в 1925 г. в г. Невеле Псковской области в семье преподавателей. Невель расположен в приграничном районе с Беларусью и за годы советской власти несколько раз входил то в Витебскую область Беларуси, то в Псковскую область России. Детские и юношеские годы Т. А. Романовой прошли в основном в старинных русских городках, куда направляли на работу ее отца – Никольского Александра Александровича – выпускника Варшавского университета. В основном он работал преподавателем, завучем или директором техникума. Несколько раз подвергался репрессиям: был сослан в г. Казань 1934–1936 гг. и в Караганду (194–1954 гг.). Мать Татьяны Александровны – Никольская Татьяна Степановна – работала учительницей начальных классов. В 5 класс родители отвезли дочь к родственникам в Москву для получения более основательного образования. После окончания 8 класса в 1941 г. Татьяна Александровна приехала к родителям на каникулы в д. Соболево Смоленской области, где их и застала война. В сентябре 1943 г. Смоленскую область освободили от фашистов, а Татьяну

Александровну мобилизовали в число вольнонаемных служащих Советской Армии (воинская часть 83284). В августе 1944 г. она была освобождена от службы для продолжения учебы, а после окончания в 1945 г. Монастырщинской средней школы поступила в Смоленский педагогический институт на географический факультет. В 1946 г. Татьяна Александровна перевелась на 2 курс заочного отделения географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова и поступила на работу преподавателем истории и географии в Узковскую семилетнюю школу в Сычевском районе Смоленской области. В 1950 г. по семейным обстоятельствам она переезжает в г. Минск, где продолжает учебу на заочном отделении географического факультета БГУ, совмещая ее с работой лаборанта в Институте народного хозяйства имени В. В. Куйбышева. После окончания в 1952 году с красным дипломом БГУ имени В. И. Ленина Татьяна Александровна работает инженером-почвоведом отдела изысканий Института «Белгипроводхоз» Минводхоза БССР. В 1952 году принимает участие в большой белорусско-украинской экспедиции по обследованию почв и растительности в составе проекта «Осушение Полесской низменности». В 1955 г. она поступила в аспирантуру при Институте социалистического сельского хозяйства АН БССР в отдел почвоведения, а с 1958 г. и по 2010 г. Татьяна Александровна трудилась в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в разных должностях: сначала в должности младшего научного сотрудника, затем – старшего научного сотрудника, с 1969 года – заведующей отделом генезиса и картографии почв, заведующей сектором генезиса почв и структуры почвенного покрова, а с 1988 г. – ведущим научным сотрудником.



Второй всесоюзный съезд почвоведов, г. Харьков, 1962 г.:
Н. Н. Соловей, Т. Н. Кулаковская, Т. А. Романова, Н. П. Булгаков,
А. Г. Медведев, Н. И. Смеян



Сотрудники отдела географии, картографии и генезиса почв:
Е. И. Самойлович, П. М. Санько, Н. П. Булгаков, Т. А. Романова,
А. К. Малько, В. В. Четвериков, 1967 г.

В 60-е и 70-е гг. Татьяна Александровна осуществляла методическое руководство крупномасштабными почвенными исследованиями на территории колхозов и совхозов Брестской, а периодически и других областей БССР. За этот период ею был собран большой материал и поставлены вопросы, решение которых осуществлялось в последующие годы. Это вопросы генезиса почв и закономерностей формирования почвенного покрова, а также мелиоративных особенностей Белорусского Полесья, поисков путей совершенствования мелиоративных систем и предупреждения негативных последствий осушения.

В 1962 г. Татьяна Александровна защитила кандидатскую диссертацию на тему «Заболоченные почвы Белорусской ССР», и ей была присуждена ученая степень кандидата биологических наук. В последующие годы основное внимание было уделено обобщению материалов обследования почв по административным районам Брестской области и мелиоративным особенностям почв и почвенного покрова, что выражалось в активном участии в разработке разного рода рекомендаций и предложений по диагностике заболоченных почв и нуждаемости их в осушении. За это время получено немало данных по экологическим проблемам мелиорации, в том числе по мелиоративному районированию Полесья, влиянию осушения на прилегающие территории, разработаны параметры увлажненности почв Беларуси.

