

ISSN 0130-8475

Институт почвоведения и агрохимии

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1961 г.

**№ 2(69)
Июль–декабрь 2022 г.**

Минск
2022

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

Учредитель: Республикаское 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. М. БОГДЕВИЧ, И. Р. ВИЛЬДФЛУШ,
С. А. КАСЬЯНЧИК, Н. В. КЛЕБАНОВИЧ, Е. Г. МЕЗЕНЦЕВА,
Н. А. МИХАЙЛОВСКАЯ, Г. В. ПИРОГОВСКАЯ,
Ю. В. ПУТЯТИН, М. В. РАК, В. Г. СЫЧЕВ

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

2(69)
Июль – декабрь 2022 г.

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

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

Ответственная за выпуск *Н. Ю. Жабровская*
Редакторы *Т. Н. Самосюк, А. С. Атлас*
Компьютерная верстка *А. С. Атлас*

Подписано в печать 22.12.2021. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 10,72. Уч.-изд. л. 10,57. Тираж 50 экз. Заказ 663.

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

© Республиканское научное дочернее унитарное
предприятие «Институт почвоведения и агрохимии», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

**Матыченкова О. В., Азарёнок Т. Н., Матыченков Д. В., Дыдышко С. В.,
Шульгина С.В.** Особенности территориального размещения и динамики
урожайности проса на зерно в Республике Беларусь 7

Цырыбка В. Б., Лагачоў І. А., Усцінава Г. М., Яротаў А. Я. Трансфармацыя
дзярнова-падзолістых глебаў схілавых сельскагаспадарчых зямель Мінскага
ўзвышша 17

Логачев И. А., Юхновец А. В., Касьянчик С. А., Воронович С. Д. Вли-
яние эрозионных процессов на изменение параметров основных агрохи-
мических показателей плодородия почв склоновых сельскохозяйственных
земель Республики Беларусь 30

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Кирдун Т. М., Жабровская Н. Ю. Виды ор-
ганических удобрений и методика расчета их потребности для обеспечения
бездефицитного баланса гумуса в пахотных почвах..... 37

**Серая Т. М., Касьянчик С. А., Богатырева Е. Н., Кирдун Т. М., Ма-
чок Т. В., Симанкова Ю. А., Торчило М. М.** Влияние систем удобрения на
урожайность и показатели качества зерна озимой пшеницы на дерново-под-
золистой супесчаной почве 57

Мезенцева Е. Г. Рапс – основная масличная культура в Республике Бе-
ларусь 71

**Пироговская Г. В., Ермолович И. Е., Матыченков В. В., Хмелевский С. С.,
Максимчук А. С., Сороко В. И.** Содержание кремния в атмосферных осад-
ках, почвах и почвенных растворах, потери при вымывании и потребление
его культурами звена севооборота, возделываемых на дерново-подзолистых
легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах Республики Беларусь 84

Кулешова А. А. Влияние новых форм макро-, микроудобрений и регуляторов роста на динамику роста, накопление сухого вещества, урожайность, содержание и вынос элементов питания яровой тритикале..... 97

Михайлowsкая Н. А., Барашенко Т. Б., Погирницкая Т. В., Дюсова С. В. Скрининг азотфикссирующих бактерий по способности метаболизировать гербицид глифосат как источник фосфора..... 110

ЮБИЛЕИ

Академик Национальной академии наук Беларуси Богдевич Иосиф Михайлович (к 85-летия со дня рождения) 121

Сергеенко Владимир Тереньевич (к 85-летия со дня рождения) 126

Рефераты 128

Правила для авторов 132

CONTENTS**1. SOIL RESOURCES AND THEIR RATIONAL USE**

Matychenkova O. V., Azarenok T. N., Matychenkov D. V., Dydyshko S. V., Shulgina S. V. Features of territorial location and yield dynamics of millet for grain in the Republic of Belarus..... 7

Tsyrybka V. B., Lahachou I. A., Tsybulka M. M., Ustsinava H. M., Yarotau A. Ya. Transformation of sod-podzolic soils of slope agricultural lands of the Minsk hills 17

Lahachou I. A., Yukhnavets A. V., Kas'yanchik S. A., Varanovich S. D. The influence of erosion processes on the change in the parameters of the main agrochemical indicators of soil fertility on sloping agricultural lands of the Republic of Belarus.....30

2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION

Seraya T. M., Bogatyreva E. N., Kirdun T. M., Zhabrovskaya N. Yu. Types of organic fertilizers and methods of calculating their needs to ensure a deficiency-free balance of humus in arable soils..... 37

Seraya T. M., Kas'yanchik S. A., Bogatyreva E. N., Kirdun T. M., Machok T. V., Simankova Yu. A., Torchilo M. M. The influence of fertilizer systems on the yield and quality indicators of winter wheat grain on sod-podzolic sandy loam soil 57

Mezentseva E. G. Rapeseed – the main oilseed crop in the Republic of Belarus.....71

Pirogovskaya G. V., Ermolovich I. E., Machenkov V. V., Khmelevsky S. S., Maksimchuk A. S., Soroko V. I. Silicon content in atmospheric precipitation, soils and soil solutions, loss during leaching and consumption by crops of the crop rotation link cultivated on sod-podzolic light loamy and loose sandy soils of the Republic Belarus 84

Kuleshova A. A. Influence of new forms of macro-, micro-fertilizers and growth regulators on growth dynamics, accumulation of dry matter, yield, content and removal of spring triticale nutrition elements 97

Mikhailouskaya N. A., Barashenko T. B., Pogirnitskaya T. V., Dyusova S. V. Screening the capability of nitrogen fixing bacteria to metabolise herbicide glyphosate as a source of phosphorus.....	110
--	-----

OUR JUBILEES

Academician of the National Academy of Sciences of Belarus Bogdevich Joseph Mikhailovich (to the 85th birthday)	121
Sergeenko Vladimir Terent'evich (to the 85th birthday).....	126
Summaries	128
Instructions for authors	132

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.45

doi 10.47612/0130-8475-2022-2(69)-7-16

ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ И ДИНАМИКИ УРОЖАЙНОСТИ ПРОСА НА ЗЕРНО В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

О. В. Матыченкова, Т. Н. Азарёнок, Д. В. Матыченков,
С. В. Дыдышко, С. В. Шульгина

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

ВВЕДЕНИЕ

Просо – древнейшая сельскохозяйственная культура. Возделывать её начали за 2–3 тыс. лет до н. э. Согласно Н. И. Вавилову, просо обыкновенное происходит из Восточной и Центральной Азии. В Европу, вероятно, проникло с кочевыми народами из Азии. В раскопках под Минском обнаружены зерна, датируемые VI–VII вв. н. э. Это культура с высокой засухоустойчивостью универсального использования, дает продовольственное зерно, зернофураж, зеленую массу с высоким кормовым качеством. Просо используется как источник получения ценного продукта – пшена (просянной крупы), которое обладает хорошими вкусовыми качествами и высокими пищевыми достоинствами, содержит 12–14,7 % белка и практически все незаменимые аминокислоты. По содержанию жира (3,5%) уступает только овсяной крупе и кукурузе. В не переработанном виде просо широко используется как высокоценный концентрированный корм [1]. В настоящее время лидером по производству проса в мире является Индия, производящая около 10,7 млн т зерна проса в год. Внимание к просу как культуре продовольственного и кормового назначения объясняется в том числе и сравнительной дешевизной его производства. Для покрытия потребности Беларуси в зерне проса, его необходимо возделывать на площади 12–15 тыс. га. В условиях республики возможно получение урожайности зерна 20–60 ц/га. 2021 г. в сельскохозяйственных организациях было собрано 14 тыс. т зерна проса, при средней урожайности по республике – 17,1 ц/га, посевная площадь составила 8,3 тыс. га [2].

Положительным качеством проса является большая по сравнению с другими зерновыми культурами устойчивость к болезням и вредителям. По содержанию фосфора, микроэлементов и витаминов превосходит луговые травы и кукурузу [3]. Просо имеет растянутый период сроков сева: от начала мая при возделывании на зерно до конца второй декады июля для получения зеленой массы. Может выступать как страховочная культура для пересева погибших и/или уплотнения изреженных посевов зерновых и кормовых культур. Это теплолюбивая культура,

не требовательна к предшественнику, однако не любит возделывания в монокультуре и после яровых зерновых [1].

Также изменения климата, произошедшие на территории республики за последние 30 лет, в том числе участившиеся засухи в летний период, перераспределение количества и интенсивности осадков в холодный период способствуют использованию в сельскохозяйственном производстве засухоустойчивые культуры, которые обеспечивают высокую продуктивность, способны хорошо отрастать после скашивания, толерантны к сроку сева. В рамках реализации Стратегии адаптации сельского хозяйства Республики Беларусь к изменению климата в 2020–2025 гг. исследования продуктивности проса в различных почвенно-экологических условиях республики являются весьма актуальными.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований явились пахотные земли Республики Беларусь и данные об урожайности проса (на зерно). Обобщение данных о посевных площадях проса по областям и районам проведено за период 2017–2021 гг. Математическая обработка данных урожайности проса по районам республики проведена за период 2019–2021 гг. по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь [4].

Использованы агрометеорологические данные за период 2015–2021 гг. по 48 метеостанциям, экстраполированные на все административные районы республики.

Для статистической обработки использованы методы корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализа по методике Б. А. Доспехова [5] с использованием Microsoft Excel.

Коэффициент устойчивости получения урожая рассчитывался по методу С. А. Суслова, И. В. Громовой. [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Просо относится к теплолюбивым растениям. Семена начинают прорастать при температуре 8–10 °C, жизнеспособные и равномерные всходы появляются при 12–15 °C через –7 дней. Биологически оптимальная температура, при которой достигается наиболее энергичное прорастание семян, составляет 20–30 °C. Сумма активных температур за весь период вегетации равна 1800–2300 °C [7].

В республике в Государственном реестре сортов по состоянию на 01.01.2022 г. зарегистрировано 10 сортов проса, предназначенных для возделывания на зерно и зеленую массу, и два (Днепровское и Довское) – только на зеленую массу. По срокам созревания все относятся к среднеспелым сортам, вегетационный период которых составляет от 47 дней на зеленую массу и 81–97 дней на зерно. Наиболее адаптивными сортами, способными давать высокую и стабильную урожайность в различные по благоприятности годы являются Быстрое и Галинка [8].

За период 2019–2021 гг. сумма активных температур ≥ 10 °C ($CAT \geq 10$ °C) по всем районам республики составляла от 2021 °C (Городокский район Витебской

области) до 3043 °С (Мозырский район Гомельской области). По данному показателю все районы республики подходят для возделывания проса не только на зеленый корм, но также и на зерно.

По количеству осадков за теплый период колебания наблюдались от 204 мм в Брагинском и Могилевском районах до 520–533 мм в Лепельском и Брестском районах. Обобщенный показатель влагообеспеченности – гидротермический коэффициент (ГТК) за годы исследований по районам изменялся от 0,97 в Брагинском, Лоевском районах Гомельской области до 1,71 в Городокском районе Витебской области.

На протяжении последних пяти лет площадь посевов проса в республике постепенно уменьшается. Еще в 2010 г. она составляла 13,5 тыс. га. В 2018 г. она составляла 12044 га, или 0,23 %, а в 2021 г. снизилась до 8292 га, или 0,16 %. На рисунке 1 показана динамика посевных площадей проса по областям республики за 2017–2021 гг.

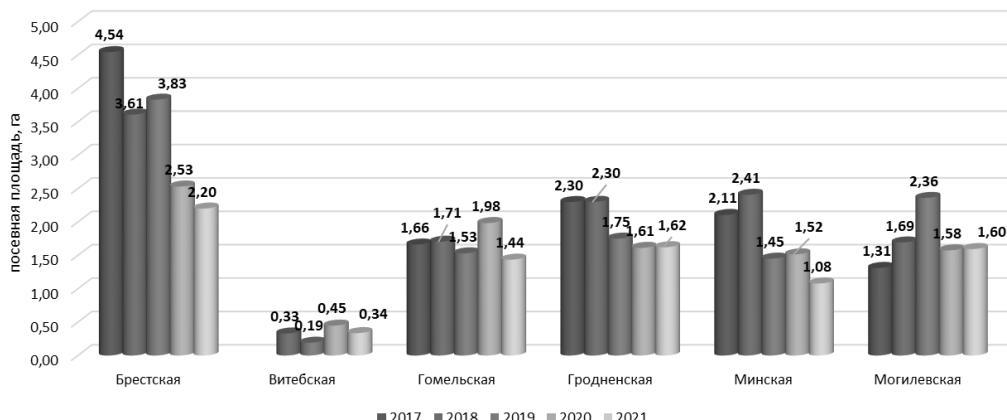


Рис. 1. Площадь посевов проса по областям республики (2017–2021 гг.)

Наибольшие площади под посевы проса отведены в Брестской области, на втором месте – Гродненская область. В 2017 г. в Брестской области под просом было занято 4,5 тыс. га, или 0,54 % пахотных земель, в Гродненской области – 2,3 тыс. га (0,31 %). В Витебской области просо высевалось на площади 0,45 тыс. га (2020 г.) всего в 10 районах (Бешенковичский, Витебский, Глубокский, Городокский, Докшицкий, Миорский, Поставский, Чашникский, Шарковщинский, Шумилинский), в остальные годы – в 6–7 районах. В Минской области площадь, занятая под посевы проса снизилась с 2,4 тыс. га до 1,1 тыс. га (0,20 % и 0,09 % соответственно). В целом по областям посевные площади этой культуры сократились в 1,1–2,1 раза.

В разрезе районов посевная площадь проса в 2021 г. изменяется от 0,01 до 1,41 %. Наибольшими посевами проса отметился Краснопольский район Могилевской области – 1,41 %. Наименьшие – Солигорский, Крупский, Узденский, Смолевичский районы Минской области (0,1 %).

Анализ урожайных данных показывает, что в среднем за три года наиболее продуктивной оказалась Гродненская область – 24,8 ц/га (табл.).

Таблица

Урожайность проса и показатели ГТК по областям (2019–2021 гг.)

Области	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее значение 2019–2021 гг.	V, %	г	K _y
Брестская область							
Урожайность, ц/га	17,3±1,5	17,9±2,0	19,5±1,3	18,5±1,3	27	0,97	0,8
min	9,2	6,4	12,7	12,2			
max	26,8	31,7	32,2	29,5			
ГТК	1,34	1,35	1,61	1,24	6		
Витебская область							
Урожайность, ц/га	19,0±3,0	18,8±3,8	14,1±2,3	17,1±2,9	57	0,97	0,5
min	8,1	2,3	4,4	2,3			
max	27,4	34,4	24,0	32,6			
ГТК	1,65	1,57	1,36	1,4	6		
Гомельская область							
Урожайность, ц/га	13,9±1,7	15,4±1,3	12,9±1,1	14,0±0,9	27	-0,23	0,8
min	5,2	6,6	4,1	8,5			
max	28,4	31,4	19,0	23,9			
ГТК	1,11	1,30	1,40	1,16	8		
Гродненская область							
Урожайность, ц/га	21,8±2,0	27,0±4,1	26,5±3,4	24,8±2,0	31	0,29	0,8
min	13,0	7,0	6,9	10,8			
max	41,9	62,4	46,2	39,9			
ГТК	1,20	1,10	1,70	1,30	12		
Минская область							
Урожайность, ц/га	18,1±1,8	15,6±2,2	14,4±1,6	16,2±1,4	39	0,56	0,7
min	8,4	6,1	7,8	9,3			
max	34,4	40,7	33,3	31,9			
ГТК	1,42	1,37	1,40	1,33	5		
Могилевская область							
Урожайность, ц/га	14,9±1,8	14,1±1,3	11,0±1,7	13,5±1,1	34	0,56	0,7
min	3,7	4,7	4,3	4,8			
max	33,1	27,3	24,7	21,6			
ГТК	1,27	1,66	1,14	1,26	6		

Примечание. V – Коэффициент вариации; г – коэффициент корреляции; K_y – коэффициент устойчивости.

ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Наименьшая урожайность зерна проса была получена в 2020 г. в Витебской области и составила всего 2,3 ц/га. Минимальным уровнем урожайности на протяжении трех лет характеризуется Могилевская область 3,7–4,7 ц/га, также среднемноголетняя урожайность зерна проса здесь самая низкая – 13,5 ц/га.

На основании анализа данных были составлены графики динамики урожайности зерна проса по областям по сравнению со среднемноголетними данными (рис. 2–7), а также рассчитан коэффициент вариации, показывающий степень изменчивости по отношению к среднему показателю.

В Брестской области средняя урожайность зерна проса изменяется от 29,5 и 25,3 ц/га в Барановичском и Березовском районах соответственно до 12,2 ц/га в Ивацевичском районе (рис. 2.). Коэффициент вариации составил 27.



Рис. 2. Динамика урожайности проса по районам Брестской области (2019–2021 гг.)

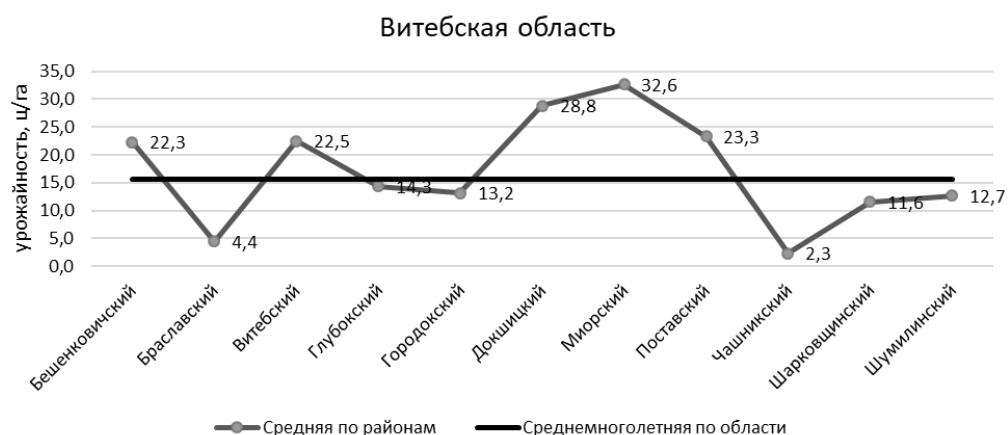


Рис. 3. Динамика урожайности проса по районам Витебской области (2019–2021 гг.)

Как уже было отмечено, в Витебской области просо выращивается только в 6–10 районах из 21, хотя по своим биологическим требованиям просо возможно

выращивать на всей территории. Максимальной урожайностью характеризуется Миорский район – 32,6 ц/га, минимальной – Чашникский и Браславский районы (2,3 и 4,4 ц/га соответственно). Коэффициент вариации по области равен – 57 %. В целом это свидетельствует о значительной изменчивости урожайности в данной области.

Гомельская область занимает предпоследнее место по урожайности зерна проса в республике, от 23,9 до 8,5 ц/га (рис. 4), но также, как и Брестская область, более выровнена по среднемноголетним значениям.

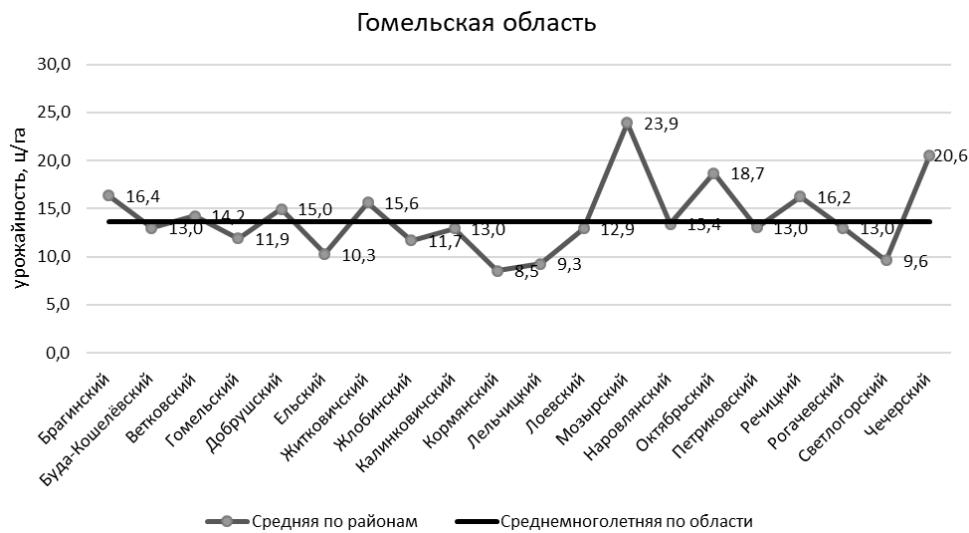


Рис. 4. Динамика урожайности проса по районам Гомельской области (2019–2021 гг.)

В Гродненской области колебания по районам составляют от 39,9 ц/га в Гродненском районе до 10,8 ц/га в Ошмянском. Коэффициент вариации – 31 %.

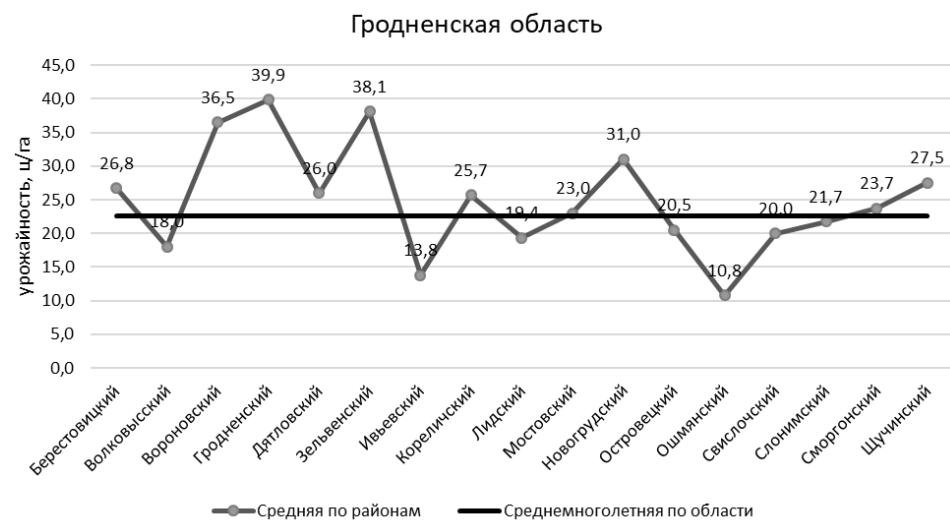


Рис. 5. Динамика урожайности проса по районам Гродненской области (2019–2021 гг.)



Рис. 6. Динамика урожайности проса по районам Минской области (2019–2021 гг.)

В Минской области в 13 районах урожайность ниже среднемноголетней и колеблется от 9,3 ц/га в Логойском районе до 14,8 ц/га в Крупском. Наиболее высокие урожаи по Минской области получены в Клецком и Молодечненском районах (31,9 и 30,7 ц/га соответственно). Вариативность данных здесь несколько выше – 39 %.

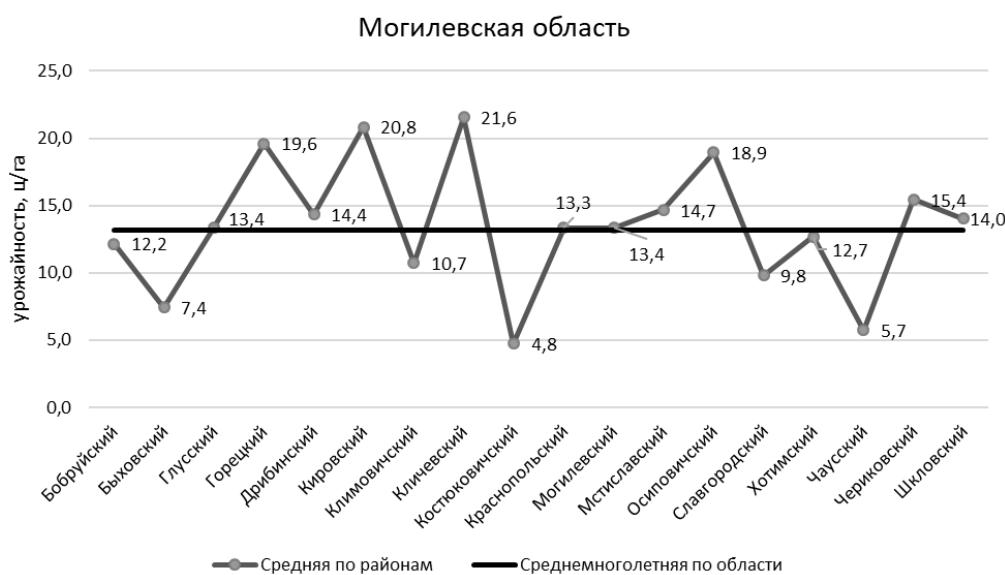


Рис. 7. Динамика урожайности проса по районам Могилевской области (2019–2021 гг.)

В Могилевской области отмечается самая низкая среднемноголетняя урожайность зерна проса как по годам, так и за трехлетний период. Колебания по районам составляют от 21,6 ц/га в Кличевском районе до 4,8 ц/га в Костюковичском. Коэффициент вариации составляет 34 %. Все области характеризуются значительной вариативностью урожайных данных.

Анализ исследований белорусских ученых [8–13 и др.] показывает, что урожайность зерна проса во многом зависит от агрометеорологических условий возделывания. Значительное влияние проявляется по месяцам вегетационного периода. Для последующей разработки методически аспектов формирования посевных площадей с учетом агроклиматических данных проведен корреляционный анализ урожайных данных проса с показателем ГТК за исследуемый период (табл.). Тесное влияние влагообеспеченности за указанный период установлено для Брестской и Витебской областей ($r = 0,97$), в Минской и Могилевской областях наблюдается средняя зависимость ($r = 0,56$). Для Гомельской и Гродненской областей получена слабая зависимость ($r = -0,23$ и $0,29$) соответственно. Причиной таких данных в областях может быть характер распределения осадков и температурный режим по периодам вегетации.

В то же время показатель ГТК по каждой из областей имеет незначительную изменчивость, коэффициент вариации ГТК во всех областях, кроме Гродненской не превышает 10 % (5–8 %).

Это позволило составить уравнения регрессии для Брестской, Витебской, Минской и Могилевской областей, выражающих урожайность зерна проса от показателя ГТК:

Брестская область $y = 0,1309x - 0,9539$; $R^2 = 0,94$;

Витебская область $y = 17,734x - 9,8073$; $R^2 = 0,93$;

Минская область $y = 42,632x - 43,542$; $R^2 = 0,31$;

Могилевская область $y = 4,1716x + 7,6405$; $R^2 = 0,31$.

Также опираясь на методику С. А. Суслова и И. В. Громовой, основанную на исследованиях устойчивости урожайности сельскохозяйственных культур по всем регионам России, был рассчитан коэффициент устойчивости, характеризующий производство сельскохозяйственной продукции относительно среднего уровня. Установлены следующие градации коэффициента устойчивости: $K_y > 0,9$ – норматив устойчивости, $K_y = 0,9–0,8$ – допустимая устойчивость, $K_y = 0,8–0,6$ – неустойчивое развитие процесса или явления, $K_y = 0,6–0,4$ – крайне неустойчивое, $K_y < 0,4$ – недопустимое.

Расчет коэффициента устойчивости проводился по формулам:

$$K_y = 1 - V_y(t), \\ V_y(t) = \frac{S_y(t)}{\hat{y}},$$

где $V_y(t)$ – коэффициент колебаемости, \hat{y} – средний уровень ряда, $S_y(t)$ – среднее квадратичное отклонение от тренда.

В целом оценивая устойчивость получения урожая зерна проса по областям республики, следует отметить, что Витебская область ($K_y = 0,5$) входит в зону крайне неустойчивого получения урожая (табл. 1). Минская и Могилевская области относятся к зоне неустойчивого получения урожая ($K_y = 0,7$). Брестская, Гродненская и Гомельская области относятся к зоне допустимой устойчивости получения урожайности ($K_y = 0,8$).

ВЫВОДЫ

Посевные площади проса в республике за последние 5 лет снизились с 12,0 тыс. га до 8,3 тыс. га. Наибольшие посевы этой культуры в Брестской области, где она высевается на площади 2,2 тыс. га, минимальные площади посева в Витебской области – 0,34 тыс. га.

Средняя урожайность зерна проса по республике колеблется в пределах от 15,2 до 17,1 ц/га за последние 5 лет. В разрезе областей наиболее продуктивной является Гродненская область, где среднемноголетняя урожайность составляет 24,8 ц/га, минимальной продуктивностью зерна проса характеризуется Могилевская область – 13,5 ц/га.

Проведенный регрессионный анализ позволил установить влияние агрометеорологических условий на урожайность зерна проса. Тесное влияние влагообеспеченности за указанный период установлено для Брестской и Витебской областей ($r = 0,97$), для Минской и Могилевской областей наблюдается средняя зависимость ($r = 0,56$), для Гомельской и Гродненской областей установлена слабая зависимость ($r = -0,23$ и $0,29$).

Коэффициент вариации (V) свидетельствует о значительной изменчивости урожайности в каждой области республики и изменяется от 27–57 %. Рассчитанный коэффициент устойчивости позволил установить, что Витебская область входит в зону крайне неустойчивого получения урожая, две области (Минская и Могилевская) относятся к зоне неустойчивого получения, а остальные – к зоне допустимой устойчивости получения урожая проса (на зерно).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Возделывание просовидных культур в Республике Беларусь: монография / О. С. Корзун [и др.]. – Гродно: ГГАУ, 2011. – 189 с.
2. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический буклет / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2022. – 36 с.
3. Особенности возделывания многоукосных однолетних ценозов и сорговых культур / Н. П. Лукашевич [и др.]. – Витебск: ВГАВМ, 2008. – 44 с.
4. Сельское хозяйство Республики Беларусь 2014–2020 гг.: статистический сборник – Минск, 2021. – 197 с. [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь; ред. И. В. Медведева [и др.]. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaistvo/selskoe-khozyaistvo/statisticheskie-izdaniya/index_39701/. – Дата доступа: 15.03.2022 г.
5. 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.
6. Суслов, С. А. Методика региональной оценки экономической устойчивости сельскохозяйственного производства / С. А. Суслов, И. В. Громова // Вестник НГИЭИ. – 2012. – № 5. – С 100–114.
7. Растениеводство: учеб. для студентов высших учебных заведений, обучающихся по агрономическим специальностям / Г. С. Посыпанов [и др.]; ред.: Г. С. Посыпанов, М. И. Толмачева. – Москва: КолосС, 2006. – 612 с.

8. Чирко, Е. М. Сравнительная оценка зерновой продуктивности и адаптивности сортов проса (*Panicum miliaceum*) в условиях юго-западного региона республики / Е. М. Чирко // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Серыя аграрных науок. – 2009. – № 3. – С. 49–54.
9. Якута, О. Н. Влияние условий возделывания на формирование урожая зерна и листовой поверхности проса / О. Н. Якута, Е. М. Чирко, Т. А. Анохина // Земледелие и защита растений. – 2014. – № 6. – С.14–18.
10. Куделко, В. Н. Результаты изучения коллекционных образцов проса посевного белорусского происхождения / В. Н. Куделко, П. О. Кошевой, Н. А. Лужинская // Земледелие и селекция в Беларуси. – Вып. 58. – 2022. – С. 383–390.
11. Гесть, Г. А. Агроэкономическая и энергетическая эффективность возделывания проса и пайзы в зависимости от приемов агротехники / Г. А. Гесть, О. С. Корзун // Земледелие и растениеводство. – 2021. – № 1(134). – С. 3–6.
12. Чирко, Е. М. Оптимизация основных агроприемов возделывания проса на зерно в юго-западном регионе Беларуси: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Е. М. Чирко. – 2006. – 20 с.
13. Коготько, Ю. В. Урожайность и качество зерна проса (*Panicum miliaceum* L.) в зависимости от сорта и условий питания: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09 «Растениеводство» / Ю. В. Коготько; УО «БГСХА». – 2021. – 21 с.

FEATURES OF TERRITORIAL LOCATION AND YIELD DYNAMICS OF MILLET FOR GRAIN IN THE REPUBLIC OF BELARUS

O. V. Matychenkova, T. N. Azarenok, D. V. Matychenkov,
S. V. Dydyshko, S. V. Shylgina

Summary

The article establishes the territorial features of the placement of millet crops (for grain) in the regions of the republic on the basis of an analysis of the sown areas of millet. The statistical data on the dynamics of millet grain yield for the period 2019–2021 were analyzed. On the basis of regression analysis, the influence of agrometeorological conditions on the yield of millet grain has been established. For the first time, the coefficient of stability of harvest production by regions of the republic was calculated, which made it possible to establish that the Vitebsk region is included in the zone of extremely unstable harvesting, two regions (Minsk and Mogilev) belong to the zone of unstable production, and the rest – to the zone of permissible sustainability of crop production (for grain).

The research results presented in this article are of great importance for the scientifically based formation of sown areas of drought-resistant crops, taking into account the assessment of agro-climatic data.

Поступила 27.10.22

ТРАНСФАРМАЦЫЯ ДЗЯРНОВА-ПАДЗОЛІСТЫХ ГЛЕБАЎ СХІЛАВЫХ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧЫХ ЗЯМЕЛЬ МІНСКАГА ЎЗВЫШША

В. Б. Цырыбка¹, І. А. Лагачоў¹, Г. М. Усцінава¹, А. Я. Яротаў²

¹Інстытут глебазнаўства і аграхімії, г. Мінск, Беларусь

²Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, г. Мінск, Беларусь

УВОДЗІНЫ

Эрозія глебаў – адзін з найбольш значных фактараў, якія вызначаюць змяненне глебавага покрыва. Асабліва вялікая яе роля ў раёнах працяглага земляробчага выкарыстання з высокай ступенню расчленення рэльефу [1].

Развіццё эразійных працэсаў залежыць ад сукупнага ўздзеяння шэрагу фактараў. Геамарфалагічны фактар шмат у чым абумоўлівае інтэнсіўнасць эрозіі, бо ад рэльефу мясцовасці залежаць хуткасць і сіла плыні струменяў вады, канцэнтрацыя іх на вызначаных плошчах і лінейных прыродных межах. Кліматычны фактар непасрэдна ўпłyвае на эразійныя працэсы праз колькасць ападкаў і характар іх выпадзення. Вялікае значэнне таксама мае характар глебаўтваральных парод, паколькі глеба атрымлівае ад іх уласцівасці і супрацьэразійную ўстойлівасць. Расліннасць усіх відаў з'яўляецца магутным супрацьэразійным фактарам. Чым больш часу ў водзе глеба пакрытая наземным раслінным покрывам і змацавана каранёвай сістэмай, тым меншая верагоднасць праявы водна-эразійных працэсаў. У апошні час усё большае значэнне набывае антрапагеннае ўздзеянне, якое ўзмакніе негатыўны ўплыў працэсаў эрозіі [2].

На ворных схілавых землях глебы паскорана дэградуюць за кошт камбінацыі працэсаў воднай эрозіі і механічнага перасоўвання глебы сельскагаспадарчай тэхнікай. Гэта прыводзіць да зніжэння ўтрымання гумусу, павелічэнню шчыльнасці, фарміраванню глыбістай структуры, што абумоўлівае пагаршэнне воднага, паветранага і цеплавога рэжымаў глебы. Пры працяглым розным характары антрапагеннага ўздзеяння адбываецца змена марфалагічных, хімічных і фізічных уласцівасцей глебаў [3].

Характэрная асаблівасцю Мінскага ўзвышша з'яўляюцца лёсападобныя пароды. Яны шырока распаўсюджаны на паўднёвых, паўднёва-заходніх, паўднёва-усходніх схілах, дзе ўтвараюць покрыўны пласт магутнасцю да 2–4 м на вышынях 180–220 м. З-за значнай разаранасці гэтым раёнам характэрна інтэнсіўная эrozія. На схілах лагчын і рачных далін утвараюцца маладыя эразійныя прамывіны, а на пларакорах – суфазійныя западзіны [4].

Глебы, сформаваныя на лёсах і лёсападобных суглінках даволі шырока прадстаўлены ў рэспубліцы (каля 17,0 % ад ворных зямель). Распаўсюджаны, у асноўным, на тэрыторыі цэнтральнай глебава-экалагічнай правінцыі, у межах Беларускай грады [2]. Гэтыя глебы маюць самую высокую ўрадлівасць ва ўмовах Рэспублікі Беларусь сярод дзярнова-падзолістых глеб, што абумовіла вельмі

высокую разаранасць гэтых глеб (больш за 50 %). У той жа час яны маюць вельмі нізкую устойлівасць да эрозіі, з-за чаго на 40 % плошчы дадзеных глеб адбываюцца працэсы эразійнай дэградацыі.

Мэта даследаванняў заключалася ва ўстанаўленні ступені трансфармацыі дзярнова-падзолістых глебаў схілавых зямель Мінскага ўзвышша пры рознай інтэнсіўнасці антрапагеннага ўздзеяння.

АБ'ЕКТЫ І МЕТАДЫ ДАСЛЕДАВАННЯЎ

Аб'ектамі даследавання з'яўляліся дзярнова-падзолістыя эрадаваныя глебы на лёгкіх лёсападобных суглінках і дзярнова-падзолістыя слабаглеяватыя намытыя на сярэдніх дэлювіяльных суглінках стацыянара «Стокавыя пляцоўкі» Мінскага раёна Мінскай вобласці, якія з'яўляюцца ў геамарфалагічных адносінах адзінай глебава-эразійнай катэней. На водападзельнай раўніне (плакоры) размешчаны неэрадаваныя глебы, у верхній частцы схілу – сярэднеэрадаваныя, у сярэдняй частцы – моцнаэрадаваныя, ля падножжа схілу – намытая глеба.

У ходзе даследаванняў закладзены дзве катэны (фота 1, табл. 1):

першая – на пляцоўцы, на якой вядзеца актыўная сельскагаспадарчая дзейнасць;

другая – на ахоўнай паласе, на якой вядзеца мінімальнае антрапагеннае ўздзеянне з 1968 г. (пакос травы некалькі разоў у год).

Табліца 1
Месцазнаходжанне глебава-геамарфалагічных катэн

№ катэны	Каардынаты неэрадаванай глебы		Каардынаты эрадаванай глебы		Каардынаты намытай глебы	
	шырата	даўгата	шырата	даўгата	шырата	даўгата
1	53,841726	27,448079	53,841231	27,448213	53,840985	27,448309
2	53,841729	27,448607	53,841377	27,448717	53,841015	27,448760



Фота 1. Размяшчэнне глебавых разрэзаў па катэнам на стацыянары «Стокавыя пляцоўкі» Мінскага раёна Мінскай вобласці

У працэсе даследаванняў вызначаліся аграфічныя, фізічныя ўласцівасці глебы, а таксама паказчыкі, якія харектарызуюць структурна-агрегатны склад ворнага гарызонту глебаў, зыходзячы з дадзеных сухога і мокрага прасейвання, якія вызначаюцца па метадзе Савінава [5].

Шчыльнасць глебы вызначалі пры дапамозе кольцаў Капецкага (метад «рэжучых кольцаў») [5].

Лабараторна-аналітычныя даследаванні аграфічных паказчыкаў глебы выконваліся па наступных методыках: 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 гідралітычнае кіслотнасць па Каппену (ДАСТ 27821-88; ДАСТ 26212-91), ёмістасць катыённага абмену і ступень насычанасці асновамі – разліковымі метадамі [6].

ВЫНІКІ ДАСЛЕДАВАННЯЎ І ІХ АБМЕРКАВАННЕ

У ходзе даследаванняў былі закладзены дзве катэны, якія ўключалі разрэзы на розных элементах мезарэльефа: плакор, схіл, падножжа. Кожнаму элементу рэльефу адпавядалі пэўныя глебы: неерадаваныя, ерадаваныя, намытыя.

Аналіз марфолага-генетычных асаблівасцей разрэзаў дазволіў усталяваць уплыў антрапагеннага ўздзеяння на змену глебавага профілю на розных элементах схілу.

Асноўным адрозненнем глебаў плакора (фота 2–3) з'яўляецца адсутнасць элювіяльнага гарызонту і больш магутны гумусаваны ворны гарызонту пры інтэнсіўным сельскагаспадарчым выкарыстанні, што абумоўлена глыбінёй узворвання і прымяненнем арганічных угнаенняў. Таксама варта адзначыць, што вылучаецца стараворны гарызонту, які быў сформіраваны ў канцы XX стагоддзя з-за большай глыбіні узворвання. Усе адрозненні адлюстраваны ў марфолага-генетычным апісанні вывучаных разрэзаў.

Непасрэдна на схілах (фота 4–5) змены ў марфалогіі профілю павялічваюцца. Пры апрацоўцы глебы таксама фарміруеецца ворны гарызонту, аднак актыўнае сельскагаспадарчае выкарыстанне садзейнічала павелічэнню тэмпаў эрозіі, што прывяло да поўнага разбурэння ілювіяльна-гліністага гарызонту ў глебе стокавай пляцоўкі. Элювіяльны гарызонту адсутнічае ў абодвух профілях – гэта абумоўлена тым, што глебы, размешчаныя на ахойнай паласе, апрацоўваліся да залажэння вопытнага стацыянара. У адрозненне ад глебаў плакора, на схіле адбываюцца больш інтэнсіўныя змены ў гумусаваных гарызонтах. Пастаянная апрацоўка спрыяе дэгуміфікацыі, што ў комплексе з прыворваннем гарызонту ВС, прыводзіць да змены колеру (з шэрага на шэра-карычневы) і фармаванню дробнаглыбістай структуры, неспрыяльны для развіцця сельскагаспадарчых культур. У цэлым на глебах схілаў адзначаны найбольшыя адрозненні. На стокавай пляцоўцы глеба класіфікуецца як моцнаерадаваная, на ахойнай паласе як сярэднеэррадаваная.

Намытым глебам абедзвюх катэн (фота 6–7) харектэрна аднолькавая адметная рыса – наяўнасць намытых і пахаваных гарызонтаў. Пры гэтым яны істотна адрозніваюцца магутнасцю намытага гарызонту. Пры інтэнсіўным антрапагенным уздзеянні ён практычна ў 2 разы большы, чым пры мінімальным (65 см і 36 см

адпаведна). Гэта адлюстроўвае розніцу ў інтэнсіўнасці праходжання працэсаў эразійнай дэградацыі пры розным антрапагенным уздзеянні.

Таксама, як і ў эрадаваных глебах, адрозніваюцца колер і структура генетычных гарызонтаў, што абумоўліваецца змываннем у працэсе эрозіі і перамяшчэннем пры ўзворванні глебы са схілу. Наяўнасць пахаваных элювіяльных гарызонтаў дазваляе класіфікаваць намытыя глебы як дзярнова-падзолістую слабаглеяватую, а не дзярновую слабаглеяватую.



<u>Ap</u> 0–22	— ворны гарызонт, суглінак лёгкі лёсападобны цёмна-шэрага колеру, адзінкавыя пунктацыі марганцу, слабаўшчыльнены, свежы, рэдкія карані, хады землярояў, камякаватадробнакамякаватай структуры, пераход паступовы;
<u>A(p)</u> 22–31	— гумусавы (стараворны) гарызонт, суглінак лёгкі лёсападобны цёмна-шэрага колеру, адзінкавыя пунктацыі марганцу, слабаўшчыльнены, свежы, адзінкавыя карані, хады землярояў, дробнакамякаватай структуры, пераход рэзкі, амаль прамая лінія;
<u>B(A₂)</u> 31–39	— ілювіяльны гарызонт са слядамі элювіяльных працэсаў, суглінак лёгкі лёсападобны неаднародны афарбоўкі бура-карыйчневага колеру з украпінамі палева-бляявых плям, слабаўшчыльнены, свежы, адзінкавыя карані, хады землярояў, камякавата-плітчатай структуры, пераход паступовы;
<u>Bt</u> 39–68	— ілювіяльна-гліністы гарызонт, суглінак сярэдні лёсападобны бура-карыйчневага колеру са светлымі ўключэннямі, моцнаўшчыльнены, свежы, адзінкавыя карані, хады землярояў, плітчата-пласцінтай структуры, пераход паступовы;
<u>Bc</u> 68–(120)	— пераходны да глебаўтаральнай пароды гарызонт, суглінак лёгкі лёсападобны неаднастайнай афарбоўкі, чаргаванне бура-карыйчневых ілювіяльных ламеляў і светла-шэрага міжламельнага матэрыялу, моцнаўшчыльнены, свежы, адзінкавыя карані, плітчата-дробнаглыбістай структуры.

Фота 2. Глеба: дзярнова-падзолістая неэрадаваная суглінковая, якая развіваецца на лёгкіх лёсападобных суглінках (катэна 1, разрэз 1)



- | | |
|--------------------|---|
| A_1
0–14 | – гумусавы гарызонт, лёгкі лёсападобны суглінак цёмна-шэрага колеру, адзінкавыя пунктацыі марганцу, рыхлы, свежы, шмат каранёў, хадоў землярояў, структура дробназярністая, пераход паступовы; |
| $A_1 A_2$
14–28 | – элювіяльна-гумусавы гарызонт, суглінак лёгкі лёсападобны шэрага колеру з уключэннямі палевых плям, рыхлы, свежы, адзінкавыя карані, хады землярояў, дробнакамякаватай структуры, переход ясны, хвалістая лінія; |
| A_2
28–42 | – элювіяльны гарызонт, суглінак лёгкі лёсападобны шэра-попельнага колеру, слабашчыльнены, свежы, адзінкавыя карані, хады землярояў, камякавата-дробнаглыбістай структуры, переход ясны, языковаты; |
| Bt
42–(90) | – ілювіяльна-гліністы гарызонт, суглінак сярэдні лёсападобны бура-карычневага колеру са светлымі ўключэннямі, ушчыльнены, свежы, дробнаглыбіста-плітчатай структуры, хады землярояў. |

Фота 3. Глеба: дзярнова-падзолістая неэрдаваная суглікавая, якая развіваецца на лёгкіх лёсападобных суглінках (катэна 2, разрез 2)



Ap
0–22

– ворны гарызонт, суглінак лёгкі лёсападобны шэра-карычневага колеру, слабаўшчыльнены, свежы, рэдкія карані, хады землярояў, дробнаглыбістай структуры, пераход рэзкі, хвалістая лінія;

BC
22–(90)

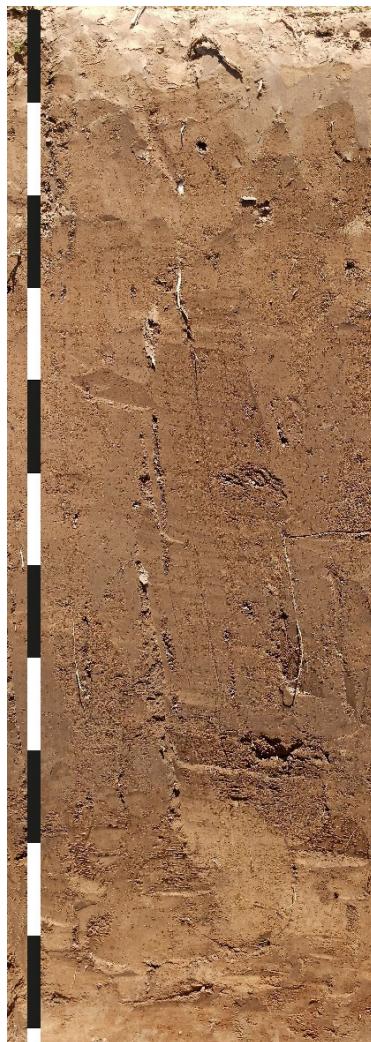
– пераходны да глебаўтваральнай пароды гарызонт, суглінак лёгкі лёсападобны неаднастайнай афарбоўкі, чаргаванне бура-карычневых ілювіальных ламеляў і светла-шэрага міжламельнага матэрыялу, моцнаўшчыльнены, свежы, адзінкавыя карані, хады землярояў, плітчата-дробнаглыбістай структуры.