На основании обобщения данных многолетних исследований в 1978 г. Татьяна Александровна на специализированном совете Д-002.15.01 при Институте почвоведения и агрохимии Сибирского отделения АН СССР (г. Новосибирск) успешно защитила докторскую диссертацию на тему «Почвы и почвенный покров как природная основа осушительной мелиорации: (на примере западной части Белорусского Полесья)».

Татьяну Александровну отличают широта интересов и нетрадиционный подход к решению научных проблем, глубокие знания не только в области почвоведения, но и в ряде смежных дисциплин: экологии, климатологии, ботанике, лесоводстве, сельском хозяйстве, а также охране окружающей среды. Владея польским и немецким языками, она вела переписку с учеными Польши и Германии. Обмен публикациями помогал следить за развитием почвенной науки в Европе и в мире, кроме постоянной работы с отечественной и зарубежной литературой в библиотеках, позволяющей вести исследования на современном уровне.



Т. А. Романова делает доклад на конференции, 1968 г.

Трудами Татьяны Александровны создана и развивается научная школа генетического почвоведения и географии почв (в аспекте изучения структуры почвенного покрова). Оба направления используются для разработки научных основ генетической классификации почв, экологизации землепользования, мелиорации почв и территорий. Большое внимание Татьяна Александровна уделяла подготовке кадров высшей квалификации. Она успешно руководила аспирантами. Общее число прошедших аспирантскую подготовку под ее руководством и успешно защитивших кандидатские диссертации составляет 17 человек. Это школа почвоведов, которых Татьяна Александровна научила не только основам знаний о почвах и почвенном покрове, но и преданности своему делу, беззаветному служению науке, которой она сама отдает все свои интеллектуальные, организаторские и душевные силы. Десятки высококвалифицированных специалистов, работающих в разных областях знаний, с гордостью называют себя ее учениками. В 1989 г. решением Высшей аттестационной комиссии при Совете Министров СССР Татьяне Александровне присвоено ученое звание профессора по специальности «почвоведение».



З. С. Ковалевич, Н. Н. Ивахненко, Т. А. Романова, 2005 г.

Широко известны энергия и работоспособность Татьяны Александровны. Долгие годы она была секретарем и заместителем председателя Совета Белорусского филиала Всесоюзного общества почвоведов (ВОП), членом Центрального Совета ВОП и членом Президиума Белорусского географического общества, членом Президиума Белорусского общества охраны природы и членом Научных Советов АН БССР по проблемам Полесья и биосферы; принимала участие в работе многочисленных научных съездов, международных конгрессов, конференций, симпозиумов; выступала с докладами и участвовала в дискуссиях.

Татьяна Александровна долгое время была членом двух Специализированных Советов по защитах кандидатских и докторских диссертаций в области сельскохозяйственных и технических наук при институтах почвоведения и агрохимии, мелиорации и луговодства НАН Беларуси. В течение многих лет Татьяна Александровна являлась председателем Государственной экзаменационной комиссии географического факультета БГУ.

Татьяна Александровна – участник Великой Отечественной войны. Ее научная и производственная деятельность отмечены рядом правительственных наград: орденами «Знак Почета» (1971 г.) и «Отечественной войны II степени» (1985 г.); медалями «За трудовую доблесть» (1966 г.), «За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина» (1970 г.), бронзовой медалью ВДНХ СССР, «40-летие победы в Великой Отечественной войне» (1985 г.), «70 лет вооруженных сил СССР» (1988 г.), «50 лет победы в Великой Отечественной войне» (1995 г.), «Георгий

Жуков» (1997 г.), «60 год вызвалення Рэспублікі Беларусь ад нямецка-фашысцкіх захопнікаў» (2004 г.), «60 лет победы в Великой Отечественной войне» (2005 г.).