Фота 4. Глеба: дзярнова-падзолістая моцнаэрадаваная суглінковая, якая развіваецца на лёгкіх лёсападобных суглінках (катэна 1, разрэз 3)



- | | |
|-----------------------------------|--|
| <u>A₁</u>
0-16 | – гумусавы гарызонт, суглінак лёгкі лёсападобны шэрага колеру, адзінкавыя пунктацыі марганцу, слабаўшчыльнены, свежы, мноства каранёў, хады земляроюў, дробнакамыватай структуры, пераход ясны, языковаты; |
| <u>Bt(A₁)</u>
16-47 | – ілювіяльна-гліністы гумусаваны гарызонт, суглінак сярэдні лёсападобны бура-карыйневага колеру з цёмна-шэрымі зацекамі ўздоўж каранёў, адзінкавыя пунктацыі марганцу, ушчыльнены, свежы, адзінкавыя карані, хады земляроюў, плітчата-пласціністай структуры, пераход паступовы; |
| <u>BC</u>
47-(125) | – пераходны да глебаўтваральнай пароды гарызонт, суглінак лёгкі лёсападобны неаднастайнай афарбоўкі, чаргаванне бура-карыйневых ілювіяльных ламеляў і светла-шэрага міжламельнага матэрыялу, моцнаўшчыльнены, свежы, адзінкавыя карані, хады земляроюў, дробнаглыбістай структуры. |

Фота 5. Глеба: дзярнова-падзолістая сярэднеэррадаваная суглінкавая, якая развіваецца на лёгкіх лёсападобных суглінках (катэна 2, разрэз 4)



- | | |
|----------------------------------|---|
| <u>Ап</u>
0–22 | – ворны гарызонт, суглінак сярэдні дэлювіяльны шэра-карыйчневага колеру, пунктацыі марганцу, слабаўшчыльнены, свежы, мноства каранёў, хады земляроў, камякавата-глыбістай структуры, пераход паступовы; |
| <u>A₁(g)</u>
22–65 | – намыты гумусавы гарызонт, суглінак сярэдні дэлювіяльны шэра-карыйчневага колеру, пунктацыі марганцу, слабаўшчыльнены, свежы, адзінкавыя карані, хады земляроў, камякавата-глыбістай структуры, пераход паступовы; |
| [A ₁](g)
65–89 | – пахаваны гумусавы гарызонт, суглінак лёгкі лёсападобны, цёмна-шэра-карыйчневага колеру з вугальнym адценнем, пунктацыі марганцу, слабаўшчыльнены, свежы, адзінкавыя карані, хады земляроў, плітчата-глыбістай структуры, пераход ясны, языковаты; |
| [A ₂](g)
89–110 | – пахаваны элювіяльны гарызонт, суглінак лёгкі лёсападобны жоўтапопельнага колеру, пунктацыі марганцу, слабаўшчыльнены, свежы, адзінкавыя карані, хады земляроў, плітчата-камякаватай структуры, пераход ясны, амаль прамая лінія; |
| <u>ВС</u>
110–(120) | – пераходны да глебаўтаральнай пароды гарызонт, суглінак лёгкі лёсападобны неаднастайнай афарбоўкі, чаргаванне бура-карыйчневых ілювіяльных ламеляў і светла-шэрага міжламельнага матэрыялу, моцнаўшчыльнены, свежы, дробна-глыбістай структуры. |

Фота 6. Глеба: дзярнова-падзолістая слабаглеяватая моцнанамытая суглінкавая, якая развіваецца на дэлювіяльным сярэднім суглінку, які змяняецца з глыбіні 0,65 м лёгкімі лёсападобнымі суглінкамі (катэна 1, разрэз 5)



- A₁-0-20** – намыты гумусавы гарызонт, сугліннак сярэдні дэлювіяльны цёмна-шэрага колеру, пунктацыі марганцу, слабаўшчыльнены, свежы, мноства каранёў, хады земляроју, камякаватай структуры, пераход паступовы;
- A₁(g) 20-36** – намыты гумусавы гарызонт, сугліннак сярэдні дэлювіяльны шэрага колеру, пунктацыі марганцу, слабаўшчыльнены, свежы, адзінкавая карані, хады земляроју, камякаватай структуры, пераход паступовы;
- [A₁A₂](g) 36-60** – пахаваны гумусава-элювіяльны гарызонт, сугліннак лёгкі лёсападобны, цёмна-шэрага колеру з попельнымі плямамі, пунктацыі марганцу, слабаўшчыльнены, свежы, адзінкавая карані, хады земляроју, камякаватай структуры, пераход паступовы;
- [A₂](g) 60-72** – пахаваны элювіяльны гарызонт, сугліннак лёгкі лёсападобны попельнага колеру, пунктацыі марганцу, слабаўшчыльнены, свежы, адзінкавая карані, хады земляроју, камякаватай структуры, пераход прыкметны, языковаты;
- BC 72-(110)** – пераходны да глебаўтваральнай пароды гарызонт, сугліннак лёгкі лёсападобны неаднароднай афарбоўкі, чаргаванне бура-карычневых ілювіяльных ламеляў і светла-шэрага міжламельнага матэрыялу, ушчыльнены, свежы, дробнаглыбістай структуры;

Фота 7. Глеба: дзярнова-падзолістая слабаглеяватая сярэдненамытая суглінкавая, якая развіваецца на дэлювіяльных сэрэдніх суглінках, якія змяняюцца з глыбіні 0,36 м лёгкімі лёсападобнымі суглінкамі (катэна 2, разрэз 6)

Адбываецца не толькі трансфармацыя глебавых профіляў, але і істотна змянення агульных фізічных і хімічных свойстваў глебаў. У ходзе даследаванняў былі адабраны глебавыя пробы з генетычных гарызонтаў для вызначэння дадзеных змяненняў, вынікі прадстаўлены ў табліцах 2 і 3.

Табліца 2
Фізіка-хімічныя і аграхімічныя ўласцівасці глебаў*

Катэна, частка схілу	Гарызонт	рН*	Hг	S	T	V	Гумус	P ₂ O ₅	K ₂ O
			смоль+/кг			% мг/кг глебы			
1 плакор	Aп	5,06	2,6	6,4	9,0	71,1	2,06	281	185
	A(p)	4,92	2,6	4,6	7,2	63,9	1,87	280	152
	Bt	4,45	2,8	5,4	8,2	65,9	0,19	207	151
	BC	4,34	1,4	3,4	4,8	70,8	—	238	48
2 плакор	A ₁	4,71	4,4	14,0	18,4	76,1	3,44	151	64
	A ₁ A ₂	4,41	2,6	11,2	13,8	81,2	0,75	452	28
	Bt	4,31	2,3	13,2	15,5	85,2	0,17	357	45
1 схіл	Aп	4,59	3,2	4,2	7,4	56,8	1,65	526	94
	BC	4,95	1,1	6,6	7,7	85,7	0,12	435	39
2 схіл	A ₁	5,30	2,8	13,0	15,8	82,3	3,27	281	156
	Bt(A ₁)	5,09	1,9	9,6	11,5	83,5	0,96	302	55
	BC	4,14	3,2	11,2	14,4	77,8	—	292	65
1 падноўжжа	Aп	4,54	3,2	6,2	9,4	66,0	1,74	485	146
	A ₁ (g)	5,63	1,6	9,0	10,6	84,9	1,73	542	156
	[A ₁](g)	5,10	2,5	6,0	8,5	70,6	1,37	431	42
	[A ₂](g)	4,74	1,9	5,2	7,1	73,2	0,43	528	99
	BC	4,56	2,3	5,4	7,7	70,1	—	763	51
2 падноўжжа	A	4,76	3,2	6,4	9,6	66,7	1,85	155	50
	A ₁ (g)	4,90	3,7	4,3	8,0	53,8	2,56	167	118
	[A ₁ A ₂](g)	4,51	3,0	4,0	7,0	57,1	0,98	437	34
	[A ₁ A ₂](g)	4,40	1,4	6,2	7,6	81,6	0,35	422	37
	BC	4,69	2,3	3,8	6,1	62,3	—	841	21

* Для зручнасці ў табліцы 2 паказчыкі гідралітычнай кіслотнасці (Hг), сумы абменных асноў (S), ёмістасці катыённага абмену (T) і ступені насычанасці асновамі (V) прадстаўлены ў выглядзе ўмоўных абазнечэнняў.

Пры інтэнсіўным вядзенні сельскай гаспадаркі адбываецца дэгуміфікацыя глеб, што пацвярджаецца парападаннем утрымання гумуса ў глебах катэн. Найменшая розніца адзначаецца на намытых глебах, гэта звязана з акумуляцыяй цвёрдага сцёку падчас эразійных працэсаў. На незрадаваных глебах розніца таксама істотная: 2,06 % пры інтэнсіўным уздзеянні і 3,44 % пад травой. Найбольшае адрозненне адзначаецца ў разрэзах, закладзеных на схіле, дзе да працэсаў мінералізацыі гумуса дадаецца вынас падчас эрозіі, што прыводзіць да практычна двухразовага адрознення (1,65 і 3,27 % адпаведна).

Па кіслотнасці глебы абедзвюх катэн харкторызуюцца як кіслыя і сярэднекіслыя, што звязана з генетычнымі асаблівасцямі дзярнова-падзолістых глеб і адсутнасцю ўнясення вапнавых меліярантаў. Утрыманне рухомага фосфару і калію ў ворных гарызонтах катэны 1 істотна вышэй, чым у гумусаваных гарызонтах катэны 2. У ніжэйшых гарызонтах тэндэнцыя захоўваецца для абменнага калію, пры гэтым у ніжніх частках профілю дасягаючы значэнняў адноўльковай групы (менш за 80 мг/кг). Для абменнага фосфару харктэрна назапашванне ў ілювіяльных гарызонтах глебаў [7]. Максімальная значэнні адзначана ў гарызонтах ВС намытых глебаў, што звязана з акумуляцыяй рэчываў цвёрдага сцёку воднай эрозіі. Пры гэтым у намытай глебе катэны 1 вельмі высокое ўтрыманне выяўлены на працягу ўсяго профілю. Гэта яшчэ раз пацвярджае важнасць супрацьэразійнай арганізацыі тэрыторыі, для процідзеяння вынасу элементаў харчавання раслін з вадкім і цвёрдым сцёкам.

Для фізіка-хімічных уласцівасцяў харкторна тэндэнцыя большай сумы абменных асноў і ёмістасці катыённага абмену для глеб плакора і схілу катэны, занятай шматгадовымі травамі. Гэта абумоўлена харкторам выкарыстання глебы. Пры апрацоўцы глебы частка абменных асноў вышчалочваюцца ў глыб профілю [8], а таксама адбываецца актыўны вынас з ураджаем сельскагаспадарчых культур [6]. Найгоршы стан па ступені насычанасці асновамі харкторны для эрадаванай глебы схілу катэны 1, што абумоўлена працэсамі эрозіі. Таксама адзначана нізкая насычанасць асновамі на намытай глебе катэны 2, гэта абумоўлена латэральным пераносам элементаў. Дадзены разрэз размешчаны ў ложы часовага воднага патока і падчас актыўнага дзеяння талых снегавых вод і ліўневых ападкаў адбываецца вынас як абменных асноў, так і рухомага фосфару, калію і гумусу.

У ходзе даследаванняў была вызначана шчыльнасць у асноўных генетычных гарызонтах, а таксама вызначаны структурны стан і водаўстойлівасць ворных і гумусавых гарызонтаў глебаў (табл. 3).

Шчыльнасць глебы вызначаецца ў першую чаргу яе мінералагічным і грануламетрычным складамі, структурным станам і ўтрыманнем арганічнага рэчыва [9]. Гэтыя паказчыкі істотна залежаць ад ступені эрадаванасці глебы.

Значэнні паказчыкаў шчыльнасці верхняга гарызонту вышэй на глебах катэны 1, дасягаючы максімальнага $1,46 \text{ г}/\text{см}^3$ на моцнаэрадаванай глебе схілу. Найменшае значэнне $1,02 \text{ г}/\text{см}^3$ адзначана на плакоры катэны 2. Дастаткова высокое значэнне - $1,31 \text{ г}/\text{см}^3$ адзначана на намытай глебе катэны 2, што абумоўлена, пераважна, праходам сельскагаспадарчай тэхнікі. Агулам, шчыльнасць верхніх гарызонтаў катэны 1, паводле распрацаваных дыяпазонаў значэнняў [10], адпавядала дапушчальным і крытычным значэнням, а на катэне 2 аптымальным і дапушчальным. Гэта паказвае на неабходнасць аптымізацыі фізічнага стану катэны 1. Найбольшая велічыня шчыльнасці адзначаны ў ілювіяльных гарызонтах, што з'яўляецца іх генетычнай асаблівасцю [11]. Варта адзначыць, што паказчыкі шчыльнасці пераходнага да глебаўтаральнай пароды гарызонту ва ўсіх разрэзах знаходзяцца ў дыяпазоне $1,51\text{--}1,54 \text{ г}/\text{см}^3$, што падкрэслівае гамагеннасць лёсападобных суглінкаў, як глебаўтаральных парод.

Структурны стан ворных і гумусавых гарызонтаў абедзвюх катэн можна ахарактарызаваць як здавальняючы і добры, што абумоўлена іх генетычнымі асаблівасцямі. У той жа час каэфіцыенты структурнасці на глебах катэны 2 вышэйшыя і толькі на схіле значэнне менш за 1,5. Большая колькасць агранамічна каштоўных агрэгатаў фарміруеца ў сувязі з высокім утрыманнем гумуса і сумай абменных

асноў. Зніжэнне на схіле абумоўлена малой магутнасцю перагнойнага гарызонту і захопам верхніяй часткі ніжняга гарызонту пры адборы глебавага маналіту, а таксама больш высокай шчыльнасцю. Найгоршы структурны стан на намытай глебе катэны 1, што абумоўлена акумуляцыяй фракцыі цвёрдага сцёку, якія фармуюць камякавата-глыбістную структуру, меней спрыяльнную для праастання раслін.

Табліца 3
Аграфізічныя ўласцівасці глебаў

Катэна, частка схілу	Гарызонт	Шчыльнасць, г/см ³	Каэфіцыент структурнасці	Водаўстой- лівасць, %
1 плакор	Aп	1,38	2,3	34,1
	Bt	1,54	—	—
	BC	1,52	—	—
2 плакор	A	1,02	6,2	45,9
	A ₁ A ₂	1,39	—	—
	Bt	1,55	—	—
1 схіл	Aп	1,46	1,5	14,4
	BC	1,51	—	—
2 схіл	A ₁	1,22	1,2	53,6
	B _t (A ₁)	1,46		
	BC	1,53	—	—
1 падножжа	Aп	1,39	1,0	27,5
	A ₁ (g)	1,35	—	—
	[A ₁](g)	1,39	—	—
	BC	1,54	—	—
2 падножжа	A ₁	1,31	1,7	48,3
	A ₁ (g)	1,29	—	—
	[A ₁ A ₂](g)	1,30	—	—
	[A ₂](g)	1,39	—	—
	BC	1,54	—	—

На падставе паказыкаў на катэне 1 толькі на плакоры водаўстойлівасць можна ахарактарызаваць, як здавальняющую. У той жа час на ўсёй катэне 2 – як добрую. Дадзенае адрозненне абумоўлена ў першую чаргу характарам выкарыстання і ўтрыманнем гумусу, паколькі глебам, сформаваным на лёсападобных суглінках, уласціва нізкая супрацьэрэзійная ўстойлівасць [2].

ВЫВАДЫ

Праведзеныя даследаванні паказалі, што пры рознай інтэнсіўнасці выкарыстання глебы схілавых земляў перажываюць значныя змены. Пад уплывам натурадальных (эрозія) і антрапагенных фактараў (апрацоўка глебы) змяняецца глебавы профіль, аграфізічныя, фізіка-хімічныя і аграхімічныя ўласцівасці.

Пры актыўным сельскагаспадарчым выкарыстанні адбываецца спрашчэнне профілю: знікае элювіяльны гарызонт на неэрадаванай глебе і ілювіяльна-гліністы на моцнаэрадаванай, і пад уздзеяннем эразійных працэсаў фармуюцца магутныя намытыя гарызонты ў падножкы схілу. Пагаршаецца структурны стан

і супрацьэразійная ўстойлівасць, адзначаеца паляпшэнне толькі асобных аграхімічных паказчыкаў. Атрыманыя вынікі сведчаць аб неабходнасці правядзення супрацьэразійных мерапрыемстваў пры арганізацыі землекарыстання схілаў Мінскага ўзвышша.

СПІС ЛІТАРАТУРЫ

1. *Литвин, Л. Ф.* География эрозии почв сельскохозяйственных земель России / Л. Ф. Литвин. – Москва, 2002. – 255 с.
2. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред В. В. Лапа, А. Ф. Черныша; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 170 с.
3. *Цыбулько, Н. Н.* Эрозионная деградация почвенного покрова Беларуси / Н. Н. Цыбулько // Природные ресурсы. – 2006. – № 3. – С. 23–32.
4. Якушко О. Ф. Геоморфология Беларуси: учебное пособие для студентов географических и геологических специальностей / О. Ф. Якушко, Л. В. Марьина, Ю. Н. Емельянов. – Минск: БГУ, 1999. – 173 с.
5. *Вадюнина, А. Ф.* Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с
6. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии; под. ред. В. В. Лапа. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.
7. *Анциферова, О.* Валовой фосфор в почвообразующих породах и почвах западной части Калининградской области / О. Анциферова // Агрохимический вестник. – 2014. – № 2. – С. 11–13.
8. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. – 275 с. .
9. Медведев, В. В. Изменчивость оптимальной плотности почв и ее причины / В. В. Медведев // Почвоведение. – 1990. – № 5. – С. 20–30.
10. *Цырибко, В. Б.* Определение оптимальных параметров агрофизических свойств почв и оценка современного состояния на их основе / В. Б. Цырибко // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 1(56). – С. 36–44.
11. Почвы Белорусской ССР [Текст] / Под ред. чл.-кор. АН БССР Т. Н. Кулаковской [и др.]; Белорус. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Ураджай, 1974. – 312 с.

TRANSFORMATION OF SOD-PODZOLIC SOILS OF SLOPE AGRICULTURAL LANDS OF THE MINSK HILLS

V. B. Tsyrybka, I. A. Lahachou, M. M. Tsybulka, H. M. Ustsinava, A. Ya. Yarotau

Summary

The article analyzes the change in soils of sloping lands. Under the influence of natural and anthropogenic factors, the soil profile is simplified: the eluvial horizon on non-eroded soil and the illuvial-humus horizon on strongly eroded soil disappear, and washed-out horizons form at the foot of the slope. The structural condition and erosion resistance deteriorate, especially on soils subject to intensive agricultural use.

ВЛИЯНИЕ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСНОВНЫХ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ СКЛОНОВЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

И. А. Логачев, А. В. Юхновец, С. А. Касьянчик, С. Д. Воронович

Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Основными причинами деградации почвенно-земельных ресурсов являются факторы антропогенного характера – несбалансированное интенсивное землепользование, несоблюдение норм законодательства об охране и использовании земель. Кроме того, процессы деградации почв усугубляются экстремальными метеорологическими явлениями (засухи, заморозки и другие причины).

Наиболее масштабным видом деградации почв, приводящим к снижению производительной способности сельскохозяйственных земель на территории Беларуси, является эрозия. Вклад водной эрозии в разрушение почв составляет 56 %, дефляции – 28 %, химической и физической деградации подвержено 12 % и 4 % почв соответственно [1].

Эрозия почв, обуславливаемая чрезвычайно сложным комплексом геоморфологических, климатических, почвенных условий и хозяйственным использованием земель, проявляется на территории Беларуси во всех видах и разновидностях. Водная эрозия, вызываемая талыми водами и ливневыми осадками, проявляется на склонах в виде смыва верхней части почвенного покрова (плоскостная и струйчатая эрозия) или в виде размыва в глубину (линейная эрозия). Уже на склонах 1-2 градуса проявляется плоскостная эрозия. С возрастанием крутизны она усиливается, увеличивает ложбинность полей, перерастает в линейную эрозию [2].

Разрушение почв, вымывание гумуса и элементов питания, ухудшение водного режима, физических, биологических и агрохимических свойств приводят к значительному снижению плодородия эродированных почв [3].

В условиях исследований на опытных стационарах установлено, что дерново-подзолистые почвы, подверженные водной эрозии под влиянием смыва части как пахотного слоя, так и иллювиального горизонта, имеют не только низкое содержание гумуса и общего азота, но и повышенную кислотность и меньшую емкость поглощения. Уменьшение содержания гумуса в почве в связи с эрозией является интегральным показателем уровня снижения плодородия почв [4, 5].

В то же время исследования на производственных посевах практически не проводились. Масштабы распространения эрозионных процессов на сельскохозяйственных землях Беларусь указывают, что эта проблема требует дальнейшего всестороннего изучения.

Цель исследований заключалась в изучении влияния эрозионных процессов на изменение основных показательней плодородия склоновых сельскохозяйственных земель Республики Беларусь.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выбор опорных почвенно-геоморфологических катен для изучения агрохимических свойств определялся многими факторами: масштабами и географией распространения склоновых земель, генезисом почвообразующих пород, их гранулометрическим составом, степенью интенсивности протекания эрозионных процессов. Исходя из этих соображений, в процессе почвенных экспедиций, проведенных весной–летом 2021 г., было заложено 87 опорных катен на склоновых землях в Брестской, Гродненской, Минской, Могилевской и Витебской областях (рис. 1). Почвенный покров катен представлен дерново-подзолистыми суглинистыми и супесчаными почвами, сформированными на лёссовидных, моренных и водно-ледниковых почвообразующих породах (табл. 1).

В ходе исследований применен метод полевых почвенных экспедиций и лабораторных экспериментов, сравнительно-географический, картографический методы.

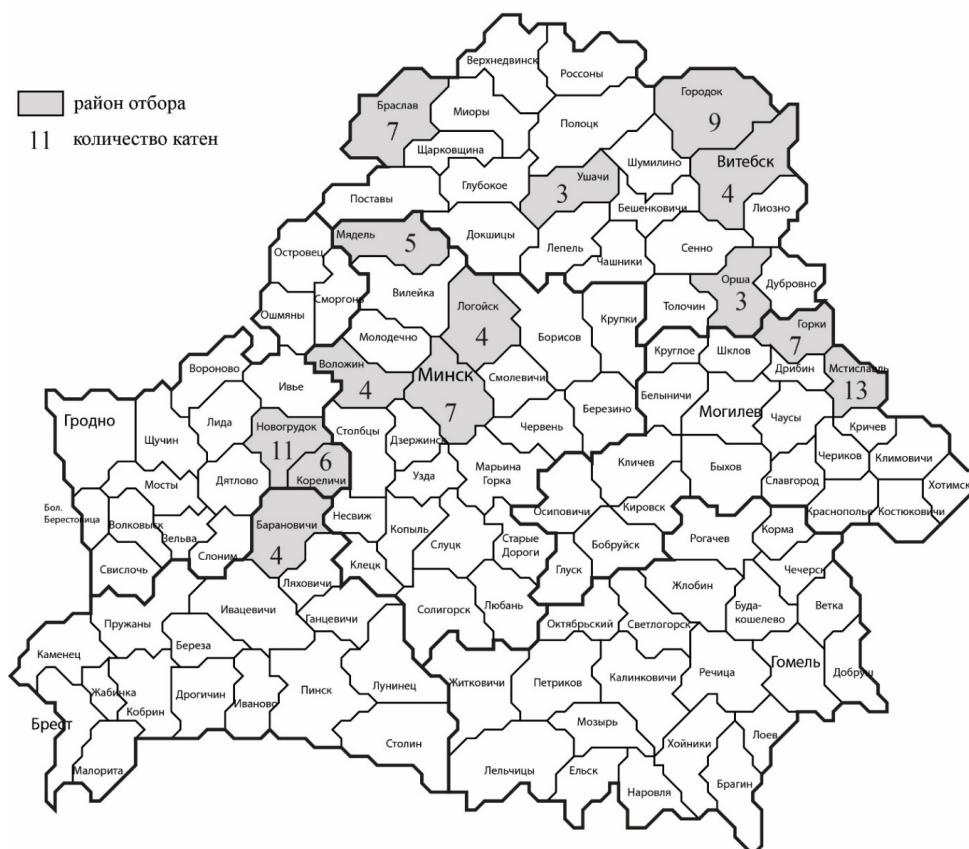


Рис. 1. Размещение опорных почвенно-геоморфологических катен для изучения агрохимических свойств почв склоновых земель

Таблица 1

**Распределение почвенно-геоморфологических катен по генезису
и гранулометрическому составу почв**

Почвенно-экологическая провинция	Тип почвы	Генезис почвообразующих пород	Гранулометрический состав почвы	Количество катен
Северная	Дерново-подзолистая	Моренные	Суглинок	17
Северная	Дерново-подзолистая	Моренные	Супесь	9
Центральная	Дерново-подзолистая	Моренные	Суглинок	8
Центральная	Дерново-подзолистая	Моренные	Супесь	11
Центральная	Дерново-подзолистая	Лессовидные	Суглинок	30
Центральная	Дерново-подзолистая	Водно-ледниковые	Супесь/песок	1

Лабораторно-аналитические исследования агрохимических показателей почв выполнялись по следующим методикам: определение содержания органического вещества (гумус) – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-84); подвижных форм фосфора и калия – по ГОСТ 26207-91; обменного аммония – фотометрическим, ГОСТ 26489-85; нитратного азота – ионометрическим методом (ГОСТ 26488-85).

Математическая обработка данных выполнена с использованием программного обеспечения MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследований установлено относительное изменение агрохимических показателей в пахотном горизонте склоновых почв сельскохозяйственных земель. Основная выявленная тенденция – это снижение содержания гумуса и элементов питания с возрастанием степени эродированности почвы (табл. 2).

Таблица 2

Изменение основных показателей плодородия дерново-подзолистых почв под влиянием процессов эрозионной деградации

Степень эродированности	Процент снижения к неэродированной почве							
	гумус		P_2O_5		K_2O		минеральный азот	
	средний	max	средний	max	средний	max	средний	max
Моренные суглинки								
Слабая	-20,0	-56,5	-25,2	-75,6	-21,1	-68,8	-28,6	-58,4
Средняя	-29,5	-68,5	-32,5	-90,0	-29,1	-56,3	-38,6	-74,0
Сильная	-40,1	-78,5	-38,3	-95,1	-39,5	-67,9	-53,9	-73,2
Моренные супеси								
Слабая	-17,9	-41,2	-20,3	-56,8	-19,3	-41,1	-23,0	-35,1
Средняя	-30,0	-59,2	-29,6	-69,2	-20,5	-47,8	-34,2	-75,5
Сильная	-48,7	-87,5	-38,7	-81,8	-36,2	-52,5	-46,1	-82,1
Лессовидные суглинки								
Слабая	-11,8	-41,3	-15,3	-83,3	-16,6	-79,2	-24,5	-71,0
Средняя	-23,6	-75,1	-24,1	-84,0	-27,3	-78,7	-35,1	-83,3
Сильная	-40,3	-82,7	-34,9	-91,6	-42,0	-93,3	-42,6	-83,7

Полученные данные о снижении содержания элементов питания согласуются с ранее проведенными исследованиями [5–7]. Наименьшие потери отмечены на почвах, сформированных на лессовидных суглинках. При этом потери на сильноэродированных разновидностях практически идентичны на всех почвообразующих породах, что указывает на ключевую роль интенсивности эрозии в изменении содержания агрохимических параметров плодородия почв.

В целом относительное снижение показателей гумуса, подвижного калия и подвижного фосфора сопоставимо, так как их потери происходят преимущественно с твердым стоком, а для минерального азота показатели потерь более высокие, что связано с перераспределением нитратного азота жидким стоком [7].

Характеризуя полученные данные, можно отметить, что потери элементов питания зависят в первую очередь от интенсивности процессов эрозионной деградации. Средние потери на слабоэродированных почвах составляют до 20–30 %, на среднеэродированных – до 30–40 %, а на сильноэродированных – до 40 и более.

В ходе исследований установлено, что в абсолютном выражении содержание подвижного калия изменялось от 57 мг/кг до 2524 мг/кг, а подвижного фосфора – от 55 мг/кг до 2810 мг/кг. Минимальные значения позволяют относить почвы к группе с очень низким содержанием элементов, а почвы с максимальным – к группе с очень высоким содержанием [9].

Стоит отметить, что экстремально высокие величины отмечались на нескольких катенах на неэродированной и слабоэродированной почвенных разновидностях. Такое высокое содержание данных элементов питания может стать экологической проблемой, особенно в северной почвенно-экологической провинции в условиях сочетания холмисто-моренно-эрэзионного ландшафта и большой площади водных объектов. Вместе с твердым стоком подвижный фосфор может попадать в водоемы вызывая их ускоренную эвтрофикацию [10].

Необходимо указать, что в ходе исследований были изучены катены как с гораздо более экстремальными темпами снижения (максимумы отмечены в таблице 2), так и катены в которых происходило увеличение показателей плодородия почв. Пример подобной катены приведен в таблице 3.

Таблица 3

Пример катены, заложенной на дерново-подзолистой водно-ледниковой связносупесчаной почве, с разнонаправленными изменениями показателей плодородия (Кореличский район)

Степень эродированности	Процент снижения (повышения) к неэродированной почве			
	гумус	P ₂ O ₅	K ₂ O	минеральный азот
Слабая	–33,5	12,9	–14,9	–48,9
Средняя	–44,2	38,8	–19,8	–50,5
Сильная	–55,1	–35,7	–30,3	–69,3

Как видно из таблицы 3 в данной катене происходит снижение содержания гумуса, минерального азота, подвижного калия. В то же время отмечено увеличение показателя содержания подвижного фосфора на слабоэродированной и среднеэродированной разновидностях почвы. Это можно объяснить негомогенным распределением агрохимических свойств почв в целом и несоблюдением агротехнологий.

На основе анализа всего массива данных, была получена информация об удельном весе эродированных почв, в которых не происходит снижение величин основных показателей плодородия по склону (рис. 2.)

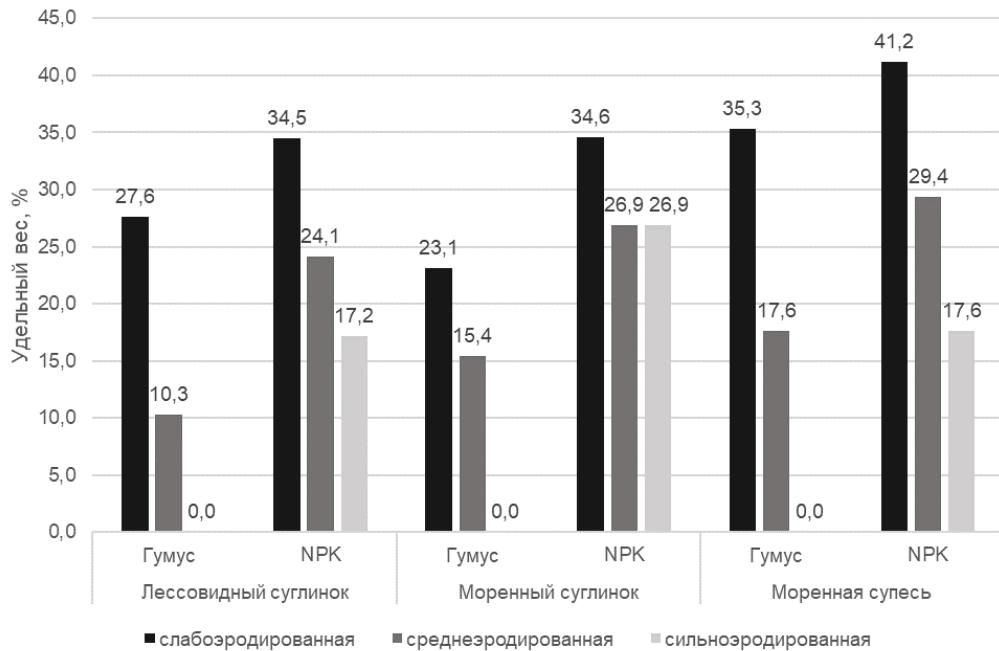


Рис. 2. Доля эродированных почв, в которых не происходит снижение величин основных показателей плодородия

Диаграмма хорошо иллюстрирует, что в ряде случаев изменение агрохимических свойств почв склоновых земель происходит в ключе отличном от общепринятой парадигмы снижения их показателей с возрастанием интенсивности эрозионных процессов. Этот факт может быть связан с рядом как природных, так и антропогенных факторов. Основным природным фактором является сложность микрорельефа: склоны зачастую имеют сложную форму с рядом отрицательных и положительных форм рельефа, которых может быть достаточно для локального переноса и переотложения частиц почвы с твердым и жидким стоками. Однако в условиях производственных посевов, ключевую роль играет антропогенный фактор. Это подтверждается полученными данными фактического содержания гумуса и элементов питания в ходе маршрутных исследований.

Анализ результатов почвенных экспедиций позволил разделить тенденции изменения содержания гумуса и макроэлементов. Для показателей содержания гумуса характерна меньшая степень несоответствия парадигме изменения агрохимических свойств по степеням эродированности. Доля слабоэродированных почв, в которых отсутствует снижение данного показателя, варьируется в пределах 23,1–35,3 %, среднеэродированных – в диапазоне 10,3–17,6 %, а доля сильноэродированных почв не выявлена. В то же время показатели содержания подвижного калия, подвижного фосфора и минерального азота значительно чаще имеют

тенденцию изменяться разнонаправлено: на слабоэродированных – в 34,5–41,2 % случаев, на среднеэродированных – в 24,1–29,4 %, на сильноэродированных – в 17,2–26,9 %. Это связано с тем, что для изменения содержания гумуса необходим комплекс мероприятий, в том числе внесение органических удобрений, при этом около 75% от внесенного количества минерализуется и только около 25 % гумифицируется и восполняет потери гумуса [9]. Содержание макроэлементов изменяется быстрее в зависимости от доз внесения минеральных удобрений.

На почвах, сформированных на моренных почвообразующих породах, отмечается более высокая частота разнонаправленного изменения свойств, что, вероятно, связано с более низкой культурой земледелия, поскольку при проведении исследований на опытных стационарах данная тенденция не отмечена в условиях производства [5].

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили установить влияние эрозионных процессов на изменение параметров основных показателей плодородия почв склоновых сельскохозяйственных земель. Установлено, что потери элементов питания зависят в первую очередь от интенсивности процессов эрозионной деградации. Средние потери на слабоэродированных почвах составляют до 20–30 %, на среднеэродированных – до 30–40 %, а на сильноэродированных – до 40 и более процентов.

При этом в условиях производственных посевов тенденция снижения величин показателей проявляется не повсеместно. В ходе исследований установлено, что доля слабоэродированных почв различного генезиса, в которых отсутствует снижение содержания гумуса варьируется в пределах 23,1–35,3 %, среднеэродированных – 10,3–17,6 %, а сильноэродированных почв с отсутствием снижения показателей не выявлено. В то же время показатели содержания подвижного калия, подвижного фосфора и минерального азота имеют тенденцию значительно чаще изменяться разнонаправлено: на слабоэродированных – в 34,5–41,2 % случаев, на среднеэродированных – в 24,1–29,4 %, на сильноэродированных – в 7,2–26,9 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деградация почв сельскохозяйственных земель Беларуси: виды и количественная оценка / А. Ф. Черныш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 7–18.
2. Морфометрия склонов сельскохозяйственных земель Беларуси: практическое пособие / Н. Н. Цыбулько [и др.]; под общ. ред. Н. Н. Цыбулько; Национальная академия наук Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2020. – 92 с.
3. Эрозионная деградация почв Беларуси / Н. Н. Цыбулько [и др.] // Земледелие и защита растений – 2018. – Приложение к № 2. – С.19–26.
4. Почвы Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под. ред. В. В. Лапа. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 632 с.
5. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа

- [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапы, А. Ф. Черныша; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 170 с.
6. Черныш, А. Ф. Современные почвенно-эрзационные процессы в Беларуси / А. Ф. Черныш, А. М. Устинова, А. В. Юхновец // Эрозионные и русловые процессы: сб. тр. / Межвуз. науч.-координац. совет по проблеме эроз., русловых и устьевых процессов при МГУ им. М. В. Ломоносова. – М., 2015. – Вып. 6. – С. 27–45.
7. Жилко, В. В. Водная и ветровая эрозия / В. В. Жилко. – Минск: Ураджай, 1986. – 54 с.
8. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика / Г.М. Мороз [и др.]; под. ред. Г. М. Мороза и В. В. Лапа. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 208 с.
9. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под. ред. В. В. Лапа; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.
10. Руководство по экологически безопасному использованию земель на водосборах озёр национального парка «Браславские озера» и сопредельных территориях Белорусского Поозерья / А. Ф. Черныш [и др.]. – Минск: БелНИИПА, 2003. – 52 с.

THE INFLUENCE OF EROSION PROCESSES ON THE CHANGE IN THE PARAMETERS OF THE MAIN AGROCHEMICAL INDICATORS OF SOIL FERTILITY ON SLOPING AGRICULTURAL LANDS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

I. A. Lahachou, A. V. Yukhnavets, S. A. Kas'yanchik, S. D. Varanovich

Summary

The article presents the results of studies of changes in the main indicators of fertility of sod-podzolic soils of slope lands under the influence of erosion processes. Determined the ranges of their reduction depending on the degree of erosion, constituting up to 20–30 % on weakly eroded soils, up to 30–40 % on moderately eroded soils, and up to 40 % and more percent on heavily eroded soils.

The presence of trends in multidirectional changes in the content of humus, mobile phosphorus, mobile potassium and mineral nitrogen in the conditions of industrial crops on soils of various genesis and the degree of manifestation of erosion processes has been established.

Поступила 29.09.22

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.86:631.872:631.47
doi 10.47612/0130-8475-2022-2(69)-37-56

ВІДЫ ОРГАНІЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ІХ ПОТРЕБНОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗДЕФИЦИТНОГО БАЛАНСА ГУМУСА В ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ

Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, Т. М. Кирдун, Н. Ю. Жабровская

Інститут почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь

Важнейшей проблемой современного агропромышленного комплекса остается поиск путей получение стабильно высоких урожаев возделываемых сельскохозяйственных культур при одновременном сохранении плодородия почв. Реализация поставленных задач возможна на основе использования современных технологий ведения аграрного производства. Многолетние исследования, проведенные сотрудниками Института почвоведения и агрохимии совместно с учеными из профильных организаций республики, позволили установить высокий положительный эффект действия органических удобрений и необходимость их использования в научно обоснованной системе удобрения. Авторами статьи систематизированы результаты по химическому составу различных видов органических удобрений, полученных и применяемых в сельскохозяйственных организациях республики. Данная информация необходима для принятия эффективных управленческих решений по выбору и использованию различных видов органических удобрений, моделированию и прогнозированию урожайности сельскохозяйственных культур в условиях Республики Беларусь.

Органические удобрения – удобрения, содержащие элементы питания растений преимущественно в форме органических соединений животного и растительного происхождения, которые, разлагаясь, образуют минеральные вещества, при этом в приземный слой выделяется диоксид углерода, необходимый для фотосинтеза растений. Применение органических удобрений оказывает многостороннее действие на все агрономически важные функции почвы и позволяет вовлечь в хозяйствственно-биологический круговорот элементы минерального питания, отчуждаемые с урожаем.

Систематическое применение органических удобрений способствует накоплению гумуса, улучшает физико-химические свойства почвы: увеличивает запас питательных веществ; понижает кислотность; повышает содержание поглощенных оснований, поглотительную способность и буферность, влагоемкость, скважность и водопрони-

цаемость; обогащает почву микрофлорой; усиливает ее биологическую активность и выделение углекислоты; уменьшает сопротивление почвы при механической обработке; создает оптимальные условия для минерального питания растений; повышает устойчивость растениеводства к неблагоприятным погодным условиям.

В общем балансе элементов питания, вносимых ежегодно под сельскохозяйственные культуры, на долю органических удобрений приходится около 30 % азота и калия и 50 % фосфора. Около 75 % органических удобрений от внесенного количества минерализуется и участвует в питании растений, а 25 % гумифицируется и восполняет потери гумуса при возделывании сельскохозяйственных культур. На скорость минерализации гумуса влияют почвенные условия, интенсивность обработки, особенности севооборота, уровень внесения удобрений и др. При сложившейся структуре посевых площадей за счет растительных остатков восстанавливается около 55 % потерь гумуса; остальное количество должно быть восполнено за счет органических удобрений.

Внесение органических удобрений в оптимальных дозах имеет высокую агрономическую эффективность: нормативная прибавка урожая от 1 т навоза для озимых зерновых составляет 25 кг зерна, картофеля – 105 кг клубней, сахарной свеклы – 125 кг корнеплодов, кормовых корнеплодов – 200 кг корней, кукурузы на силос – 190 кг зеленой массы, всех культур на пашне – 30 к. ед.

В сельскохозяйственных организациях цены на приготовление, доработку и внесение органических удобрений существенно отличаются в зависимости от степени механизации конкретных технологических операций, дальности перевозки и качества органических удобрений.

К наиболее распространенным органическим удобрениям в Республике Беларусь относятся подстилочный и бесподстилочный навоз, птичий помет, сапропель, торф, зеленое удобрение, компосты (торфонавозные, торфопометные, вермикомпосты и др.).

Все виды работ с органическими удобрениями должны осуществляться согласно действующему законодательству по охране природы, санитарным нормам, требованиям техники безопасности и правилам личной гигиены.

Виды органических удобрений, их характеристика

Подстилочный навоз

Подстилочный навоз представляет собой смесь подстилки, остатков корма, твердых и жидкых выделений животных. Качество подстилочного навоза зависит от вида животных, типа кормления, количества и вида подстилки, способов хранения. Средний состав подстилочного навоза приведен в таблице 1 и 2.

В качестве подстилки используется солома, торф, опилки, листовой опад (табл. 3). Одна весовая часть соломы поглощает 3 части воды, верхового торфа – 10–15 частей, опилок – 4–4,5 частей.

Для хранения подстилочного навоза используют горячий, холодный и горячепрессованный способы. При горячем или рыхлом хранении навоз укладывают в узкие, не шире 3 м, штабеля без уплотнения. При холодном или плотном способе хранения навоз складируют в штабель шириной около 5–6 м и высотой около 1 м, сразу же утрамбовывая; далее настилают новые слои навоза, пока высота уплотненного штабеля не достигнет 2,5–3 м; затем штабель накрывают резаной соломой или торфом. При горячепрессованном или рыхло-плотном способе хра-

ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

нения навоз вначале укладывают рыхло слоями 80–100 см и после повышения температуры в слое до 60–70 °С (на 3–5 день) сильно уплотняют; штабель после уплотнения накрывают соломой или торфом.

Таблица 1

Средний состав подстилочного навоза

Удобрение	Влажность, %	Содержание, кг/т						
		Органическое вещество	N _{общ.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄
Соломистый навоз								
КРС	75	200	5,0	3,0	6,0	2,0	1,5	0,6
свиньи	70	240	5,0	2,0	6,0	1,8	0,9	0,8
овцы	65	300	8,0	2,5	6,5	3,3	1,8	1,5
лошади	70	220	6,0	3,0	6,5	2,1	1,4	0,7
Торфяной навоз								
КРС	75	220	6,0	2,0	5,0	4,5	1,0	0,5
лошади	70	230	8,0	2,5	5,5	4,4	1,2	0,4

Таблица 2

Среднее содержание микроэлементов в подстилочном навозе, г/т (влажность навоза 75 %)

Подстилочный навоз	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Co
Крупного рогатого скота	42,1	19,1	4,6	3,8	0,2	0,3
Свиной	102,6	68,7	12,7	3,1	0,2	0,3
Конский	91,5	36,0	6,2	3,1	0,2	0,3

Таблица 3

Средний состав подстилки, кг/т

Вид подстилки	Влажность, %	Азот	Фосфор	Калий
Солома зерновых культур	16,0	4,0	1,5	10,0
Торф верховой	60,0	4,0	0,4	0,3
Торф переходный	60,0	6,5	0,6	0,5
Торф низинный	60,0	10,0	1,2	0,7
Опилки	25,0	2,0	3,0	7,0
Листовой опад	14,0	10,0	2,5	3,0

Разложение навоза при холодном способе хранения происходит в анаэробных условиях (за исключением поверхности штабеля), при этом сохраняется постоянное увлажнение. Температура в штабеле зимой не поднимается выше 20–25 °С, летом – 30–35 °С. Холодный способ хранения рассчитан на приготовление полуперепревшего навоза, который в зимний период образуется через 3–4 месяца после закладки штабеля. Перепревший навоз при таком хранении получается через 7–8 месяцев.

Горячий и горячепрессованный способы хранения, при которых навоз разогревается до 70 °С, применяют при обнаружении возбудителей желудочно-кишечных

заболеваний и необходимости биотермического обеззараживания навоза. Горячепрессованный способ хранения применяется также для уничтожения семян сорняков и при необходимости ускорить разложение навоза, содержащего большое количество соломенной или торфяной подстилки. При горячепрессованном способе хранения полуперепревший навоз образуется через 1,5–2 месяца, перепревший – через 4–5 месяцев после закладки штабеля.

Удобрение лучшего качества получают при хранении холодным способом, при котором меньше потери азота и органического вещества, больше накапливается и сохраняется аммонийного азота. При горячем способе хранения из навоза с соломенной подстилкой в среднем теряется 33 % органического вещества и 31 % азота, при горячепрессованном – 25 и 22 %, при холодном – 12 и 11 %. Из навоза на торфяной подстилке потери органического вещества и азота при горячем способе составляют 40 и 25%, горячепрессованном – 33 и 17 %, холодном – 7 и 1 %.

Самый лучший навоз получается при содержании скота на глубокой подстилке. В начале стойлового периода в помещение завозят и расстилают тонким слоем торфокрошку или солому (в среднем 300 кг на одну корову). Через 10 дней добавляют новый слой торфокрошки или соломы. Аналогично навоз готовят на выгульных площадках и полевых загонах. Убирают его один-два раза в год и укладывают на площадке у фермы в типовых навозохранилищах или в поле в уплотненные штабеля. Штабеля делают шириной 4 м и более и высотой 1,5–2,0 м. Их размещают так, чтобы при внесении навоза холостые проезды навозоразбрасывателей были минимальными. В зимний период каждый штабель укладывают не больше чем за 1–2 дня и укрывают слоем торфа или резаной соломы (до 25 см).

Выход навоза зависит от вида животных, количества подстилки и продолжительности стойлового периода (табл. 4).

Таблица 4
Примерные нормы подстилки для животных, кг/сутки

Вид животных	Солома зерновых культур	Торф	Опилки
Крупный рогатый скот	4–6	6–8	3–4
Молодняк КРС	2–3	3–4	2–4
Лошади	3–5	5–6	2–3
Свиньи	2–3	3–4	2–3
Овцы, козы	0,5–1	0,8–1	1,5–2

Для расчета выхода экскрементов все поголовье скота переводится в условные головы по коэффициентам: коровы и быки – 1,0; прочий крупный рогатый скот – 0,6; свиньи – 0,3; овцы и козы – 0,1; лошади – 1,0; птица – 0,01.

В сутки от одной условной головы выход экскрементов составляет 40 кг. В качестве годового норматива выхода экскрементов с учетом 15 % потерь при хранении принято 9,5 т на условную голову. К общему количеству экскрементов от всех видов животных прибавляют вес подстилки и получают выход органических удобрений в целом по хозяйству.

Количество навоза, хранящегося в штабеле, можно определить, зная объем штабеля (произведение длины, ширины и высоты в м³). 1 м³ свежего навоза весит 400 кг, уплотненного – 700, полуперепревшего – 800, сильно разложившегося – 900 кг.

В процессе хранения и разложения подстилочного навоза из него выделяется **навозная жижа**, которую необходимо собирать в жижесборники. Объем

жижесборника составляет 1,3 м³ на каждые 100 т навоза. Вместимость его должна быть не менее 3–4 м³. Навозная жижа жижесборников при скотных дворах содержит 0,1 % азота, 0,03 % фосфора и 0,28 % калия; жижесборников при навозохранилищах – 0,26; 0,06 и 0,58 % соответственно. Собранный навозную жижу используют в первую очередь для приготовления компостов, а также непосредственно на удобрение в основное внесение или подкормку.

Бесподстилочный навоз

Бесподстилочный навоз представляет собой смесь жидких и твердых экскрементов животных с примесями воды и корма. В общей структуре органических удобрений в Республике Беларусь бесподстилочный навоз занимает более 40 %. Образуется бесподстилочный навоз на животноводческих фермах и комплексах, где технологией не предусмотрено использование подстилки.

Бесподстилочный навоз в зависимости от соотношения жидкой и твердой фракций подразделяют на полужидкий (более 8 % сухого вещества), жидкий (3–8 % сухого вещества) и навозные стоки (менее 3 % сухого вещества).

Для расчета количества органических удобрений бесподстилочный навоз с помощью коэффициентов переводят в условный навоз влажностью 75 % (25 % сухого вещества). Коэффициент пересчета (К) устанавливается по формуле:

$$K = (100 - B_{\text{факт}}) : (100 - B_{\text{усл}}),$$

где $B_{\text{факт}}$ – фактическая влажность, %;

$B_{\text{усл}}$ – условная влажность (75 %).

Если влажность удобрений не определяется, можно воспользоваться следующими коэффициентами пересчета удобрений в условный навоз: все виды подстилочного навоза и компости – 1; полужидкий бесподстилочный – 0,5; жидкий – 0,2; навозные стоки – 0,06.

Количество бесподстилочного полужидкого навоза на животноводческом комплексе ($H_{\text{бп}}$) в тоннах за стойловый период рассчитывают по формуле:

$$H_{\text{бп}} = [(K + M) \times D_c \times \chi_c] : 1000,$$

где K и M – масса кала и мочи от одной головы скота в сутки, кг;

D_c – продолжительность стойлового периода, дней;

χ_c – число голов скота;

1000 – коэффициент пересчета кг в тонны.

При расчете выхода жидкого навоза к количеству экскрементов добавляют количество воды, используемой для гидросмыыва. 1 м³ жидкого навоза в среднем весит 0,95 т, полужидкого – 0,9 т. Средний выход экскрементов в сутки от разных видов животных приведен в таблице 5.

Для примерного расчета выхода бесподстилочного навоза применяют коэффициенты перевода в условные головы и нормативы выхода экскрементов, приведенные в разделе «Подстилочный навоз».

Количество элементов питания в бесподстилочном навозе в зависимости от технологии содержания животных и удаления навоза колеблется в очень широких пределах и должно определяться в агрохимических лабораториях. Средний состав бесподстилочного навоза приведен в таблицах 6 и 7.

Хранят бесподстилочный навоз в прифермских или полевых навозохранилищах. Прифермские навозохранилища строят на расстоянии не менее 300 м

от животноводческого комплекса. Полевые навозохранилища открытого котлованного типа размещаются на удобряемых полях. На одну условную голову при 6-месячном хранении бесподстилочного навоза (при слабом разбавлении его водой) требуется хранилище объемом 12 м³. Как прифермские, так и полевые навозохранилища должны иметь хорошую гидроизоляцию, иначе они будут являться очагами загрязнения грунтовых вод и водоемов.