Татьяна Александровна, как выдающийся естествоиспытатель, географ и почвовед, известна не только в нашей республике, но и далеко за ее пределами. Особенности таланта и творчества Татьяны Александровны заключаются в выдвижении дискуссионных идей и проблем. Этим она стимулирует необходимость перемен и движение вперед как науки, так и ее творцов. Она активно внедряет идеи и методы генетического почвоведения в географические, сельскохозяйственные и другие естественные науки. В 1976 г. ей присуждена Государственная премия БССР в области науки, а в 1981 г. присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Белорусской ССР».

Материалы исследований Татьяны Александровны регулярно публикуются в республиканской печати, а также в странах ближнего и дальнего зарубежья. По результатам выполненных научных исследований ею опубликовано более 300 научных работ, из которых большая часть посвящена проблемам генезиса и мелиорации почв, биоразнообразию и структуре почвенного покрова. Ее статьи всегда отличаются новизной постановки и решения научных проблем. Среди них такие проблемы, как роль пестроты почвенного покрова в жизни экосистем, актуальные аспекты биосферологии – самоочищение, устойчивость, сенсорность почв и др.

Татьяна Александровна принимает самое активное участие в научно-общественной жизни. Ею написано более 250 отзывов на авторефераты соискателей ученых степеней кандидатов и докторов наук по почвоведению, агрохимии, биологии и географии как в нашей Республике, так и в странах ближнего зарубежья. Она выступила официальным оппонентом 38 кандидатских и 17 докторских диссертаций.

В 2005 г. Татьяна Александровна опубликовала значимый труд, подводящий итоги изучения почв Беларуси, – «Диагностика и классификация почв Беларуси в международной системе (FAO, WRB)» – который представляет собой фундаментальное теоретическое исследование почв. По спектру и полноте рассматриваемых вопросов эта работа существенно отличается от всех ранее выполнявшихся в Беларуси.

Татьяной Александровной систематизирован опыт картографирования и изучения генезиса почв более чем за 40 лет научно-исследовательской работы в области почвоведения. В результате получены новые сведения о действии всех факторов почвообразования в условиях Беларуси. Установлено, что из составляющих климата ведущая роль принадлежит радиационному балансу. Рельеф, перераспределяющий влагу и тепло, действует в строгой совокупности с составом и строением почвообразующих пород. Сами же породы являются лишь условием почвообразования и все их разнообразие в областях ледниковой аккумуляции может быть сведено к 5 четко дифференцированным и легко распознаваемым группам. Эволюция почв и растительности обеспечивает конструирование экологических рядов луговой и лесной растительности, тесно связанной с генетически определенными почвами. При этом установлена специфика экотонов (переходных зон) как группировок, не обладающих особой почвой, но обусловленных естественными флуктуациями климата.

Установлено, что время формирования профиля почвы в лесной зоне определяется периодом жизни одного-двух поколений древесных растений. Совокупность этих факторов с учетом антропогенных изменений составляет экологическую часть генетической характеристики почв.

Почва рассматривается как биокосное тело с его материальной, энергетической и информационной составляющими. Особое внимание уделено исследованиям водного режима почв, в котором отдельно учитывается собственно водный режим, как накопление и движение влаги в почвенном профиле, и режим влажности (увлажненность), как среднее многолетнее количество влаги, участвующей в формировании почвы, с разработкой параметров увлажнения почв на основе анализа более 500 тыс. еженедельных натуральных измерений влажности, проведенных Гидрометеослужбой БССР на 86 участках за 1952–1978 гг. Кроме того, разделение автоморфных, полугидроморфных и гидроморфных почв по совокупности химических показателей подтверждено статистическими методами.

Найдено соответствие между химической дифференциацией профиля и типом водного режима (непромывного, промывного, застойного, выпотного). При этом установлено, что промывной режим не преобладает в почвах Беларуси и определяющим является не вертикальное движение влаги, а боковой поверхностный или внутрипочвенный сток, с которым по большей части осуществляется вынос элементов питания из пахотных горизонтов. Описано генетическое разнообразие почв с использованием полных комплектов аналитических данных (~8000 значений), микроморфологических описаний, электронно-микроскопических снимков и рентгендифрактограмм минералогического состава почвенного ила.