Таблица 5
Средний суточный выход экскрементов, кг на 1 голову

Крупный рогатый скот			Свиньи		
Группа животных	Влажность, %	кг в сутки	Группа животных	Влажность, %	кг в сутки
Быки-производители	86,0	40,0	Хряки	89,4	11,1
Коровы	88,4	55,0	<u>Свиноматки:</u>		
Телята до 3 мес.	91,8	4,5	холостые	90,0	8,8
Телята до 6 мес.	87,4	7,5	супоросные	91,0	10,0
<u>На откорме:</u> до 4 мес.	87,4	7,5	подсосные	90,1	15,3
с 4 до 6 мес.	87,2	14,0	<u>Поросята:</u> 26–42 дней	90,0	0,4
с 6 до 12 мес.	86,2	26,0	43–60 дней	86,0	0,7
старше 12 мес.	84,9	35,0	61–106 дней	86,1	1,8
<u>Молодняк:</u> телки и нетели 6–12 мес.	87,2	14,0	<u>Свиньи на откорме:</u> до 70 кг	87,0	5,0
нетели 12–18 мес.	86,7	27,0	более 70 кг	87,5	6,5

Таблица 6
Средний состав бесподстилочного навоза

Удобрение	Влажность, %	Содержание, кг/т						
		Органическое вещество	N _{общ.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄
Полужидкий навоз								
КРС	90	80	2,5	1,5	3,5	0,8	0,6	0,3
свиньи	90	80	4,0	2,5	2,0	1,8	1,0	0,4
Жидкий навоз								
КРС	95	40	2,0	0,8	2,0	0,5	0,3	0,1
свиньи	95	40	2,5	1,2	1,2	0,6	0,4	0,1
Навозные стоки								
КРС	98	18	0,7	0,4	0,7	0,2	0,1	–
свиньи	98	14	1,5	0,8	0,7	0,3	0,2	–

Таблица 7

Среднее содержание микроэлементов в бесподстилочном навозе, г/т

Удобрение	Влажность, %	Mn	Zn	Cu
Полужидкий навоз				
КРС	90	19,6	12,8	2,7
свиньи	90	37,0	131,0	53,0
Жидкий навоз КРС	95	6,1	5,9	1,4
Навозные стоки свиней	98	10,1	26,6	9,0

Бесподстилочный навоз при хранении расслаивается на три слоя: верхний – плотный плавающий (влажность 78–84 %), нижний – осадок (влажность 84–88 %), средний – жидкий (влажность 88–94 %). Чтобы обеспечить однородность навозной массы, в хранилище должно быть устройство для ее перемешивания. Перемешивание (гомогенизация) бесподстилочного навоза проводится не реже 1 раза в неделю, а в период внесения – несколько раз в день по 40–70 мин. Полужидкий бесподстилочный навоз используют главным образом для приготовления компостов с торфом, соломой, растительными, древесными и бытовыми отходами. Жидкий навоз применяют в основное внесение, в том числе совместно с соломой, и в подкормки. Навозные стоки, содержащие более 97 % влаги и небольшое количество элементов питания, целесообразно использовать для удобрительных поливов. Концентрация азота в навозных стоках при их внесении на посевы большинства сельскохозяйственных культур не должна превышать 1000 мг/л.

На животноводческих комплексах жидкий навоз может разделяться на твердую и жидкую фракции. Твердая фракция, которая по удобрительным свойствам близка к подстилочному навозу, используется для приготовления компостов или для непосредственного внесения под культуры обычной техникой, применяемой для подстилочного навоза или компостов. Жидкую фракцию применяют на удобрение дождеванием или с помощью цистерн-разбрасывателей. Рекомендуемая доза жидкой фракции навоза – 100 м³/га за один полив. Разделение бесподстилочного навоза на фракции может быть механическим или естественным (в отстойниках).

Птичий помет

Птичий помет – быстродействующее органическое удобрение с высоким содержанием питательных веществ. В зависимости от технологии выращивания птицы помет может быть подстилочным и бесподстилочным. В среднем за год от каждой курицы накапливается 70 кг, утки – 85, гуся – 170, индюка – 150 кг помета.

Состав помета зависит от вида и возраста птицы, типа кормления и содержания (табл. 8). В водорастворимых соединениях в помете содержится 50 % азота, 4 % фосфора и 60 % калия. Кроме макроэлементов, в состав птичьего помета входят микроэлементы. В 100 г сухого вещества содержится 15–38 мг марганца, 12–39 мг цинка, 1,0–1,3 мг кобальта, 0,5 мг меди, 367–900 мг железа. Сырой помет обладает неблагоприятными свойствами: имеет сильный неприятный запах, содержит семена сорняков, яиц и личинок гельминтов и насекомых, множество микроорганизмов. Помет лучше хранить холодным (плотным) способом с добавлением до 40 % соломы, сухого торфа или опилок.

Эффлюент

Биогазовые технологии являются относительным новшеством для Беларуси. В основе процесса производства биогаза из органических отходов животного и растительного происхождения лежит анаэробное (метановое) сбраживание, т. е. преобразование органических отходов в биогаз с помощью микроорганизмов. Метановое брожение представляет собой многоступенчатый процесс разложения смеси разных органических отходов в анаэробных условиях действием консорциума микроорганизмов с образованием метана и углекислоты в качестве конечных продуктов и сброшенной навозной массы. Таким образом, в результате биохимических превращений из сбраживаемого субстрата образуются биогаз и переброшенная навозная масса – эффлюент.

Расчеты показывают, что биогазовые комплексы не решают проблему утилизации жидкого навоза и навозных стоков, т. к. объем навоза после сбраживания уменьшается незначительно, однако органические удобрения, получаемые на выходе биогазовых установок, имеют другие качественные характеристики.

Состав эффлюента зависит от химического состава исходного навоза и другого используемого сырья (табл. 9). Во время брожения разлагается в среднем 30 % органического вещества, что составляет 1–2 % массы жидкого навоза. Азот, фосфор и калий практически полностью сохраняются в сброшенной массе, однако в результате брожения существенно увеличивается содержание доступных для растений форм азота и фосфора по сравнению с исходным сырьем: до 50–75 % общего количества азота находится в аммонийной форме, фосфор находится в основном в форме фосфатов и нуклеопротеидов, что обеспечивает их лучшую усвояемость растениями по сравнению с нативным навозом.

Таблица 8
Средний состав различных видов птичьего помета

Удобрение	Влажность, %	Содержание, кг/т						
		Органическое вещество	N _{общ.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄
Птичий помет								
куры	75	200	14,0	10,0	5,0	10,0	1,7	4,0
утки	70	250	7,0	9,0	6,0	11,0	2,0	3,0
гуси	75	230	5,0	5,0	9,0	8,0	2,0	9,0
индюки	75	230	7,0	6,0	5,0	5,0	2,0	3,0
Подстилочный помет	40	450	20,0	16,5	8,5	18,0	6,0	3,5
Птичий помет полужидкий	85	110	9,0	9,0	3,0	6,0	1,1	2,0
Птичий помет жидкий	95	35	3,0	2,5	1,0	2,0	0,6	0,7
Стоки птичьего помета	98	18	1,2	1,1	0,6	1,8	0,5	0,3
Сухой птичий помет	15	790	40,0	39,0	20,0	44,0	14,0	10,0

Таблица 9

Средний состав различных видов эффлюента

Удобрение	Влажность, %	Содержание, кг/т					
		Органическое вещество	N _{общ.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Эффлюент на основе:							
птичьего помета	95	30	7,0	3,7	4,1	2,3	0,8
свиного навоза	95	40	4,0	1,7	2,0	0,8	0,4
навоза КРС	95	35	4,0	1,3	3,0	0,8	0,4

По утверждению многих исследователей важной особенностью эффлюента является значительное сокращение содержания в нем личинок и яиц глистов, а также других патогенов в результате воздействия мезофильного режима анаэробного брожения. Зарубежные исследования констатируют гибель 90 % патогенов животных в анаэробной системе, а также значительное или полное уничтожение патогенов растений. Отмечают уменьшение общего количества микробного загрязнения примерно на 50–65 %. Наличие поливирусов снижается на 98 %, яиц паразитов – на 90–100 %. Исследования по наличию жизнеспособных семян сорных растений показали, что таковые в эффлюенте отсутствуют.

В результате исследований, проведенных в Институте почвоведения и агрохимии, установлено, что применение эффлюента, аналогично по влиянию на урожайность традиционным видам органических удобрений, используемым для производства биогаза, и минеральным удобрениям, внесенных в дозах, эквивалентных по азоту.

В эффлюенте основное количество азота, фосфора и калия находится в форме, доступной для растений, удобрения гомогенизированы и соответственно технологичны в работе. Однако, в производственных условиях, в связи с отсутствием достаточного количества емкостей для хранения, машин для качественного внесения, данные удобрения вносятся неравномерно, бессистемно, в течение всего года (в т. ч. зимой и летом), поэтому на практике агрономический эффект от применения эффлюента ниже, чем в опытах. Рациональные дозы эффлюента под зерновые – 40 т/га, картофель – 40–50 т/га, кукурузу – 60 т/га.

Компосты

Ценными органическими удобрениями являются компсты, для приготовления которых используют навоз, птичий помет, торф, солому, растительные и древесные органические отходы. В компостную смесь могут добавляться и минеральные компоненты.

Высококачественный компост представляет собой однородную, темную, рассыпчатую массу влажностью не более 75 %, с реакцией среды близкой к нейтральной, и содержанием элементов питания в доступных для растений соединениях. При приготовлении компостов в результате биотермических процессов погибают патогенные микроорганизмы и теряют жизнеспособность семена сорных растений, а само удобрение становится более концентрированным и биологически активным.

Компост готовят очаговым, послойным, площадочным, цеховым и другими способами около животноводческих помещений на специально выделенных (стационарных или временных) площадках или непосредственно на краю поля. Место

для компостирования следует выбирать исходя из наименьших затрат на погрузку и перевозку используемых компонентов и приготовленного компоста на поля, а также в соответствии с действующим законодательством по охране природы, санитарными нормами, требованиями техники безопасности и правилами личной гигиены. Для получения высококачественного компоста необходимо выполнять требования технологии приготовления и управлять процессами, протекающими в компостных штабелях: температурой, влажностью, аэрацией, кислотностью среды и т. д. Существует связь между влажностью, температурой, доступом воздуха и размером штабеля.

Размер штабеля зависит от способности к разложению компостируемого материала и его рыхлости. Длина может быть произвольной, но не менее 6–8 м, высота – 2,5–3,0 м, ширина по основанию – 4–6 м. При малых размерах штабеля теряется много аммиака, недостаточна температура компостной массы, процессы разложения органического вещества заторможены, мобилизация азота протекает медленно. Большая высота штабеля также нежелательна, т. к. это может привести к переуплотнению компоста и сдерживанию процессов нитрификации, которые энергичнее протекают при достаточном доступе воздуха. Необходимая аэрация в компостируемой массе достигается ее ворошением во время созревания. При этом понижается влажность компоста, если она превышает оптимальную. Если увлажнение компостируемой массы недостаточно, ее необходимо поливать навозной жижей или водой.

При оптимальных условиях аэрации и увлажнения под влиянием микробиологических процессов температура в компосте повышается до 60–70 °С. При такой температуре семена сорных растений теряют всхожесть, погибают яйца гельминтов и другие болезнетворные начала, содержащиеся в свежем навозе, навозной жиже и птичьем помете, а процессы накопления легкоподвижных питательных веществ протекают наиболее энергично. Процесс компостирования идет более активно при положительной температуре окружающего воздуха.

Торфонавозные компсты получают перемешиванием торфа с навозом в различном соотношении в зависимости от влажности торфа и навоза (табл. 10).

Таблица 10

**Среднее соотношение торфа и бесподстильного навоза
для приготовления торфонавозных компстов (по массе)**

Влажность компста, %	Влажность торфа, %	Влажность навоза, %				
		80	85	88	90	92
70	50	0,5:1	0,75:1	0,9:1	1:1	1,1:1
	55	0,7:1	1:1	1,2:1	1,3:1	1,5:1
	60	1:1	1,5:1	1,8:1	2:1	2,2:1
75	50	0,2:1	0,4:1	0,5:1	0,6:1	0,7:1
	55	0,25:1	0,5:1	0,65:1	0,75:1	0,85:1
	60	0,3:1	0,7:1	0,9:1	1:1	1,1:1

Экономически целесообразным является приготовление торфонавозного компста в соотношении 1:3, когда на 1 часть торфа (ГОСТ РБ СТБ 832-2001) приходится 3 части бесподстильного навоза. Средний состав торфонавозных и других видов компстов приведен в таблице 11. Более точно качество компстов перед их применением должно быть проверено агрохимической службой (кислотность, влажность, содержание основных элементов питания и т. д.).

Таблица 11

Средний состав различных компостов

Удобрение	Влажность, %	Содержание, кг/т						
		Органическое вещество	N _{общ.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄
Торфонавозный компост 1:1	70	220	5,0	1,6	4,0	3,5	0,6	0,3
Торфонавозный компост 1:2	70	220	5,5	1,8	4,5	4,0	0,8	0,4
Торфонавозный компост 1:3	70	220	6,0	2,0	5,0	4,5	1,0	0,5
Торфопометный компост 1:1	70	250	10,0	8,0	3,0	9,0	3,0	1,5
Торфопометный компост 1:2	70	250	12,5	10,0	4,0	10,0	4,0	2,0
Вермикомпост	50	190	9,0	6,5	9,5	6,5	3,0	1,2

Торфопометные компсты готовят на птицефабрике или непосредственно в хозяйстве в соотношении 1:1 или 1:2. В качестве дополнительных компонентов могут использоваться опилки (3 части помета и 2 части опилок). Компост созревает от трех месяцев до двух лет в зависимости от компонентов, температуры, влажности, условий аэрации и др. Очень медленно разлагаются опилки, особенно хвойных деревьев.

Вермикомпост – темно-коричневая или темно-серая сыпучая однородная масса, полученная в результате переработки органического субстрата красным калифорнийским червем. Для приготовления вермикомпоста используют различные органические отходы: навоз, бытовые отходы, растительные остатки и др. В организме червей исходный субстрат измельчается, химически трансформируется. Вермикомпост, благодаря высокой концентрации элементов питания, агрономически полезных групп микроорганизмов и биологически активных веществ положительно влияет на рост и развитие растений и оздоравливает почвенную биоту.

Сапропель

Сапропель – осадки пресноводных водоемов, образующиеся из отмерших растительных и животных организмов, минеральных веществ биогеохимического происхождения и принесенных минеральных компонентов, имеющие зольность не более 85 %. Органическое вещество сапропеля состоит не только из образований самого озера, но и пополняется за счет поступлений с водосбора в виде коллоидных растворов. Накопление минеральных веществ происходит также за счет выпадения из раствора солей под влиянием геохимических процессов и в результате жизнедеятельности водных организмов. В итоге сложных физических, химических и биологических процессов сапропель обогащается, помимо органического вещества, кальцием, фосфором, серой, микроэлементами и другими биологически активными веществами. Общие запасы озерного сапропеля в Республике Беларусь оцениваются в 263,45 млн м³, ресурсы сапропеля на выработанных и разрабатываемых торфяных месторождениях – в 574,1 млн м³.

Согласно республиканскому стандарту СТБ 17.04.02-01-2010 выделено 4 типа сапропеля: *органический, кремнеземистый, карбонатный и смешанный*. Органический сапропель в сухом веществе в среднем содержит 76 % органического вещества (верхний предел зольности – 30 %), 3,3 % общего азота, 0,4 % P₂O₅, 0,2 % K₂O, 0,5 % MgO, 2,6 % CaO, 0,8 % SO₃, 13,1 % SiO₂. Органический сапропель

по соотношению гуминовых кислот (ГК) и легкогидролизуемых веществ (ЛГ) разделяется на торфосапропель ($\text{ГК}/\text{ЛГ} > 3$), высокогумусный ($\text{ГК}/\text{ЛГ} = 1-3$), среднегумусный ($(\text{ГК}/\text{ЛГ} = 0,5-1,0)$) и низкогумусный ($\text{ГК}/\text{ЛГ} < 0,5$).

Кремнеземистый сапропель содержит 43 % органического вещества; 2,1 % общего азота; 0,5 % P_2O_5 ; 1,5 % K_2O ; 1,3 % MgO ; 4,6 % CaO ; 0,7 % SO_3 ; 36 % SiO_2 . Кремнеземистый сапропель наиболее широко представлен в озерных осадках Беларуси и составляет около 70 % разведанных запасов.

Свежедобытые сапропели не применяют как удобрение, так как в них содержится много закисных токсичных соединений, низкая биологическая активность. Применение органических удобрений из сапропеля предусматривает проветривание и промораживание, в результате чего активизируется микробиологическая деятельность, происходит детоксикация и улучшается структура.

Для производства сапропелевых удобрений используется органический, органо-кремнеземистый и органо-известковистый сапропель. Качество сапропелевых удобрений регламентируется техническими условиями ТУ РБ 03535026.287-97 «Удобрения сапропелевые» (Извещение № 2 об изменении) (табл. 12).

Сапропель добывают гидромеханизированным, экскаваторным, ковшово-элеваторным и канатно-скреперными способами из открытых водоемов, а также из-под слоя торфа после его разработки. В первый год сапропель обезвоживается, а на второй год после промораживания сапропель сушат, измельчают и складируют в штабеля. Полученные в процессе добычи и переработки органические и органо-кремнеземистые сапропелевые удобрения должны иметь влажность не более 60 %, органо-известковистые – не более 50 %.

Таблица 12
Физические и химические показатели сапропелевых удобрений

Наименование показателя	Нормы по видам удобрений		
	органические	органо-кремнеземистые	органо-известковистые
Массовая доля частиц крупнее 10 мм, %, не более	20	20	20
Массовая доля влаги, %, не более	60	60	50
Зольность, %, не более	50	70	65
Массовая доля общего азота, % на сухой продукт, не менее	1,5	1,0	не регламентируется
Обменная кислотность, pH, не менее	5,0	5,0	не регламентируется
Массовая доля оксида кальция, %, не менее	–	–	17
Удельная активность радионуклидов (цезий 137), Бк/кг, не более	300		

Сапропелевые удобрения на основе органического или смешанного сапропеля в чистом виде рекомендуется применять при возделывании картофеля, кукурузы, корнеплодов, однолетних и многолетних трав, а также при коренном улучшении и перезалужении сенокосов и пастбищ. В среднем 1 т сапропелевых удобрений

равноцenna 0,6–0,8 т подстилочного навоза или торфоналивных компостов. Целесообразнее использовать органические, органо-кремнеземистые и органо-известковистые виды сапропелевых удобрений на почвах легкого гранулометрического состава. Дозы внесения сапропелевых удобрений определяются для каждого конкретного случая с учетом их вида и свойств, условий и технологии добычи сапропеля, характеристики почв и требований возделываемой культуры. Повышенные дозы сапропелевых удобрений в чистом виде могут применяться для рекультивации бросовых земель.

Использование высоких доз органических и органо-кремнеземистых сапропелевых удобрений под посев требовательных к реакции почвенной среды культур целесообразно совмещать с известкованием почвы.

Карбонатный (известковистый) сапропель применяется в качестве известковых удобрений для нейтрализации избыточной кислотности почвы; по эффективности карбонатный сапропель не уступает мелу и доломитовой муке.

Сапропель может применяться также для приготовления различных удобренительных смесей и компостов, мелиорантов, сапропелевых субстратов, растительных грунтов, а также в кормлении животных в качестве ингредиента комбикормов, различных белково-витаминно-минеральных добавок и премиксов.

Торф

Торф – это растительная масса, разложившаяся в разной степени в условиях избыточного увлажнения и недостатка воздуха, которая состоит из негумифицированных растительных остатков, перегноя и минеральных соединений.

Тип торфа определяется условиями его образования. По условиям образования торфяных болот добываемый торф делится на три типа: верховой, низинный переходный. Верховой торф образовался на возвышенных элементах рельефа из сфагновых мхов, пущицы, багульников и других растений, которые отличаются малой требовательностью к условиям питания и увлажнения. Низинный торф возник в пониженных участках рельефа под влиянием грунтовых вод. В его образовании участвуют гипновые мхи, травянистые растения (осоки, тростники, вейники, хвощи), древесные растения (ольха, береза, ель, сосна, ива) и другие влаголюбивые и требовательные к питательным веществам растения.

Вид торфа определяется в основном по растительным остаткам, входящим в его состав. В название вида торфа входят названия растений-торфообразователей, содержание малоразложившихся остатков которых в торфе составляет не менее 20 % от веса сухого вещества. Название преобладающего вида растения-торфообразователя ставят в конце слова, а название второстепенных – в начало. Так, если преобладающими торфообразователями являются осоки (например, на 60 %), а кроме них в торфе присутствуют также древесные остатки, но в меньшем количестве (например, 25 %), то такой торф называют древесно-осоковым.

При агрономической оценке различных типов и видов торфов большое значение имеют их ботанический состав, степень разложения, зольность, содержание питательных веществ, кислотность, влагоемкость.

По степени разложения торф делится на *слаборазложившийся* (содержит 5–25 % гумифицированных веществ), *среднеразложившийся* (25–40 % гумифицированных веществ), *сильноразложившийся* (более 40 % гумифицированных веществ). Слаборазложившийся торф целесообразно применять на подстилку, пропуская через скотный двор; средне-разложившийся – для компостиования; сильноразложившийся – для приготовления специальный питательных смесей.

Моховой торф всех типов (верховой, переходный, низинный) обладает наименьшей степенью разложения (5–25 %); травянистый торф имеет большую степень разложения (20–40 %), а древесный – максимальную (35–70 %).

По зольности торф бывает нормальнозольным (содержание золы до 12 %) и высоко-зольным (содержание золы более 12 %). В верховом торфе содержится до 5 % золы, в переходном – 5–10 %, в нормальнозольном низинном – 8–12 % и более.

Содержание питательных веществ в торфе зависит от его вида и типа. Торф содержит все необходимые для растений питательные элементы, однако большая часть из них (в первую очередь азот) становится доступной только после минерализации. Поэтому торф становится источником питания для растений лишь после биологического на него воздействия, что может быть осуществлено при компостировании его с навозом, навозной жижей и пометом.

Важными показателями при определении способов использования торфа в сельском хозяйстве являются кислотность, влагоемкость и поглотительная способность торфа. В Республике Беларусь основным способом использования торфа в сельском хозяйстве является его компостирование. В небольших количествах торф может быть использован на подстилку и изготовление специальных удобрительных смесей, а также в качестве мульчи. Непосредственное использование торфа на удобрение без предварительного компостирования не допускается.

Средний состав нормальнозольного торфа при влажности 60 % приведен в таблице 13.

Таблица 13
Средний состав нормальнозольного торфа

Тип торфа	рН	Влажность, %	Содержание, кг/т				
			органическое вещество	Нобщ.	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Низинный	4,7–5,5	60	350	10,0	1,2	0,7	15,0
Переходный	3,5–4,7	60	370	6,5	0,6	0,5	4,8
Верховой	2,8–3,5	60	385	4,0	0,4	0,3	1,2

Зеленое удобрение

Зеленое удобрение – это свежая растительная масса, запахиваемая в почву для обогащения ее органическим веществом, азотом и другими элементами питания. Часто этот прием называют сидерацией, а растения, выращиваемые на удобрение, – сидератами. Сидераты в отличие от других видов органических удобрений являются неисчерпаемым, постоянно возобновляемым источником обеспечения сельскохозяйственных земель органическим веществом, а за счет бобовых сидератов – и биологическим азотом.

На зеленое удобрение возделывают бобовые культуры (люпин однолетний и многолетний, донник белый и желтый, горох, пельюшка (кормовой горох), се-радепла, вика озимая и яровая, кормовые бобы, клевер, люцерна, лядвенец, галега восточная (козлятник) и др.); крестоцветные культуры (озимый и яровой рапс, редька масличная, горчица белая, сурепица озимая и яровая); злаковые культуры (озимая рожь, райграс однолетний); водолистниковые культуры (фаце-лия); гречишные культуры (гречиха). Широко практикуется также использование

сидератов в составе различных смесей, когда высевается не один вид сидератов, а их комбинация в самом разнообразном соотношении.

Использование того или иного вида сидерата зависит от погодно-климатических условий, количества тепла, осадков, условий местности, гранулометрического состава почвы, наличия удобрений и семян.

Различают три основные формы зеленого удобрения: полное, укосное и отавное. *Полное* – когда в почву запахивают всю зеленую массу и корни растений; *укосное* – когда зеленую массу для запашки перевозят на другой участок; *отавное* – когда запахивают отаву, стерневые остатки и корни растений. В крупнотоварном производстве агроэкономически наиболее целесообразно отавное применение зеленого удобрения; зеленая масса в этом случае используется на корм животным.