Итогом исследований является не имеющая аналогов генетическая классификация почв, построенная в соответствии с канонами формальной логики, представляющая собой организованное пространство признаков, среди которых ведущим принят водный режим почв в самом широком его смысле. Восемь таксономических уровней позволяют определить классификационное положение любой почвы с учетом ее естественных и антропогенных признаков независимо от того, под каким названием она фигурирует, и насыщают ее разнообразной информацией природного и антропогенного происхождения.

Обладая огромной эрудицией, широким кругозором, высочайшей исследовательской культурой, Татьяна Александровна уделяет большое внимание популяризации знаний о почвах и природе Беларуси не только по радио и телевидению, но и в школах г. Минска. Татьяна Александровна не только прекрасный ученый с высоким чувством гражданской ответственности, но и разносторонне развитый, на редкость одаренный человек, любящий живопись и музыку, а также пишущий прекрасные стихи. Она постоянный посетитель выставок, музеев, театров.

Татьяну Александровну отличают честность, принципиальность, высокая духовность и ответственность за порученное дело, глубокая человечность и исключительная скромность. Она блестящий оппонент, человек, охотно делящийся своими феноменальными знаниями со всеми нуждающимися в них, ей удается поощрять смелые начинания, поддерживать сомневающихся и вселять надежду в тех, кто идет вперед трудной дорогой научных исследований. Татьяна Александровна пользуется большим доверием у коллег и учеников. Именно к ней они идут за советом. Практически все встречи и беседы с ней посвящены обсуждению новых проблем и идей. Широта ее знаний, общительность, умение быть всем нужной и полезной, делают ее своей в любом коллективе. При всем этом она всегда остается обаятельной и красивой женщиной, элегантной и жизнерадостной, окруженной атмосферой благожелательности.

В год своего юбилея Татьяна Александровна полна сил и творческих замыслов. 8 апреля 2025 г. в Белорусской сельскохозяйственной библиотеке состоялась пресс-конференция для газеты «Навука». Татьяна Александровна очень интересно рассказывала о развитии почвоведения в Беларуси, особенно о развитии мелиорации, о событиях Великой Отечественной войны, с теплотой и уважением вспоминала коллег, с которыми ей посчастливилось работать, дала высокую научную оценку работам своих аспирантов.

16–17 апреля 2025 г. в Институте почвоведения и агрохимии прошла Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы почвоведения и агрохимии в природных и антропогенных ландшафтах», посвященная 100-летию со дня рождения ученого-почвоведа, доктора биологических наук, профессора Татьяны Александровны Романовой. Основной целью проведения конференции был обмен научной информацией с учеными из регионов с разными почвенно-климатическими и экономическими условиями.

На конференции Татьяна Александровна выступила с ярким научным докладом «Инновации в исследовании почв Беларуси (1958–2025 гг.)», в котором рассказала о становлении генетического почвоведения и географии почв в Беларуси, о путях инновационного развития и практической направленности результатов исследований. Юбилера тепло и сердечно поздравили ее многочисленные ученики, коллеги, единомышленники и друзья.



На форуме широко обсуждались современные проблемы почвенной науки, агрохимические исследования и разработки по повышению продуктивности сельскохозяйственных культур. Основные направления работы конференции: эволюция почв и современные методы их картографирования, кадастровая оценка земель; сохранение и воспроизводство плодородия почв; защита почв от деградации,

формирование почвозащитных адаптивно-ландшафтных систем земледелия и их охрана при интенсивном землепользовании; эффективное применение удобрений в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур.



К началу конференции были изданы материалы, в которых освещены результаты исследований почвенной и агрохимической наук по генезису, классификации, диагностике, эволюции и производительной способности почв, рациональному использованию удобрений и повышению урожайности сельскохозяйственных культур, экологически безопасному и экономически выгодному землепользованию.

Ученики, друзья и единомышленники не только в республике, но и далеко за ее пределами, сердечно поздравляют Татьяну Александровну с Юбилеем! Желают ей – прекрасному Человеку, талантливому исследователю и доброму наставнику крепкого здоровья на долгие годы и дальнейших творческих успехов на благо науки!

*Сотрудники Института почвоведения
и агрохимии, ученики, коллеги*

РЕФЕРАТЫ

УДК 631.45

Матыченкова О. В., Азарёнок Т. Н., Дыдышко С. В. Влияние почвенных и погодных условий на фотосинтетический потенциал и продуктивность сои // Почвоведение и агрохимия. – 2025. – № 1(74). – С. 7.

Определены показатели фотосинтетической деятельности сои сорта Адесса (площадь листовой поверхности, фотосинтетический потенциал) в агрометеорологических условиях 2023–2024 гг. Установлено влияние почвенных и погодных условий центральной почвенно-экологической провинции Беларуси на продуктивность сои. Выявлено, что при засушливых условиях в начальные фазы вегетации сои ее продуктивность на дерново-подзолистых временно-избыточно увлажненных суглинистых почвах на 10–15 % выше (38,2 ц/га против 34,1 ц/га), чем на автоморфных почвах. При достаточном увлажнении (ГТК = 1,25–1,45) продуктивность на автоморфных почвах на 20 % выше (39,3 ц/га против 31,6 ц/га), чем на временно избыточно увлажненных почвах. Найдена «сильная» связь ($r = 0,84–0,97$) между показателями урожайности сои и запасами калия, фосфора и гумуса и «умеренная» зависимость от показателей фотосинтетической деятельности ($r = -0,31–0,39$).

Табл. 7. Рис. 4. Фото. 2. Библиогр. 17.

УДК 631.459.3

В. Б. Цырыбка, Г. М. Усцінава, І. А. Лагачоў, П. С. Гуцько, А. В. Юхнавец, С. А. Касьянчык Ацэнка патэнцыяльных рызыкаў праявы дэфляцыі ва ўмовах цэнтральнай часткі паўдневай глебава-экалагічнай правінцыі Беларусі // Почвоведение и агрохимия. – 2025. – № 1(74). – С. 21.

У артыкуле дадзена ацэнка патэнцыйных рызыкаў праявы дэфляцыйных працэсаў на прыкладзе пясчанай глебы ва ўмовах цэнтральнай часткі паўдневай глебава-экалагічнай правінцыі.

Устаноўлена, што пры вырошчванні шматгадовай травы верагоднасць развіцця дэфляцыі ў метэаралагічных умовах 2024 г. была мінімальная на тэрыторыі даследаванага ключавага ўчастка. У той жа час пры апрацоўцы кукурузы на працягу перыяду назіранняў адзначана 17 дзен з сярэдняй рызыкай, 4 – з высокім, а таксама 2 – з максімальнай, калі верагодна фарміраванне пыльнай буры.

Атрыманыя даныя поўнаасцю ўзгадняюцца з праведзенымі раней даследаваннямі і ў чарговы раз указваюць на неабходнасць укаранення глебаахоўных элементаў земляробства на моцнадэфляцыйнанебяспечных глебах.

Табл. 6. Мал. 2. Фота. Бібліогр. 17.

УДК 631.8:633.15

Мезенцева Е. Г., Кулеш О. Г., Грачёва А. А., Зенькова С. М. Содержание и соотношение основных элементов питания в растениях кукурузы // Почвоведение и агрохимия. – 2025. – № 1(74). – С. 30.

В опыте на дерново-подзолистой высоко окультуренной суглинистой почве проведены исследования по изучению параметров, соотношения основных элементов питания в растениях кукурузы, их динамику по основным фазам развития культуры в зависимости от погодных условий и уровня минерального питания. Наиболее сбалансированное соотношение элементов питания в зерне кукурузы отмечено при применении одного азотного удобрения в комплексе с некорневыми подкормками посевов культуры микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор и регулятором роста растений Агропон С или органоминеральным удобрением Форкроп Голден 10–14–4.