На зеленое удобрение используются также две формы сидератов – в качестве самостоятельной и промежуточной культуры. Как самостоятельная культура, сидераты занимают поле весь вегетационный период. При промежуточном использовании сидеральные культуры высеваются в промежутке между основными культурами. Промежуточные культуры в свою очередь подразделяются на следующие группы: подсевные, пожнивные, поукосные и озимые.

Подсевные сидераты высеваются ранней весной под однолетние травы, озимые и яровые зерновые (донник белый и желтый, сераделла, райграс однолетний, клевер, люцерна, лядвенец, галега восточная).

Пожнивные сидераты высеваются после уборки ранносозревающих зерновых и зернобобовых культур в срок до 15 августа. В качестве пожнивных сидеральных культур рекомендуются быстрорастущие сидераты с коротким вегетационным периодом (узколистный сидеральный люпин, вика, пельюшка и их смеси, горчица белая, редька масличная, рапс яровой, фацелия). Промедление с посевом приводит к недобору урожая зеленой массы, а при наступлении ранних заморозков растения погибают, не нарастив массу.

Поукосные сидераты (могут высеваться те же культуры, что и в пожнивных посевах) высеваются на участках после озимой ржи на зеленый корм или после первого укоса многолетних трав, после скашивания однолетних бобово-злаковых смесей на зеленую массу и других культур, убираемых на силос и сенаж.

Озимые сидеральные культуры (озимый рапс, озимая сурепица и их смеси, озимая рожь + вика мохнатая) высеваются после уборки ранних и среднеранних культур для использования в качестве зеленого удобрения весной будущего года.

Наращивание сидератами надземной растительной массы и корней в пахотном слое зависит от типа почв, их гранулометрического состава, уровня плодородия, погодно-климатических и других местных условий. Наращивание растительной массы сидератов зависит также от биологических особенностей культуры, срока посева, внесения удобрений, а также от формы использования. В связи с этим может запахиваться от 6–7 до 25–50 т/га надземной зеленой массы и от 5 до 20 т/га корней. При запашке сидерата с нормальной густотой стояния растений вся надземная и корневая масса равномерно распределяется по полю, чего очень трудно добиться при внесении других видов органических удобрений. В среднем отавная форма зеленого удобрения с учетом запашки пожнивных и корневых остатков эквивалентна 4 т/га навоза, полная форма зеленого удобрения при урожайности сидератов 150–250 ц/га – 15 т/га, 250–350 т/га – 20 т/га подстилочного навоза.

Культуры, используемые в качестве сидератов, по-разному влияют на плодородие почвы, и, прежде всего, на накопление в почве гумуса. Это зависит от того, используется ли на удобрение только надземная масса сидерата, запахивается ли она полностью на месте роста совместно с корневой системой или заделываются в почву только отавы с пожнивными и корневыми остатками. Отношение углерода к азоту в зеленой массе составляет 1:10–15, она быстро разлагается; коэффициент гумификации очень низкий. Поэтому запахивать зеленую массу рекомендуется только после ее подвязывания. Запашка надземной массы после подвязывания с корневыми остатками на месте роста или только отавы с пожнивными и корневыми остатками положительно влияет на накопление в почве гумуса. Отношение углерода к азоту увеличивается почти в два раза и в зависимости от культуры составляет 1:20–30, т. е. приближается к показателю классического органического вещества – подстилочного навоза.

Кроме прямого влияния на улучшение плодородия почвы и увеличение урожайности сельскохозяйственных культур, сидераты снижают переуплотнение почвы, улучшают ее структуру, предотвращают водную и ветровую эрозию, вымывание (миграцию) элементов питания за пределы корнеобитаемого слоя.

Солома

Дополнительным резервом органических удобрений является солома, применение которой повышает плодородие пахотных земель и поддерживает бездефицитный баланс гумуса и питательных элементов. Традиционным способом использования зерновой соломы на удобрение является получение подстилочного навоза и производство компостов, где солома служит одним из компонентов и хорошим влагопоглощающим материалом.

Эффективным способом использования соломы является ее непосредственное применение на удобрение без отчуждения из агроценоза. Для этого используют солому рапса и других крестоцветных культур (горчица, сурепица, редька масличная), солому гречихи, кукурузы, люпина, кормовых бобов, сои, которые в чистом виде практически не используются на корм и подстилку. Для удобрения рекомендуется также солома озимой и яровой пшеницы, озимого и ярового тритикале, озимой ржи, а также излишки соломы других яровых (ячмень, просо, овес) и зернобобовых (горох, вика, пельюшка) культур.

Наряду с соломой в качестве дополнительного источника органического вещества может использоваться **ботва** картофеля, сахарной свеклы и кормовых корнеплодов. Средний состав ботвы при влажности 80 % приведен в таблице 15.

Таблица 15
Средний состав ботвы сельскохозяйственных культур

Культура	Влажность, %	Содержание, кг/т					
		Органическое вещество	N _{общ.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Сахарная свекла	80	120	3,5	1,0	5,0	1,0	1,0
Кормовая свекла	80	120	4,0	1,0	6,0	2,0	1,0
Картофель	80	120	2,0	0,5	4,0	1,5	1,0

После уборки товарной части урожая ботва подвяливается, равномерно распределяется по полю и заделывается в почву.

Общее количество ботвы определяется по валовому сбору товарной продукции, умноженному на соответствующий коэффициент. По результатам обобщения полевых опытов и анализа производственных результатов приняты следующие коэффициенты пересчета корне- и клубнеплодов в ботву: сахарная свекла – 0,5; картофель – 0,2; кормовые корнеплоды – 0,25.

Методика расчета потребности в органических удобрениях для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в пахотных почвах

При сложившейся структуре посевных площадей в общем объеме поступающего в почву органического вещества доля растительных остатков составляет в среднем по республике 55 %, доля органических удобрений – 45 %.

Максимальные объемы применения органических удобрений в Республике Беларусь были достигнуты в 1986–1990 гг., когда в среднем на 1 га пашни вносились 14,4 т. С 1991 по 2006 гг. наблюдалось сокращение объемов внесения органических удобрений, так в среднем за 2001–2006 гг. внесено 6,3 т навоза на 1 га. Начиная с 2007 г., наметилась тенденция увеличения доз внесения органических удобрений. В 2016–2019 гг. объемы их применения составили 47,8 млн т в год, или 9,6 т/га (табл. 16).

Таблица 16

**Динамика применения органических удобрений на пахотных землях
в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь**

Годы	Внесено млн т в год	Внесено т/га в год	Доля торфа в органических удобрениях, %
1981–1985	75,2	13,3	47
1986–1990	81,4	14,4	37
1991–1995	61,1	11,6	5
1996–2000	40,7	8,1	3
2001–2005	28,7	6,3	2
2006–2010	36,8	8,0	1
2011–2015	48,6	10,2	<1
2016–2020	48,4	9,8	<1

При недостаточных объемах навоза для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель возрастает роль структуры посевных площадей. По количеству органического вещества, поступающего в почву в виде послеуборочных растительных остатков, сельскохозяйственные культуры делятся на три группы:

- многолетние злаковые и бобово-злаковые травы;
- однолетние культуры сплошного сева: зерновые, зернобобовые, рапс, гречиха, лен;
- однолетние пропашные культуры: картофель, свекла, кукуруза, овощи.

Пропашные культуры характеризуются, с одной стороны, высоким выносом элементов питания с урожаем, с другой стороны, оставляют в почве небольшое

количество пожнивно-корневых остатков. Культуры сплошного сева по количеству оставляемых растительных остатков занимают промежуточное положение между многолетними травами и пропашными культурами. Многолетние травы, оставляя в почве наибольшее количество растительных остатков, обогащают почву органическим веществом. Особенно высокий положительный эффект характерен для бобовых трав благодаря их способности фиксировать атмосферный азот и вовлекать его в биологический круговорот.

За период с 1995 по 2012 гг. доля многолетних трав в структуре посевных площадей уменьшилась с 24,2 % до 12,7 %, в то время как доля пропашных культур увеличилась с 8,5 % до 23,8 % за счет расширения площадей под кукурузой и сахарной свеклой. Так, если в 1996 г. на 1 га пропашных культур приходилось 2,8 га многолетних трав, то к 2012 г. это соотношение в среднем по республике снизилось до 0,5 га. С 2013 г. наметилась обратная тенденция – площади под пропашными культурами начали несколько снижаться, а под многолетними травами – увеличиваться. В 2019 г. на 1 га пропашных культур приходилось 0,7 га трав (табл. 17).

Таблица 17

**Удельный вес многолетних трав и пропашных культур
в структуре посевных площадей по областям**

Год	1995			2004			2012			2019		
	Показатели	Пропашные, %	Мн. травы, %	Мн. травы/ пропашные	Пропашные, %	Мн. травы, %	Мн. травы/ пропашные	Пропашные, %	Мн. травы, %	Мн. травы/ пропашные	Пропашные, %	Мн. травы, %
Брестская	13,0	17,6	1,4	20,7	15,4	0,7	28,0	11,5	0,4	26,6	14,0	0,5
Витебская	2,7	32,7	12,1	7,8	26,5	3,4	12,3	13,8	1,1	10,5	21,2	2,0
Гомельская	11,9	19,2	1,6	16,2	19,3	1,2	34,4	8,5	0,3	36,5	11,7	0,3
Гродненская	10,3	19,6	1,9	17,7	20,3	1,1	23,5	15,0	0,6	22,4	18,4	0,8
Минская	9,9	23,6	2,4	14,1	18,7	1,3	23,2	13,4	0,6	22,8	19,5	0,9
Могилевская	5,1	29,1	5,7	14,5	26,5	1,8	19,9	14,9	0,8	19,1	19,9	1,0
Беларусь	8,5	24,2	2,8	15,1	20,9	1,4	23,8	12,7	0,5	23,4	17,4	0,7

Потребность в органических удобрениях для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель определяется на основании соотношения между пропашными культурами и многолетними травами: чем меньше многолетних трав приходится на 1 га пропашных культур, тем выше должны быть дозы применения органических удобрений.

Дозы органических удобрений, необходимые для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почвах рассчитываются по формуле:

$$Doy = \frac{(S_1 \times 420 + S_2 \times 1200 - S_3 \times 200) : K}{S_{\text{минпашни}}},$$

ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

где D_{ou} – доза органических удобрений, необходимая для поддержания бездефицитного баланса гумуса, т/га;

S_1 – площадь культур сплошного сева на минеральных почвах (зерновые, зернобобовые, лен, рапс, гречиха, однолетние смеси);

S_2 – площадь пропашных культур на минеральных почвах;

S_3 – площадь многолетних трав на минеральных почвах;

$S_{мин.пашни}$ – посевная площадь (на минеральных почвах);

420 – кг/га гумуса необходимо восполнить за счет внесения органических удобрений для поддержания его бездефицитного баланса под культурами сплошного сева;

1200 – кг/га гумуса необходимо восполнить за счет внесения органических удобрений для поддержания его бездефицитного баланса под пропашными культурами;

200 – кг/га гумуса накапливается под многолетними травами;

K – кг гумуса образуется из 1 т органических удобрений.

Для каждого конкретного хозяйства, района или области данный коэффициент рассчитывается следующим образом:

$$K = (S_{сугл.} \cdot 50 + S_{супесч.} \cdot 40 + S_{песч.} \cdot 30) : (S_{сугл.} + S_{супесч.} + S_{песч.}),$$

где $S_{сугл.}$, $S_{супесч.}$, $S_{песч.}$ – площади суглинистых супесчаных и песчаных почв, занятых под сельскохозяйственными культурами;

50 – кг гумуса образуется из 1 т условного навоза на суглинистых почвах;

40 кг – на супесчаных и 30 кг – на песчаных почвах.

Для Брестской области $K = 35$ кг, Витебской – 44, Гомельской 34, Гродненской – 39, Минской – 41, Могилевской области – 43 кг, в среднем по республике $K = 40$ кг.

С учетом сложившейся структуры посевых площадей для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель потребность в органических удобрениях составляет 62,0 млн т в год. На 1 га пашни необходимо применять ежегодно в среднем 12,5 т/га (табл. 18).

Таблица 18

Потребность в органических удобрениях для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель по областям Республики Беларусь

Область	Требуется в год	
	тыс. т	т/га
Брестская	10670,5	15,5
Витебская	6497,5	8,3
Гомельская	14728,4	18,3
Гродненская	8913,1	12,4
Минская	13548,3	11,7
Могилевская	7616,2	10,4
Беларусь	61973,9	12,5

Среднегодовые дозы органических удобрений в севооборотах для достижения положительного баланса гумуса зависят от типа и гранулометрического состава почвы, содержания гумуса (табл. 19).

Таблица 19

**Нормативы дополнительной потребности в органических удобрениях
для достижения положительного баланса гумуса, т/га**

Содержание гумуса, %	Гранулометрический состав почвы			
	суглинистые	супесчаные, подстилаемые мореной	супесчаные, подстилаемые песком	песчаные
до 1,50	3,0	3,4	3,8	4,3
1,51–2,00	2,0	2,3	2,6	3,0
2,01–2,50	1,0	1,2	1,4	1,7
более 2,50	0,5	0,6	–	–

TYPES OF ORGANIC FERTILIZERS AND METHODS OF CALCULATING THEIR NEEDS TO ENSURE A DEFICIENCY-FREE BALANCE OF HUMUS IN ARABLE SOILS

T. M. Seraya, E. N. Bogatyreva, T. M. Kirdun, N. Yu. Zhabrovskaya

Summary

Long-term comprehensive studies conducted by the staff of the Institute of Soil Science and Agrochemistry together with scientists from specialized organizations of the republic allowed to establish a high positive effect of organic fertilizers and the need for their use in scientifically based fertilizer systems. The authors of the article systematized the results on the chemical composition of various types of organic fertilizers obtained and used in agricultural production of the republic. This information is necessary for making effective management decisions on the selection and use of various types of organic fertilizers, modeling and forecasting crop yields in the conditions of the Republic of Belarus.

Поступила 12.12.22

УДК 631.8:633.1:631.445

doi 10.47612/0130-8475-2022-2(69)-57-70

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙСУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

Т. М. Серая, С. А. Касьянчик, Е. Н. Богатырева, Т. М. Кирдун, Т. В. Мачок,
Ю. А. Симанкова, М. М. Торчило

Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Зерновые колосовые культуры занимают в Республике Беларусь около 36 % посевных площадей, более половины которых – озимые зерновые [1]. Одним из путей получения стабильно высоких урожаев зерновых культур является дальнейшее совершенствование технологии возделывания, которая должна быть направлена как на формирование высокопродуктивных посевов, устойчивых к стрессовым погодным явлениям, так и на обеспечение экологической безопасности окружающей среды [2–5]. Урожайность, как основной результирующий показатель, характеризует эффективность агроприемов возделывания сельскохозяйственных культур. В интенсивных системах земледелия актуальным остается и создание условий для расширенного воспроизводства плодородия почв.

Важно не только стремиться к повышению урожайности сельскохозяйственных культур, но и к снижению себестоимости, т. е. по возможности наращивать производство конкурентоспособной продукции. Для этого необходимо максимально воздействовать малозатратные приемы в технологиях возделывания культур [6]. Снижения себестоимости продукции можно добиться используя излишки соломы на удобрение, при этом при планировании доз удобрений учитывать содержание органического вещества и элементов питания, поступающих с соломой [7]; усовершенствованием системы удобрения с учетом последних агрохимических исследований; снижением затрат на обработку почвы [8].

Успешное внедрение приемов минимизации основной обработки почвы возможно на почвах, устойчивых к уплотнению, при подборе сельскохозяйственных культур, обеспечивающих урожайность при поверхностных обработках не ниже, чем при традиционных приемах, – это, прежде всего, озимые и яровые зерновые культуры [9]. Так же вызывает интерес эффективность применения различных систем удобрения на фоне разных способов обработки почвы.

Цель исследований заключается в изучении эффективности разных систем удобрения озимой пшеницы на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в полевом опыте, заложенном на опытном поле Института почвоведения и агрохимии, расположенным в ПРУП «Э/б им. Котовского» Узденского района Минской области на дерново-подзолистой супесчаной, разви-

вающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 80 см моренным суглинком, почве [10]. Объектом исследования была озимая пшеница сорт Августина, возделываемая в звене севооборота: озимая пшеница – горох посевной – озимая рожь.

Исследования проведены в трех последовательно открывающихся полях, на каждом поле – в двух блоках: в 1-м блоке в качестве основной обработки почвы применяли вспашку на глубину 20 см, во 2-м блоке – дискование в один след на глубину 10–12 см. Первое поле открыто в 2019 г., второе – в 2020 г., третье – в 2021 г. Повторность вариантов – четырехкратная, общий размер делянки – 31,2 м², учетная площадь – 24,0 м².

Предшественник озимой пшеницы – горохо-овсяная смесь на зерно. Урожайность соломы в среднем за 3 года составила 3,0 т/га с содержанием (на сухое вещество) N – 0,52 %, P₂O₅ – 0,25 %, K₂O – 1,50 %. После уборки предшественника измельченную солому равномерно распределяли по делянкам, затем, согласно схеме опыта, вносили компенсирующую дозу азота в виде КАС или целлюлозо-разлагающее микробиологическое удобрение Жыцень и задисковывали. Через две недели в 1-м блоке проводили вспашку, во 2-м – дискование в один след.

Применяемый в опыте подстилочный навоз (соломистый) имел следующие показатели (в расчете на естественную влажность): 1-е поле – N – 0,72 %, P₂O₅ – 0,30 %, K₂O – 0,56 %, влажность – 74 %; 2-е поле – N – 0,60 %, P₂O₅ – 0,34 %, K₂O – 0,75 %, влажность – 73 %; 3-е поле – N – 0,61 %, P₂O₅ – 0,32 %, K₂O – 0,60 %, влажность – 73 %;

Агрохимическая характеристика пахотного слоя 1-го поля: pH_{KCl} 5,59, гумус – 2,18 %, содержание подвижных форм фосфора (P₂O₅) – 157 мг/кг, калия (K₂O) – 185 мг/кг, обменных форм кальция (CaO) – 1046 мг/кг, магния (MgO) – 151 мг/кг; 2-го поля: pH_{KCl} 5,58, гумус – 1,98 %, содержание подвижных форм фосфора (P₂O₅) – 161 мг/кг, калия (K₂O) – 179 мг/кг, обменных форм кальция (CaO) – 1002 мг/кг, магния (MgO) – 164 мг/кг; 3-го поля: pH_{KCl} 6,07, гумус – 1,98 %, содержание подвижных форм фосфора (P₂O₅) – 204 мг/кг, калия (K₂O) – 141 мг/кг, обменных форм кальция (CaO) – 1002 мг/кг, магния (MgO) – 164 мг/кг.

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

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

Фосфорные и калийные удобрения внесены под основную обработку почвы, азотные – в три подкормки: 70 кг/га – в начале ранневесенней вегетации, 40 кг/га – в фазу первый узел и 40 кг/га – в фазу флаг лист; в варианте с внесением 40 т/га подстилочного навоза КРС (ПН КРС) дозы внесения в первые две подкормки были на 10 кг/га ниже; при внесении 30 т/га ПН КРС – дозу первой подкормки снижали на 10 кг/га.

Расчет экономической эффективности применения удобрений проведен по методике [11]. Для определения прибыли рассчитывали стоимость урожая с учетом повышения качества зерна, полученного за счет внесения удобрений, и затраты на получение прибавки урожая от удобрений. Использованы нормативы затрат на

удобрения и их внесение, доработку прибавки урожая, цены на сельскохозяйственную продукцию в Республике Беларусь на 2022 г. в долларовом эквиваленте (долл. США).

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

В период вегетации озимой пшеницы в 2019–2020 гг. температуры воздуха в осенне-зимний период были значительно выше среднемноголетних данных, в то время как среднесуточная температура в апреле была на 1,7 °C ниже среднемноголетней (рис. 1). С сентября 2019 г. по апрель 2020 г. выпало 269 мм осадков при среднемноголетнем количестве за этот период – 326 мм, особенно засушливыми были март и апрель: при среднемноголетнем количестве осадков 72 мм в период вегетации озимой пшеницы выпало всего 29 мм. Май был холоднее и суше (ГТК 1,18) по сравнению со среднемноголетними показателями (ГТК 1,39). Июнь (ГТК 1,45) и июль (ГТК 1,59), основной период формирования и налива зерна был в целом благоприятным для озимой пшеницы, что обеспечило высокую урожайность зерна в опытах.

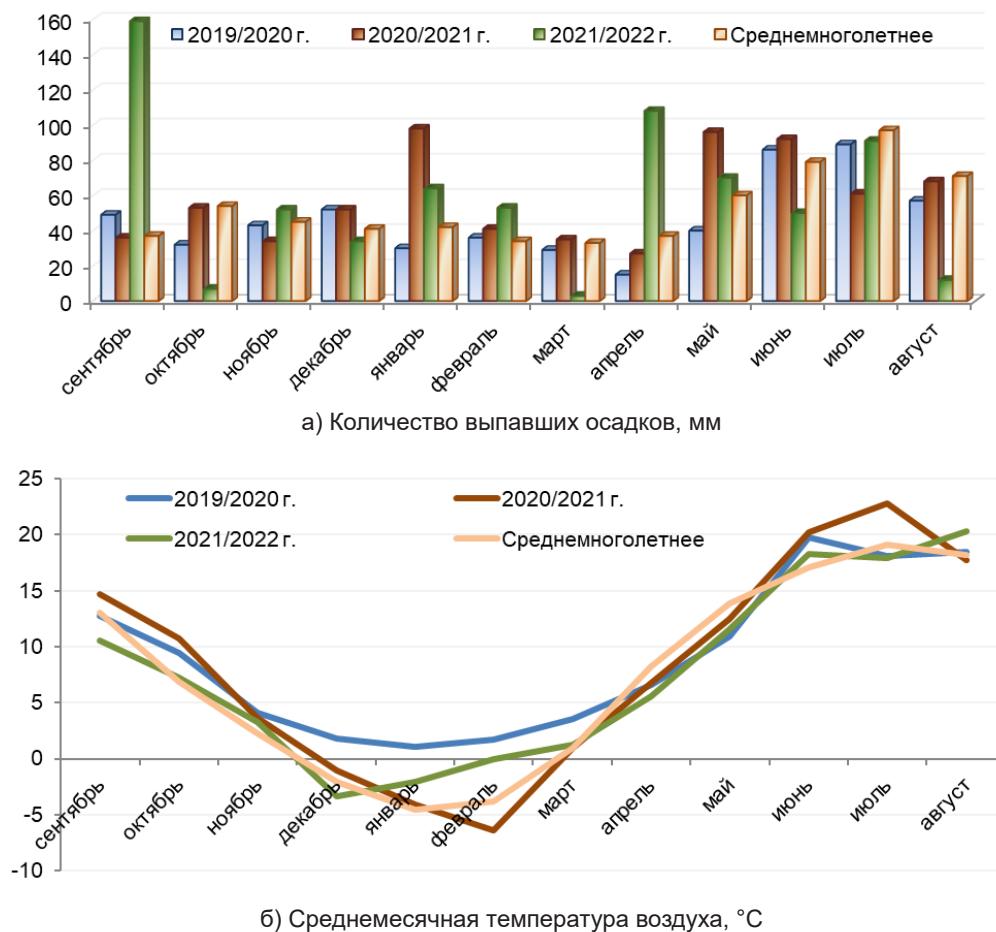


Рис. 1. Погодные условия в период вегетации озимой пшеницы

В период вегетации озимой пшеницы в 2020–2021 гг. температуры воздуха в осенний период были выше среднемноголетних данных, в то время как среднесуточная температура в феврале была на 3,2 °С ниже среднемноголетней. В осенний период (сентябрь–ноябрь) 2020 г. выпало 124 мм осадков при среднемноголетнем количестве за этот период – 160 мм. Особенно сухим (ГТК 0,7) выдался сентябрь 2020 г., что отрицательно сказалось на всходах озимой пшеницы на дерново-подзолистой супесчаной почве.

Погодные условия в осенний период вегетации озимых зерновых культур в 2021 г. были достаточно неблагоприятными для их роста и развития. Сроки сева были затянуты в связи с тем, что до 16 сентября почва была очень сухой, а с 17 сентября ежедневные дожди и ливни не давали возможность сеять. Октябрь был сухим: при норме осадков 54 мм выпало всего 7 мм. Озимая пшеница ушла в зиму в фазе 2–3 листа. В ноябре и декабре погодные условия были близки к среднемноголетним значениям, январь и февраль – теплее обычного с большим количеством осадков. Март был холодным и сухим: при среднемесячной температуре 1,3 °С выпало всего 3 мл осадков. Холоднее обычного и дождливыми были апрель и май: при среднесуточной температуре в апреле 5,6 °С выпало 108 мл осадков; в мае выпало 70 мл осадков при температуре 11 °С. В результате озимая пшеница и рожь хорошо раскустились. Июнь был суще и теплее обычного, в результате ГТК составил 0,9 при среднемноголетнем 1,5. Погода в июле была близка к норме. В целом погодные условия были достаточно благоприятными для получения высокого урожая озимых зерновых культур.