Табл. 5. Рис. 7. Библиогр. 11.

УДК 631.82:633.16

Лапа В. В., Гракун, В. В., Хмелевский С. С., Пироговская Г. В., Сороко В. И. Влияние сбалансированности минерального питания на урожайность ячменя и окупаемость минеральных удобрений // Почвоведение и агрохимия. – 2025. – № 1(74). – С. 44.

Приведены результаты исследований о влиянии сбалансированности минерального питания на урожайность ячменя при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Установлено, что в среднем за два года исследований при внесении оптимальных доз NPK урожайность составила 51,7 ц/га. Отсутствие или недостаток любого из элементов питания приводило к достоверному снижению урожайности зерна. Наиболее существенным было снижение урожайности зерна ячменя при внесении одних калийных удобрений (14,3 ц/га) и азотно-калийных удобрений в несбалансированном соотношении $N_{45}K_{150}$ (13,8 ц/га).

Табл. 3. Библиогр. 13.

УДК 631.445.2:631.85

Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Грачёва А. А., Зенькова С. М. Сезонная динамика степени подвижности фосфатов в дерново-подзолистой легкосуглинистой высокоокультуренной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2025. – № 1 (74). – С. 52.

Представлены результаты изучения сезонной динамики степени подвижности фосфатов в посевах кукурузы и яровой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой высокоокультуренной почве. Установлено влияние на изменение

данного показателя в течении вегетации удобрений и гидротермических условий. Применение минеральных фосфорных удобрений повышало степень подвижности фосфатов в начальные периоды роста исследуемых культур на 0,14–0,31 мг/л раствора или на 10–28 %. Внесение навоза КРС повышало показатель на 0,23–0,45 мг/л раствора или 26–42 % в год действия и в первый год последствия.

Установлено влияние условий увлажнения на изменения показателя степени подвижности фосфатов. Наибольшая концентрация фосфатов, извлекаемых солевой вытяжкой, отмечалась в условиях оптимальной влажности почвы – 70–100 % НВ. При снижении влажности со 100 до 70 % НВ степень подвижности фосфатов увеличивалась, при снижении влажности почвы ниже 70 % НВ – уменьшалась.

Табл. 3. Рис. 3. Библиогр. 30.

УДК 631.8:632.118.2:633.13

Путятин Ю. В., Богдевич И. М., Станилевич И. С., Третьяков Е. С., Довнар В. А. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы на накопление ^{90}Sr зерном овса // Почвоведение и агрохимия. – 2025. – № 1(74). – С. 63.

Корреляционный анализ показал достаточно тесную отрицательную взаимосвязь (r) между рН ($r = -0,67$), содержанием обменного кальция ($r = -0,69$) и содержанием гумуса ($r = -0,61$) в дерново-подзолистой супесчаной почве и коэффициентами перехода (K_p) ^{90}Sr в зерно овса. Менее значимые связи отмечаются между (K_p) ^{90}Sr и содержанием подвижного калия ($r = -0,46$), фосфора ($r = -0,36$), обменного магния ($r = -0,42$). Минимальное накопление ^{90}Sr отмечается в интервале обменной кислотности 6,4–6,9 рН. Доля пахотных почв, загрязненных радионуклидами 47 районов Республики Беларусь в которых можно ожидать минимальные переходы ^{90}Sr в сельскохозяйственные растения (рН более 6,0) составляет 45,5 %. Содержание гумуса, при котором отмечено минимальное накопление ^{90}Sr находилось в пределах 3,0–3,3 %, наиболее заметное снижение поступления радиостронция наблюдается до 2,7 %. Содержание обменного кальция, при котором отмечено минимальное накопление ^{90}Sr зерном овса находилось в пределах 930–1033 мг/кг почвы, наиболее заметное снижение поступления радиостронция наблюдалось до 800 мг/кг почвы. Содержание обменного магния, при котором отмечено минимальное накопление ^{90}Sr зерном овса находилось в пределах 260–290 мг/кг почвы, наиболее заметное снижение поступления радиостронция наблюдалось до 230 мг/кг почвы. По результатам анализа данных отбора сопряженных образцов почвы и растений за 2022–2024 гг. установлены коэффициенты перехода ^{90}Sr в зерно овса в зависимости от обменной кислотности почв дерново-подзолистой супесчаной почвы, на кислых почвах коэффициенты составляют 3,97–3,27, на близких к нейтральным и нейтральных 1,04–0,77.

Табл. 3. Рис. 6. Библиогр. 22.

УДК 631.8:633.16:631.445.2

Рак М. В., Пукалова Е. Н., Кудласевич С. Г., Гук Л. Н. Эффективность внесения макро- и микроудобрений в технологии возделывания озимого ячменя на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2025. – № 1(74). – С. 74.

В статье представлены результаты исследований по влиянию макро- и микроудобрений на урожайность и качество зерна при возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Установлено, что эффективным приемом повышения озимого ячменя урожайности озимого ячменя является подкормка растений азотом, медью и марганцем на фоне внесения фосфорно-калийных удобрений.

Табл. 3. Рис. 2. Библиогр. 13.

УДК 631.4:631.8

Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Бирюкова О. М., Кирдун Т. М., Симанкова Ю. А. Оценка состояния микробного сообщества дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от способа обработки и систем удобрения // Почвоведение и агрохимия. – 2025. – № 1(74). – С. 82.

В статье рассмотрено влияние приемов обработки почвы и систем удобрения на численность основных физиологических групп микроорганизмов в разных слоях дерново-подзолистой супесчаной почвы, изучена их динамика по фазам развития озимой пшеницы. Определено, что наибольшей активизации изучаемых микроорганизмов независимо от способов обработки почвы способствовала минеральная система удобрения и органоминеральная с внесением 40 т/га подстильного навоза КРС. Наиболее высокая численность аммонификаторов в удобренных вариантах отмечена весной в начале вегетации, автохтонных и целлюлозолитиков – к фазе выхода флаг-листа, актиномицетов, олигокарбофилов и олигонитрофилов – в предуборочный период, тренд изменений в количестве амилолитиков зависел от вносимых удобрений. Исключение составили микроорганизмы на МПА в блоке с дискованием в слое 10–20 см (максимум к концу вегетации), а также олигонитрофилы и автохтоны в слое 0–10 см (максимум в начале вегетации).

Табл. 3. Библиогр. 37.

УДК 632

Пироговская Г. В., Лемешевская А. С. Динамика климатических показателей в центральной части Беларуси за последний 30-летний период 1991–2020 гг. (по данным лизиметрического центра «Минск») // Почвоведение и агрохимия. – 2025. – № 1(74). – С. 98.

В статье приведены данные по динамике климатических показателей (количеству атмосферных осадков, температуре воздуха, величине инфильтрации атмосферных осадков на глубину лизиметров 1,0–1,5 м, поступлению химических элементов с осадками на поверхность дерново-подзолистых и торфяных низинных почв, количеству бездождных периодов (с мая по сентябрь) по лизиметрическому центру «Минск» и среднемноголетним данным по метеостанции Минск за период 1991–2020 гг. Установлено, что среднемноголетнее годовое количество атмосферных осадков в лизиметрическом центре «Минск» уменьшилось на 93,8 мм (13,6 %) по сравнению со среднемноголетним по метеостанции Минск (687,5 мм) в том числе, за весенний период – на 26,9 мм, летний – 40,9, осенний – 16,1, зимний – на 9,9 мм. Среднегодовая температура воздуха в лизиметрическом центре «Минск» составила 7,2 °С, при среднемноголетнем за этот период по метеостанции Минск – 6,9 °С соответственно, сумма активных температур воздуха за май–сентябрь составила 2472,8 и 233,0 °С, при ГТК – 1,26 и 1,53. На долю влажных лет приходилось 20 % (6 лет), оптимальных – 20 % (6 лет), слабозасушливых – 40 % (12 лет), засушливых – 13,3 % (4 года) и очень засушливых – 6,7 % (2 года). Величина инфильтрации атмосферных осадков в большей степени изменяется в зависимости от типа и гранулометрического состава почв: общий объем инфильтрации атмосферных осадков составил в среднем за 1991–2020 гг. в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (лиз. 1, 2) – 108,9 л/м², рыхлосупесчаной, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлыми песками, (лиз. 9, 10) – 164,6, песчаных – 212,5 и торфяной низинной (в севообороте) – 97,2 л/м², при среднегодовом поступлении химических элементов с осадками на поверхность этих почв азота нитратного – 13,6 кг/га, аммонийного – 16,2, общего азота – 29,8, калия – 12,0, фосфора – 1,3 серы – 14,8, кальция – 36,1, магния – 4,5 и натрия – 9,3 кг/га. Количество бездождных периодов с мая по сентябрь в Минске в среднем составило 4,7 периодов, суммарная продолжительность бездождья – 88,4 дня (57,8 % от величины вегетационного периода), при минимальной продолжительности бездождья 11,9 дней, максимальной – 29,4 дня.