В результате в первом поле озимая пшеница посажена 16 сентября 2019 г. с нормой высева 248 кг/га (5,3 млн семян). Полевая всхожесть составила 87%. Теплая бесснежная зима способствовала 98 % перезимовке растений. При этом основной период формирования и налива зерна был в целом благоприятным для озимой пшеницы, что обеспечило высокую урожайность зерна в 2020 г.

Во втором поле озимая пшеница посажена 14 сентября 2020 г. с нормой высева 250 кг/га (5,4 млн семян). В период осенней вегетации особенно сухим (ГТК 0,7) выдался сентябрь, что отрицательно сказалось на всходах озимой пшеницы. Полевая всхожесть составила 78%. Выпадение снега на слабозамерзшую почву (среднесуточная температура в декабре –1,2 °С, обильные осадки в виде снега в январе 109 мм (в 2,3 раза выше нормы) и длительное сохранение снежного покрова (до середины марта) способствовали сильному развитию снежной плесени на озимой пшенице. В результате перезимовка растений составила 66 %.

В третьем поле озимая пшеница посажена 27 сентября 2021 г. с нормой высева 181 кг/га (4,5 млн семян). Полевая всхожесть составила 85 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За счет эффективного плодородия среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы урожайность зерна озимой пшеницы в среднем за 3 года на фоне вспашки составила 40,9 ц/га, изменяясь по годам исследования от 33,2 ц/га в 2021 г., когда растения пострадали от снежной плесени, до 45,6 ц/га в 2022 г. (табл. 1). Содержание белка в зерне в неудобренном варианте в среднем за 3 года составило 8,77 % (табл. 2), клейковины – 17,43 % (табл. 3). Внесение N₇₀₊₄₀₊₄₀P₆₅K₁₁₅ обеспечило рост урожайности зерна на 25,9 ц/га, или 68 %. Кроме

ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

роста урожайности внесение удобрений способствовало увеличению содержания в зерне сырого белка с 8,77 % до 13,23 % и клейковины – с 17,43 до 26,21 %. В результате зерно по содержанию клейковины соответствовало требованиям, предъявляемым к продовольственному зерну 3 класса качества, в то время как зерно пшеницы, выращенной без удобрений, пригодно только на фураж. Наиболее благоприятными для накопления белка и клейковины были погодные условия в 2021 г., наименее благоприятными – в 2022 г.

Таблица 1

Влияние удобрений и способа обработки почвы на урожайность озимой пшеницы на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве, 2020–2022 г.

Вариант	Урожайность зерна, ц/га				Прибавка, ц/га
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее	
Вспашка					
Без удобрений (контроль)	43,9	33,2	45,6	40,9	–
$P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	64,5	56,5	79,5	66,8	25,9
Адобр Профит 4-12-38, 4 кг/га + $N_{70+40+40}$	64,4	60,4	80,8	68,5	27,6
ПН КРС, 40 т/га + $P_{40}K_{35} + N_{60+30+40}$	68,3	58,9	82,0	69,7	28,8
Солома+ПН КРС, 30 т/га+ $P_{50}K_{50} + N_{60+40+40}$	70,9	58,3	82,9	70,7	29,8
Солома + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	65,1	54,4	79,7	66,4	25,5
Солома + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40+10}$	68,2	53,7	78,6	66,8	25,9
Солома + Жыцень, 3 л/га + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	69,9	54,4	83,0	69,1	28,2
Солома + $N_{20(KAC)} + P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	74,9	53,3	79,5	69,2	28,3
Солома + $N_{20(KAC)} + P_{65}K_{115} + N_{70\text{до опт}} + 40+40$	69,8	52,0	81,5	67,8	26,9
Солома + $N_{20(KAC)} + P_{65}K_{115}$ (по вспашке) + $N_{70+40+40}$	66,5	54,0	82,4	67,6	26,7
Солома + $N_{20(KAC)} + P_{55}^*K_{45}^* + N_{70+40+40}$	72,2	52,9	80,6	68,6	27,7
Дискование					
Без удобрений	46,3	37,4	31,2	38,3	–
$P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	72,7	56,6	73,9	67,7	29,4
ПН КРС, 40 т/га + $P_{40}K_{35} + N_{60+30+40}$	68,7	59,3	82,1	70,0	31,7
Солома + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	72,1	56,0	76,0	68,0	29,7
Солома+ПН КРС, 30 т/га+ $P_{50}K_{50} + N_{60+40+40}$	71,7	57,8	77,3	68,9	30,6
Солома + Жыцень, 3 л/га+ $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	77,7	65,4	76,9	73,3	35,0
Солома + $N_{20(KAC)} + P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	75,7	60,8	74,1	70,2	31,9
HCP_{05} (удобрения)	5,3	4,3	5,2	4,9	
HCP_{05} (обработка почвы)	2,3	2,3	3,1	2,6	

Таблица 2

**Влияние систем удобрения на содержание сырого белка
в зерне озимой пшеницы**

Вариант	Содержание сырого белка, %				Прибавка, %
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее	
Вспашка					
Без удобрений (контроль)	8,54	9,54	8,22	8,77	–
$P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	13,56	14,49	11,62	13,22	4,45
Адобр Профит 4-12-38, 4 кг/га + $N_{70+40+40}$	12,90	14,02	11,77	12,90	4,13
ПН КРС, 40 т/га + $P_{40}K_{35} + N_{60+30+40}$	13,05	14,67	11,83	13,18	4,41
Солома+ПН КРС, 30 т/га+ $P_{50}K_{50} + N_{60+40+40}$	13,02	14,96	11,35	13,11	4,34
Солома + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	13,48	14,98	10,08	12,85	4,08
Солома + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40+10}$	13,61	14,79	11,39	13,26	4,49
Солома + Жыцень, 3 л/га + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	13,34	15,45	10,92	13,24	4,47
Солома + $N_{20(KAC)} + P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	13,34	15,13	11,18	13,22	4,45
Солома + $N_{20(KAC)} + P_{65}K_{115} + N_{70\text{до opt}+40+40}$	13,55	15,21	11,30	13,35	4,58
Солома + $N_{20(KAC)} + P_{65}K_{115}$ (по вспашке) + $N_{70+40+40}$	13,37	14,58	11,21	13,05	4,28
Солома + $N_{20(KAC)} + P_{55}^{*}K_{45}^{*} + N_{70+40+40}$	13,34	14,89	10,71	12,98	4,21
Дискование					
Без удобрений	8,23	9,93	8,57	8,91	–
$P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	12,39	15,67	10,25	12,77	3,86
ПН КРС, 40 т/га + $P_{40}K_{35} + N_{60+30+40}$	12,30	15,39	10,86	12,85	3,94
Солома + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	13,12	15,78	9,80	12,90	3,99
Солома + ПН КРС, 30 т/га+ $P_{50}K_{50} + N_{60+40+40}$	13,17	15,72	10,25	13,05	4,14
Солома + Жыцень, 3 л/га+ $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	12,79	14,92	10,07	12,59	3,68
Солома + $N_{20(KAC)} + P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	13,11	15,32	9,92	12,78	3,87
HCP_{05} (удобрения)	0,72	0,49	0,62	0,61	
HCP_{05} (обработка почвы)	0,38	0,26	0,56	0,40	

ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Таблица 3

Влияние систем удобрения на содержание клейковины в зерне озимой пшеницы

Вариант	Содержание клейковины, %				При- бавка, %
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее	
Вспашка					
Без удобрений (контроль)	17,68	17,60	17,01	17,43	–
$P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	25,92	29,26	23,45	26,21	8,78
Адобр Профит 4-12-38, 4 кг/га + $N_{70+40+40}$	25,63	28,04	23,85	25,84	8,41
ПН КРС, 40 т/га + $P_{40}K_{35} + N_{60+30+40}$	25,27	30,16	24,29	26,57	9,14
Солома+ПН КРС, 30 т/га+ $P_{50}K_{50} + N_{60+40+40}$	25,18	31,39	22,55	26,37	8,94
Солома + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	26,61	31,76	20,23	26,20	8,77
Солома + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40+10}$	26,64	30,93	22,31	26,63	9,20
Солома + Жыцень, 3 л/га + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	26,28	32,99	20,65	26,64	9,21
Солома + $N_{20(KAC)} + P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	25,73	32,14	22,01	26,63	9,20
Солома + $N_{20(KAC)} + P_{65}K_{115} + N_{70\text{до опт}+40+40}$	27,11	32,21	22,42	27,25	9,82
Солома + $N_{20(KAC)} + P_{65}K_{115}$ (по вспашке) + $N_{70+40+40}$	26,94	29,58	22,19	26,24	8,81
Солома + $N_{20(KAC)} + P_{55}^*K_{45}^* + N_{70+40+40}$	25,51	30,72	20,97	25,73	8,30
Дискование					
Без удобрений	17,82	17,89	17,00	17,57	
$P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	23,53	33,17	19,18	25,29	7,72
ПН КРС, 40 т/га + $P_{40}K_{35} + N_{60+30+40}$	24,26	32,42	21,30	25,99	8,42
Солома + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	25,74	34,10	18,10	25,98	8,41
Солома +ПН КРС, 30 т/га+ $P_{50}K_{50} + N_{60+40+40}$	26,70	33,55	19,49	26,58	9,01
Солома + Жыцень, 3 л/га+ $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	25,29	31,15	18,90	25,11	7,54
Солома + $N_{20(KAC)} + P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	26,18	31,96	19,36	25,83	8,26
HCP_{05} (удобрения)	1,37	1,47	1,75	1,53	
HCP_{05} (обработка почвы)	0,68	0,78	1,54	1,00	

В варианте, где озимая пшеница посажена без фосфорных и калийных удобрений, двукратная некорневая обработка комплексным удобрением Адоб Профит 4-12-38 в дозе по 2 кг/га: 1-я в фазу кущения осенью, 2-я – в период начала активной вегетации весной, по действию на урожайность (68,5 ц/га) была аналогичной внесению $P_{65}K_{115}$. Снижение доз фосфорных и калийных удобрений на 25 и 80 кг д. в. соответственно и азотных удобрений на 20 кг/га на фоне внесения 40 т/га подстилочного навоза КРС не оказalo существенного влияния на урожайность зерна по сравнению с минеральной системой удобрения, отмечена только тенденция к увеличению (+2,9 ц/га).

Запашка 3 т/га соломы, что в переводе в условный навоз составило 10,5 т/га, снижение дозы подстилочного навоза КРС с 40 до 30 т/га и внесение на этом фоне $N_{60+40+40}P_{50}K_{50}$ не повлияло существенно на урожайность зерна по сравнению с внесением ПН КРС, 40 т/га + $N_{60+30+40}P_{40}K_{35}$.

Запашка соломы без компенсирующей дозы азота в варианте Солома + $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$ в среднем за 3 года не оказала существенного влияния на урожайность зерна по сравнению с аналогичным вариантом без соломы. Дополнительная некорневая подкормка N_{10} в период колошения – налив зерна из трех лет была эффективной только в погодных условиях 2022 г. и способствовала увеличению содержания белка на 1,31 %, клейковины – на 2,08 %.

Обработка соломы микробным удобрением Жыцень в дозе 3 л/га обеспечила выраженную тенденцию роста урожайности зерна в 2020 г. (+4,8 ц/га) и 2022 г. (+3,1 ц/га) и не оказала влияния в 2021 г. Внесение компенсирующей дозы азота по соломе (N_{20}) в виде КАС увеличило урожайность зерна на 9,8 ц/га в 2020 г. и не оказалось существенного влияния в погодных условиях вегетации озимой пшеницы в 2021 и 2022 гг.

В опыте ранневесеннюю подкормку озимой пшеницы проводили в два срока: в одном из вариантов, как только можно было выйти в поле, в остальных – при установлении среднесуточных температур выше 5 °C. Погодные условия в марте–апреле 2020–2022 гг. были схожими: кратковременное потепление в марте сменялось продолжительным периодом (2–3 недели) со среднесуточными температурами ниже 5 °C. Существенной разницы в урожайности и показателях качества зерна между подкормками до оптимальных сроков и в оптимальные сроки не установлено. На основании полученных экспериментальных данных целесообразно начинать ранневесеннюю подкормку озимой пшеницы сразу же, как только можно выйти в поле, начиная с более слабых посевов.

Внесение фосфорных и калийных удобрений по вспашке не оказалось существенного влияния на урожайность и качество зерна пшеницы по сравнению с внесением их под вспашку.

Снижение доз фосфорных и калийных удобрений с учетом поступления данных элементов питания с соломой предшественника обеспечило получение урожайности зерна озимой пшеницы на уровне внесения полных доз этих удобрений с близким содержанием белка и клейковины.

Урожайность озимой пшеницы в блоке с поверхностной обработкой в качестве основной обработки почвы в среднем за 3 года была на 0,5 ц/га выше по сравнению с аналогичными вариантами в блоке с традиционной обработкой почвы при достоверной разнице в урожае в варианте, где солому обрабатали микробным препаратом Жыцень в дозе 3 л/га и составила 4,2 ц/га (табл. 1, рис. 2).

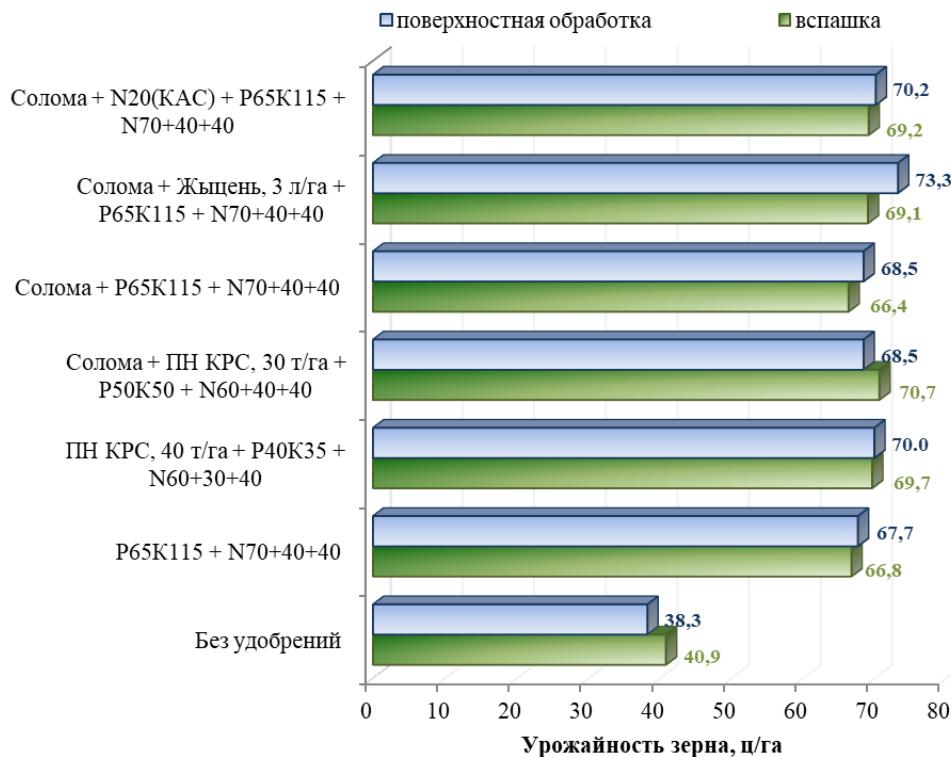


Рис. 2. Влияние удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от способа основной обработки среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы, среднее за 3 года

Таким образом, заделка соломы без компенсирующей дозы азота не оказала негативного влияния на растения озимой пшеницы. Следует отметить, что заделка соломы, обработанной микробным удобрением Жыцень, дисками гораздо эффективнее по влиянию на урожайность, чем ее запашка, т. к. микробное целлюлозоразлагающее удобрение Жыцень гораздо эффективнее работает в аэробных условиях.

В интенсивном земледелии наряду с получением высоких урожаев с хорошими показателями качества важно создавать условия для расширенного воспроизведения плодородия почвы. Для оценки более эффективных систем применения удобрений выполнен химический анализ образцов зерна и соломы озимой пшеницы, рассчитаны хозяйственный и удельный вынос элементов питания с урожаем и коэффициенты их возмещения по вариантам опыта (табл. 4).

На среднеокультуренной супесчаной почве хозяйственный вынос минимальным был в неудобренных вариантах: азота – 57 кг/га в блоке вспашки и 60 кг/га в блоке дискования, фосфора – 38 и 36 кг/га, калия – 37 и 34 кг/га; в удобренных вариантах изменялся в пределах: азота – 131–152 кг/га, фосфора – 57–69 кг/га, калия – 64–82 кг/га в блоке вспашки и в блоке дискования: азота – 140–150 кг/га, фосфора – 62–69 кг/га, калия – 77–85 кг/га.

Таблица 4
Влияние удобрений на хозяйственный и нормативный вынос элементов питания с урожаем озимой пшеницы на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве, среднее за 2020-2022 гг.

Вариант	Хозяйственный вынос, кг/га				Удельный вынос, кг/т	K_2O	N	P_2O_5	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	Коэффициент возмещения
	N	P_2O_5	K_2O	N											
Вспашка															
Без удобрений (контроль 1)	57	38	37	13,9	9,2	8,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$P_{66}K_{115} + N_{70+40+40}$	140	64	70	20,9	9,5	10,5	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,6
$P_{66}K_{115} + N_{70+60+20}$	131	59	64	19,1	8,6	9,4	1,1	—	—	—	—	—	—	—	—
ПН КРС, 40 т/га + $P_{40}K_{35} + N_{60+30+40}$	152	69	82	21,7	9,9	11,7	2,6	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	3,6
Солома + ПН КРС, 30 т/га + $P_{50}K_{50} + N_{60+40+40}$	151	69	81	21,3	9,8	11,5	2,4	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	3,6
Солома + $P_{66}K_{115} + N_{70+40+40+40}$	141	64	75	21,3	9,6	11,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	2,1
Солома + $P_{66}K_{115} + N_{70+40+40+10}$	146	62	76	21,8	9,3	11,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2,1
Солома + Жыцень, 3 т/га + $P_{66}K_{115} + N_{70+40+40}$	148	66	75	21,4	9,5	10,9	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	2,1
Солома + $N_{20}(КАС) + P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	141	63	72	20,4	9,1	10,4	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2,2
Солома + $N_{20}(КАС) + P_{65}K_{115} + N_{70+40+40+40}$	143	61	72	21,0	9,1	10,6	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2,2
Солома + $N_{20}(КАС) + P_{65}K_{115} + N_{70+40+40+40}$	138	57	72	20,4	8,4	10,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	2,2
Солома + $N_{20}(КАС) + P_{55}K_{45} + N_{70+40+40}$	146	59	72	21,3	8,6	10,5	1,3	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,6
Дискование															
Без удобрений (контроль 2)	60	36	34	15,6	9,4	8,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$P_{66}K_{115} + N_{70+40+40}$	140	62	77	20,6	9,2	11,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5
ПН КРС, 40 т/га + $P_{40}K_{35} + N_{60+30+40}$	145	67	82	20,7	9,6	11,7	2,7	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,6
Солома + ПН КРС, 30 т/га + $P_{50}K_{50} + N_{60+40+40}$	144	63	80	21,1	9,2	11,6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2,0
Солома + $P_{66}K_{115} + N_{70+40+40+40}$	147	66	83	21,5	9,6	12,1	2,5	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	3,5
Солома + Жыцень, 3 т/га + $P_{66}K_{115} + N_{70+40+40}$	150	69	85	20,5	9,4	11,6	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,9
Солома + $N_{20}(КАС) + P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	149	66	80	21,2	9,5	11,5	1,3	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	2,0
В среднем по удобренным вариантам	132	58	68	20,7	9,3	10,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—

В настоящее время для расчета доз удобрений производству рекомендуются следующие усредненные нормативы удельного выноса элементов питания: азота – 28,2 кг/т, фосфора – 10,8 кг/т, калия – 19,2 кг/т. В опыте в среднем за 3 года в зависимости от системы удобрения удельный вынос азота изменялся от 19,1 до 21,8 кг/т, фосфора – от 8,6 до 9,9 кг/т, калия – от 9,4 до 12,1 кг/т.

Для расчета оптимальных доз внесения удобрений под планируемую урожайность используется метод коэффициентов возмещения выноса, т.е. компенсация выноса за счет удобрения с корректировкой на уровень содержания соответствующих элементов питания в почве. Установлено, что при возделывании озимой пшеницы на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве при урожайности зерна 66,4–73,3 ц/га в зависимости от системы применения удобрений коэффициенты возмещения удобрениями выноса азота составили 1,1–2,7, фосфора – 1,0–2,5, калия – 1,5–3,6 (табл. 4). Это значит, что применяемые системы удобрения наряду с повышением урожайности и качества зерна озимой пшеницы способствуют поддержанию и повышению почвенного плодородия. Максимальные коэффициенты возврата получены при органоминеральной системе удобрения с применением подстилочного навоза КРС.

Рациональность применения различных видов и доз удобрений в сельскохозяйственном производстве должна быть подтверждена не только агрономической, но и экономической эффективностью. Ее главным критерием в растениеводстве является получение максимальной урожайности при минимальных затратах. Расчет экономической эффективности позволяет установить научно обоснованные дозы удобрений для получения стабильных урожаев с высоким качеством продукции. Экономическую эффективность применения удобрений оценивали такими показателями как условный чистый доход и рентабельность. Условный чистый доход на 1 гектар посевов рассчитывали как разность между стоимостью урожая, полученного за счет удобрений, стоимостью затрат на удобрения и доработку урожая.

Расчет экономической эффективности внесения удобрений выполнен на прибавку урожая от удобрений с учетом повышения качества всего зерна в ценах на минеральные удобрения и зерно пшеницы в Республике Беларусь в 2022 г. в долларовом эквиваленте. Транспортировка до 5 км и внесение подстилочного навоза КРС (ПН КРС) – 3,5 долл. США/т (на озимую пшеницу брали 60 % от затрат), затраты на доработку прибавки урожая зерна – 25 долл. США/т, затраты на внесение соломы не учитывали, т. к. ее измельчали и разбрасывали по полю при уборке. В 2022 г. стоимость продовольственного зерна пшеницы 4 класса (клейковина от 18 до 23 %) составляла 473,14 руб./т, 3 класса с клейковиной выше 23 % – 540,00 руб./т, стоимость фуражного зерна (клейковина менее 18 %) брали 374,40 руб./т. Пересчет в долл. США выполнен по курсу 2,45.

При реализации зерна озимой пшеницы на продовольствие условный чистый доход от применения удобрений составил 498–662 USD/га при рентабельности 139–298 % (табл. 5). Наиболее экономически эффективной в среднем за 3 года была минеральная система удобрения с двумя некорневыми подкормками комплексным удобрением Адоб Профит 4-12-38 и корневыми азотными подкормками ($N_{70+40+40}$), однако при данной системе удобрения складывается отрицательный баланс по фосфору и калию, что в дальнейшем приведет к снижению плодородия почвы и соответственно урожайности возделываемых культур. Высокой агрономической эффективностью характеризуются системы удобрения

Солома + N_{20(KAC)} + N₇₀₊₄₀₊₄₀P₆₅K₁₁₅ и Солома + ПН КРС, 30 т/га + N₆₀₊₄₀₊₄₀P₅₀K₅₀, при этом при последней системе удобрения отмечаются высокие коэффициенты возмещения элементов питания: азота – 2,4, фосфора – 2,2, калия – 3,6, что особенно важно для почв с низким плодородием. В блоке дискования выгодно отличается вариант с обработкой соломы микробным удобрением Жыцень и внесением N₇₀₊₄₀₊₄₀P₆₅K₁₁₅, при условном чистом доходе 614 USD/га коэффициенты возмещения выноса составили: азота – 1,2, фосфора – 1,1, калия – 1,9.