Табл. 5. Фото. Библиогр. 9.

УДК 635.35:631.82:631.86

Сачивко Е. В., Козловская И. П. Урожайность и качество капусты брокколи в зависимости от применения удобрений // Почвоведение и агрохимия. – 2025. – № 1(74). – С. 110.

В исследованиях на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве применение полного минерального удобрения увеличило урожайность капусты брокколи на 6,5–11,2 т/га (при лучшей агрономической эффективности в варианте с внесением в предпосевную культивацию N₉₀P₅₀K₉₀), различных видов органических удобрений (подстилочный навоз, вермикомпост, кроличий помет) – на 3,2–3,5 т/га при общей урожайности головок в удобренных вариантах 16,9–21,6 т/га. Чистый доход комплексного применения минеральных и органических удобрений при возделывании капусты брокколи составил 1837–3160 руб./га при рентабельности 61–177 %. Содержание сырого протеина в головках капусты брокколи в удобренных вариантах

оказалось 24,5–27,8 %, жира – 2,5–2,7 %, золы – 7,4–7,8 %, углеводов – 13,6–15,2 %, каротина – 1,8–2,1 мг/кг, витамина С – 66,9–68,9 мг/100 г при содержании нитратов в пределах ПДК (900 мг/кг).

Табл. 3. Библиогр. 29.

УДК 633.791:631.524.84(047.31)

Милоста Г. М., Лапа В. В., Тарасевич А. Г., Орлов И. М. Урожайность и качество новых ароматических и горьких сортов хмеля в зависимости от уровня минерального питания в почвенно-климатических условиях юго-запада Белорусского Полесья // Почвоведение и агрохимия – 2025. – № 1(74). – С. 117.

Почвенно-климатические условия юго-запада Белорусского Полесья благоприятны для роста и развития различных по скороспелости горьких и ароматических белорусских сортов хмеля. Из возделываемых горьких сортов по уровню урожайности шишек выделяются сорта Халлертауер Магнум Бел (11,5–13,3 ц/га), из группы ароматических – Перле Бел (9,5–11,2 ц/га), а по содержанию в них α -кислот выделяются сорта Халлертауер Магнум Бел (12,7–13,2 %), Норден Бревер Бел (10,1–12,3 %). Следует отметить высокую потенциальную продуктивность сорта Перле Бел, для которого характерно большое количество формирующихся шишек (4504–4783 шт.) и максимальные показатели листовой массы (11,5–14,5 ц/га). Наиболее высокие коэффициенты соотношения β/α кислот получены у сортов Теттангер Бел (1,00–1,04). Установлено влияние на урожайность шишек хмеля различных доз минеральных удобрений.

Табл. 8. Библиогр. 5.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия», согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 06.02.2024 № 30, 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, в редакции постановления ВАК Республики Беларусь от 22.08.2022 № 5) 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 требованиями государственного стандарта СТБ 7.1-2024 «СИБИД. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», утвержденного постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 12 февраля 2024 г. № 10. 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.