Таблица 5

Экономическая эффективность применения удобрений под озимую пшеницу на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве, среднее за 3 года

Вариант	Стоймость урожая за счет удобрений	Общие затраты	Условный чистый доход	Рентабельность, %
Вспашка				
P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	847	342	505	148
P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₆₀₊₂₀	885	222	662	298
ПН КРС, 40 т/га + P ₄₀ K ₃₅ + N ₆₀₊₃₀₊₄₀	911	357	554	155
Солома + ПН КРС, 30 т/га + P ₅₀ K ₅₀ + N ₆₀₊₄₀₊₄₀	933	369	564	153
Солома + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	838	341	498	146
Солома + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀₊₁₀	847	342	505	148
Солома + Жыцень, 3 л/га + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	898	360	538	150
Солома + N _{20(KAC)} + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	900	366	534	146
Солома + N _{20(KAC)} + P ₆₅ K ₁₁₅ + N _{70 до opt +40+40}	869	363	507	140
Солома + N _{20(KAC)} + P ₆₅ K ₁₁₅ (по вспашке) + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	865	362	503	139
Солома + N _{20(KAC)} + P ₅₅ K ₄₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	887	338	549	163
Дискование				
P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	867	351	517	147
ПН КРС, 40 т/га + P ₄₀ K ₃₅ + N ₆₀₊₃₀₊₄₀	918	365	553	152
Солома + ПН КРС, 30 т/га + P ₅₀ K ₅₀ + N ₆₀₊₄₀₊₄₀	885	353	532	151
Солома + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	885	370	515	139
Солома + Жыцень, 3 л/га + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	991	377	614	163
Солома + N _{20(KAC)} + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	922	375	547	146

ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистых почвах в полевых опытах в среднем за 3 года за счет эффективного плодородия среднеокультуренной супесчаной почвы получено 40,9 ц/га зерна озимой пшеницы с содержанием белка 8,77 %, клейковины – 17,43 %. Внесение удобрений обеспечило рост урожайности в среднем на 64 % и способствовало увеличению содержания белка до 12,59–13,35 %, клейковины до 25,11–27,25 %.

2. Заделка соломы без компенсирующей дозы азота как при традиционной, так и при поверхностной обработке почвы не оказала негативного влияния на равномерность всходов и развитие растений озимой пшеницы на дерново-подзолистой супесчаной почве.

3. Наиболее оптимальной на дерново-подзолистой супесчаной почве в блоке вспашки была система удобрения, включающая внесение $N_{70+40+40}P_{55}K_{45}$ на фоне соломы, которая в среднем за 3 года обеспечила формирование урожайности зерна озимой пшеницы 68,6 ц/га с содержанием сырого протеина 12,98 %, клейковины – 25,74 %, коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем составили: N – 1,3, P_2O_5 – 1,1, K_2O – 1,6, условный чистый доход за счет применения удобрений при условии реализации зерна на продовольствие – 549 долл. США/га.

Для расширенного воспроизводства плодородия почвы рекомендуется система удобрения Солома + ПН КРС, 30 т/га + $N_{60+40+40}P_{50}K_{50}$, которая обеспечила формирование урожайности зерна 70,7 ц/га с содержанием сырого протеина 13,11%, клейковины – 26,38 %, коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем составили: N – 2,4, P_2O_5 – 2,2, K_2O – 3,6, условный чистый доход за счет применения удобрений при условии реализации зерна на продовольствие – 564 долл. США/га.

При поверхностной обработке почвы: система удобрения, включающая внесение $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$ на фоне соломы, обработанной микробным препаратом Жыцень в дозе 3 л/га, в среднем за 3 года обеспечила формирование урожайности зерна озимой пшеницы 73,3 ц/га с содержанием сырого протеина 13,30 %, клейковины – 25,11 %, коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем: N – 1,2, P_2O_5 – 1,1, K_2O – 1,9, условный чистый доход за счет применения удобрений при условии реализации зерна как продовольственного – 614 долл. США/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистический ежегодник, 2022 / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. Медведева [и др.]. – Минск, 2022. – С. 198–204.
2. Агафонов, Е. В. Применение комплексных удобрений и азотной подкормки под озимую пшеницу / Е. В. Агафонов, А. А. Громаков, М. В. Максименко // Земледелие. – 2012. – № 7. – С. 16–18.
3. Ненайденко, Г. Н. Удобрение и повышение качества зерна пшеницы в Верхневолжье / Г. Н. Ненайденко // Земледелие, агрохимия и почвоведение. – 2018. – № 2(84). – С. 20–27.
4. Матыс, И. В. Влияние доз и сроков внесения азотных удобрений на пока-

- затели качества зерна озимой пшеницы / И. В. Матыс, В. И. Кочурко // Известия ТСХА. – 2005. – Вып. 1. – С. 30–33.
5. Ториков, В. Е. Урожайность, качество зерна озимой пшеницы в зависимости от условий выращивания и норм внесения минеральных удобрений / В. Е. Ториков, И. И. Фокин // Проблемы агрохимии и экологии. – 2011. – № 2. – С. 50-54.
6. Яковчик, Н. С. Энергосбережение в сельском хозяйстве / Н. С. Яковчик, А. М. Лапотко. – Барановичи: Укруп. тип., 1999. – 380 с.
7. Серая, Т. М. Влияние запашки побочной продукции и минеральных удобрений на продуктивность звена севооборота и агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы / Т. М. Серая [и др.] // Агрохимия. – 2015. – № 11. – С. 30–36.
8. Оптимизация основной обработки почвы в севообороте / Ф. И. Привалов [и др.] // Приложение к журналу «Земледелие и растениеводство». – 2022. – № 2(141). – С. 30–33.
9. Кирюшин, В. И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований / В. И. Кирюшин // Земледелие. – № 7. – 2013. – С. 3–6.
10. Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования) / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси; Проектный ин-т Белгипрозем. – Минск, 2003. – 43 с.
11. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений; под ред. Богдевича И. М. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

TORCHILO M. M. THE INFLUENCE OF FERTILIZER SYSTEMS ON THE YIELD AND QUALITY INDICATORS OF WINTER WHEAT GRAIN ON SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL

**T. M. Seraya, S. A. Kas'yanchik, E. N. Bogatyreva, T. M. Kirdun, T. V. Machok,
Yu. A. Simankova, M. M. Torchilo**

Summary

In a field technological experiment on sod-podzolic sandy loamy soil, the agro-economic efficiency of various winter wheat fertilization systems was studied, depending on the method of basic tillage. The incorporation of straw without a compensating dose of nitrogen, both during traditional and surface tillage, did not adversely affect the uniformity of seedlings and the development of winter wheat plants on soddy-podzolic sandy loamy soil. On sod-podzolic soils in field experiments, on average for 3 years, due to the effective fertility of medium-cultivated sandy loam soil, 40,9 centners/ha of winter wheat grain was obtained, the most optimal on sod-podzolic sandy loam soil in the plowing block was a fertilizer system, including the application of $N_{70+40+40}P_{55}K_{45}$ against the background of straw, which ensured the formation of a winter wheat grain yield of 68,6 centners/ha, with surface tillage of the soil, a fertilizer system that includes the application of $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$ against the background of straw treated with the microbial preparation Zhytsen in a dose of 3 l/ha ensured the formation of a winter wheat grain yield of 733 centners/ha. Grain quality indicators are determined.

Поступила 12.12.22

РАПС – ОСНОВНАЯ МАСЛИЧНАЯ КУЛЬТУРА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Е. Г. Мезенцева

Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Продовольственная безопасность является приоритетом национальной стратегии любого государства и напрямую зависит от уровня самообеспечения не только зерновыми, но и масличными культурами. В настоящее время рапс – основная масличная культура в Республике Беларусь. Необходимость возделывания рапса на маслосемена обусловлена, с одной стороны, дефицитом растительного масла для продовольственных и промышленных целей и кормового белка для нужд животноводства, а с другой – возможностью получать высокие урожаи маслосемян, так как климатические условия в большинстве районов менее пригодны для выращивания таких теплолюбивых масличных культур, как подсолнечник и соя [1]. На сегодняшний день проблема самообеспечения страны растительным маслом и кормовым белком остаётся актуальной.

Масличные культуры – это растения, используемые для получения масел, которые содержатся в зёдрах, плодах и даже клубнях растений в жидким или твёрдом виде. Так, в тропиках источниками растительных масел являются кокосовая пальма, какао и тунг. Растительные масла можно также получать из культур, используемых в текстильной промышленности (лён, конопля, хлопчатник), в качестве специй (кориандр, тмин, анис, мак, кунжут) и орехов (грецкого, кедрового, арахиса, миндаля). В условиях же умеренного климата растительные масла добываются в основном из семян таких растений, как подсолнечник, рапс и соя [2, 3].

По количеству получаемого масла лидирует пальма. Сбор пальмового масла почти в 10 раз больше соевого. Оливки имеют самый низкий из всех оцененных культур сбор масла, даже с учётом того, что масличность их плодов примерно такая же, как у семян хлопчатника. Соя, однолетнее растение с относительно низкой масличностью семян, всё ещё обеспечивает значительную часть производства растительного масла. По уровню мирового производства рапсовое масло занимает третье место после пальмового и соевого, а в сумме они составляют 63 % среди прочих масел (рис. 1).

Семена рапса занимают 2 место по масличности и сбору масла с 1 га из всех однолетних культур, уступая по этим показателям только арахису [4, 5] (табл. 1). Рапсовое масло, наряду с подсолнечным и оливковым – одно из наиболее потребляемых в мире растительных масел. Главными регионами мира по его производству являются: Азия – 46,8 % мирового производства, Европа – 30,3 %, Северная Америка – 19,2 %. В последние годы в мире производится около 70 млн т маслосемян рапса.

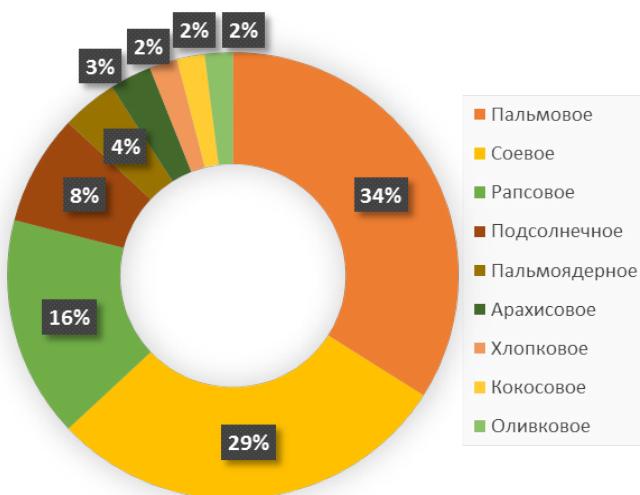


Рис. 1. Структура мирового производства растительного масла, %

Таблица 1
Масличность культур и сбор масла

Масличная культура	Масличность семян, %	Сбор масла, кг/га
Масличные семена:		
рапс	40–50	590–600
хлопчатник	18–20	210–235
арахис	45–50	1255–1395
соя	18–20	450–500
подсолнечник	35–45	515–600
Масличные плоды:		
пальма	45–50	2990–5000
оливки	15–35	100–280

НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАПСА

Рапсовое масло широко применяется в пищевой промышленности, по вкусовым качествам приравнивается к оливковому. Оно способно более долгое время сохранять свои полезные и потребительские свойства, по сравнению, например, с соевым. Рапсовое масло относится к маслам, наиболее сбалансированным по жирно-кислотному составу. В 1 кг маслосемян содержится 1,97–2,13 к. ед., 40–50 % масла и 18–31 % хорошо сбалансированного по аминокислотному составу белка, 5–7 % клетчатки. По энерго-протеиновому соотношению 22 ц семян рапса равноценно 65 ц зерна ячменя [6–8]. По содержанию жира и сумме жира, и белка рапс превосходит сою, не уступает подсолнечнику и горчице. Семена культуры по химическому составу отличаются от семян других масличных растениям наличием эруковой кислоты и глюкозидов, содержащих серу [5].

Масло богато ценными моно- и полиненасыщенными жирными кислотами – олеиновой и линолевой и по этому показателю приближается к условному эталону – оливковому маслу (табл. 2). Эти кислоты играют большую роль в регулировании жирового обмена, снижая уровень холестерина, возможность тромбообразования и ряда других заболеваний, в том числе опухолевых. В жирах животного происхождения они не встречаются или присутствуют в незначительных количествах. Кроме того, рапсовое масло содержит вещества, препятствующие накоплению радионуклидов [9–12].

Таблица 2

Содержание жирных кислот в растительных маслах, %

Жирные кислоты	Рапс эруковый	Рапс безэруковый (00-типа)	Оливки	Соя	Подсолнечник
Пальмитиновая и стеариновая*	19	7	15	15	12
Олеиновая**	22	61	75	23	16
Эруковая**	40	следы	следы	–	–
Линолевая***	12	21	9	54	71
α – линоленовая***	7	11	1	8	1

* Насыщенные кислоты; ** мононенасыщенные кислоты; *** полиненасыщенные кислоты.

Рапс с содержанием эруковой кислоты в масле не более 3 %, а глюкозинолатов в обезжиренном остатке (шроте) – не более 2 % может использоваться в пищу без ограничений, а шрот – на корм скоту в соответствии с зоотехническими нормами. Рапсовое масло с высоким содержанием эруковой кислоты используется в основном на технические цели: в лакокрасочной, косметической, мыловаренной, полиграфической, кожевенной, химической и текстильной промышленности [9, 13].

Одной из первостепенных задач, стоящих перед государством, является поиск и внедрение альтернативных источников энергии. Постоянный рост цен на нефть, экологически неблагоприятная установка в мире обусловили производство биодизеля – экологически чистого топлива на основе возобновляемых биоресурсов. Это особенно актуально для Республики Беларусь, которая не обладает значительными природными запасами энергоносителей. Преимущество биодизеля определяется быстрым освоением рынка и стандартизацией продукции. При этом имеются и отрицательные аспекты – затратная эфиризация масла, проблемы при сбыте глицерина и повышенный расход (до 9 %) по сравнению с потреблением топлива, полученного из нефти [9].

Рапс не только масличная, но и ценная кормовая культура. При переработке 1 т его маслосемян в зависимости от способа образуется 33–42 % масла и 60–63 % жмыха, или 52–55 % шрота – хорошо сбалансированного по аминокислотному составу корма для животных [14]. Содержание сырого протеина в рапсовом экстракционном шроте равноценно подсолнечному и примерно на 25 % ниже, чем в соевом. Рапсовый шрот, несмотря на более низкое (по сравнению с соевым шротом) содержание лизина в протеине, можно использовать для балансирования количества аминокислот в кормах из зерна. Содержание метионина/цистина, треонина в протеине рапсового шрота выше, чем в подсолнечном протеине (табл. 3).

Таблица 3
Содержание аминокислот в экстракционных шротах, % при 88 % сухой массы

Продукт	Сырой протеин	Лизин	Метионин	Метионин+цистин	Тreonин	Триптофан
Рапсовый шрот	34,8	1,92	0,72	1,60	1,56	0,45
Подсолнечный шрот	33,0	1,13	0,74	1,34	1,20	0,39
Соевый шрот	44,1	2,67	0,62	1,28	1,72	0,59

Энергетическая ценность рапсового жмыха и шрота не уступает подсолнечным – 11,3 и 10,4 МДж и 11,4 и 10,6 МДж обменной энергии соответственно. После извлечения масла жмых (шрот) имеет масличность 7–12 % (1–5 %) Переваримость аминокислот рапсового экстракционного шрота (особенно лизина и треонина) ниже по сравнению с другими кормами, его не используют в кормлении кур-несушек, а максимальная его доля в кормовых смесях для свиней и жвачных зависит от содержания глюкозинолатов [7, 14–17].

Рапс используется в качестве зелёной массы, силоса, сенажа, травяной муки – в основных, промежуточных и поукосных посевах в чистом виде и в смеси с другими культурами [9, 17–19].

Зелёная масса рапса характеризуется высоким содержанием протеина (17 %) и небольшим содержанием клетчатки. Коэффициент её переваримости составляет 75–80 %. Скармливание рапса молочному скоту повышает продуктивность и жирность молока. Благодаря высокой хладостойкости, низкому расходу семян, интенсивным темпам формирования биомассы, хорошему отрастанию после скашивания в ранние фазы рапс используется в кормовых целях с ранней весны до поздней осени, вплоть до установления снежного покрова [20].

Рапс – отличный предшественник для зерновых и других сельскохозяйственных культур [9, 21]. Мощная вегетативная масса рапса хорошо подавляет сорняки во второй половине вегетации, а развитая корневая система культуры улучшает структуру почвы и способна перемещать в верхний слой почвы вымытые на глубину питательные элементы. Помимо этого, корни рапса способны выделять горчичные масла, богатые серой, разлагающие недоступные растениям формы фосфатов [22]. С корневыми и поживными остатками при запашке в почву возвращается около 15 кг азота, 15 кг фосфора 70 кг кальция, 12 серы, что эквивалентно внесению в почву 15 т/га навоза. Использование зелёной массы рапса для сидерации позволяет вносить массу органического вещества, равнозначную 45–55 т/га навоза [20]. Результаты исследований белорусских учёных свидетельствуют, что рапс улучшает фитосанитарное состояние пашни, уменьшая поражаемость зерновых корневыми гнилями на 34 % по сравнению с другими предшественниками, что способствует повышению урожайности последующей зерновой культуры [24–26].

Рапс является хорошим медоносом: благодаря продолжительному цветению (25–30 дней) и большому количеству нектара в цветках сборы мёда могут составлять около 90 кг/год [9, 27].

В настоящее время рапс возделывают более чем в 30 странах. В последние годы спрос на масличное сырьё на мировом рынке возрос, что обуславливает увеличение объёмов производства масличных культур. По мнению аналитиков, увеличению

мирового производства рапсового масла будет способствовать высокий спрос на продукцию со стороны биотопливной промышленности, а также растущие потребности в данном продукте пищевой и животноводческой отраслей [28].

ВОЗДЕЛЫВАНИЕ РАПСА В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В настоящее время рапс признан стратегической культурой для нашей республики. На его основе может быть создана стабильная сырьевая база для масложировой промышленности, что особенно актуально в связи с постоянно ведущейся работой учёных-селекционеров Беларуси по созданию новых сортов рапса типа «00» и «канола», т. е. с низким содержанием глюказинолатов и эруковой кислоты. За три десятилетия (1986–2015 гг.) создана система отечественных сортов озимого (16 и гибрид F₁) и ярового (14 и 3 гибрида F₁) рапса пищевого использования с потенциалом урожайности 45–68 ц/га маслосемян. В нашей стране возделываются две разновидности рапса – озимая и яровая. Районированные сорта озимого рапса – Лидер, Зорный, Мартын, Прометей, Империал, Витовт и др.; озимого – Нёман, Прамень, Гедемин, Олимп и др. [7–9, 14, 29, 30].

Возделывать рапс в БССР начали ещё в 80-х гг. прошлого века. В 1985 г. площади этой культуры занимали 273 га при урожайности всего 5,2 ц/га маслосемян, а к 1989 г. площади посева рапса расширились до 57,2 тыс. га, а урожайность семян достигла 13,3 ц/га [31]. В сельскохозяйственных организациях шел процесс накопления производственного опыта по широкомасштабному возделыванию рапса на семена с учётом биологических, технологических и организационно-экономических особенностей выращивания, и уборки культуры.

Чтобы полностью избавиться от импорта растительного масла в последние годы значительно расширились посевые площади рапса в сельскохозяйственных организациях страны. К 2005 г. посевы культуры занимали уже 126,3 тыс. га, что при средней урожайности маслосемян рапса 12,3 ц/га позволило собрать 148,1 тыс. т (рис. 2). Начиная с 2012 г. урожайность рапса стабильно увеличивалась, достигнув максимума (19,9 ц/га) в 2020 г., когда площадь посевов составила 363,6 тыс. га [32].

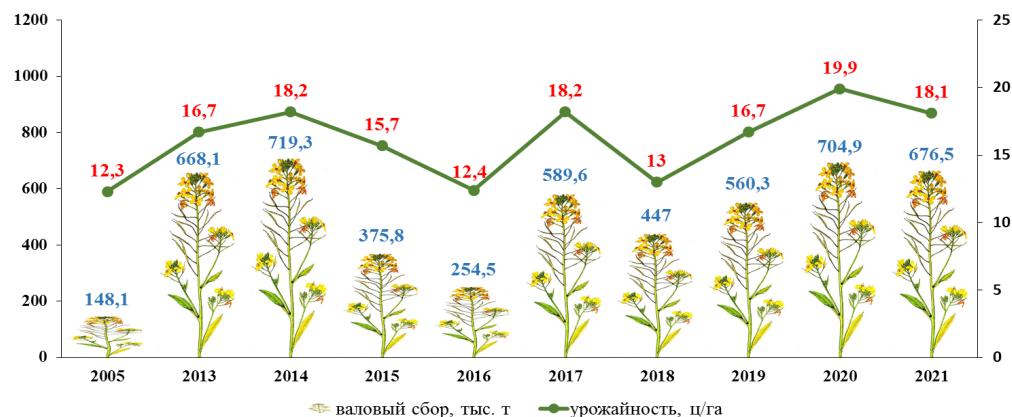


Рис. 2. Валовый сбор и урожайность маслосемян рапса в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь

Вместе с тем, доля посевов рапса в общей площади посевов не превышает 10 %, а в период 2013–2016 гг. и вовсе наблюдалось снижение площадей под этой масличной культурой. Такая ситуация была обусловлена, прежде всего, сложившимися неблагоприятными погодными условиями для перезимовки озимого рапса в отдельные годы в восточных и центральных районах страны. Так, под урожай 2016 г. в сельскохозяйственных организациях посевные площади рапса составили 435,5 тыс. га, в том числе: озимого – 314,4 тыс. га, ярового – 121,1 тыс. га. В результате неблагоприятных погодных условий, сложившихся в вегетационный период, гибель посевов культуры составила 229,7 тыс. га (53 % посевной площади), в том числе: озимого – 193,8 тыс. га (62 %), ярового – 35,9 тыс. га (30 %). По данным БелСтат валовый сбор семян рапса в 2016 г. был минимальным за последние 9 лет исоставил 254,4 тыс. т, или 34,7 % к плану при средней урожайности 12,4 ц/га [32].

После двух лет «неурожая» в 2017 г. Беларусь нарастила производство рапса до 589,6 тыс. т (77 % от запланированного) при средней урожайности 18,2 ц/га, что в 2,3 раза превысило показатель предыдущего года. Более высокая урожайность была обусловлена рядом факторов: хорошей перезимовкой озимого рапса, оптимальными погодными условиями вегетационного периода, минимальными потерями в период уборки. Под урожай 2018 г. посевные площади были увеличены практически на 20 % в сравнении с прошлогодними показателями. Но, если в 2017 г. на полученный уровень урожайности негативное влияние оказали погодные условия в виде заморозков и снега во время весенней вегетации, то в 2018 г. посевы рапса пострадали от засухи – потери только озимого рапса достигли более 16 % от общей площади. В связи с чем его урожайность составила всего 13,0 ц/га, что отразилось на снижении уровня валового сбора маслосемян – 76 % к показателю предыдущего года и 57 % – к плану. Максимальный валовый сбор маслосемян на уровне 704,9 тыс. т отмечен в 2020 г., когда средняя урожайность рапса достигла 19,9 ц/га (рис. 2) [32].

За прошедшие годы научными организациями накоплен значительный опыт получения высоких урожаев рапса, подготовлены многочисленные рекомендации, разработаны и апробированы зональные ресурсосберегающие технологии возделывания, однако потенциал культуры все ещё реализуется не в полной мере [8, 9, 15, 22, 33–43]. Исследованиями научных учреждений Беларуси выявлен целый ряд неблагоприятных факторов в формировании высоких и устойчивых урожаев рапса [44, 45]. Ежегодно посевные площади рапса занимают 400–500 тыс. гектаров. В республике в последние годы основную долю в посевах этой культуры (85–95 %) занимает более продуктивный озимый рапс, который в силу агроклиматических условий на востоке и в центральных районах (Витебская, Могилёвская и Минская области) в отдельные годы зимует нестабильно, что обусловлено резкими колебаниями температур, образованием ледяной корки и вымоканием в зимний и ранневесенний периоды [46]. Учёные утверждают, что селекционный путь преодоления отрицательных условий перезимовки малопригоден, поскольку содержание эруковой кислоты и глюкозинолатов в семенах озимого рапса прямо пропорционально его зимостойкости. Усиливая зимостойкость, селекционер тем самым увеличивает количество вредных соединений, что снижает товарную и пищевую ценность рапсового масла [47].

Увеличения валового сбора маслосемян возможно достичь не столько за счёт расширения посевых площадей под культурой, а в большей степени повышением

урожайности, а также совершенствованием районирования с учётом почвенно-климатических условий. Выделены оптимальные для возделывания рапса 37 районов Беларуси (микрозоны), в которых урожайность культуры была выше либо равной по уровню среднереспубликанской, а издержки – ниже либо на уровне средних показателей по республике. На основании анализа многолетних данных динамики урожайности рапса и эффективности производства маслосемян по областям белорусскими исследователями обоснованы зоны перспективного возделывания данной культуры. Так, наиболее эффективно осуществляют возделывание рапса организации Гродненской области, юго-западной части Минской, западной и центральной части Брестской области и их следует рассматривать как первоочередные для наращивания посевных площадей. Наименее эффективно возделывание рапса осуществляют сельскохозяйственные предприятия западной и северной части Гомельской и южной части Могилёвской областей, отдельные районы Витебской и Минской областей [48, 49]. Рекомендована оптимальная для каждой области страны структура посевов крестоцветных культур. Так, если для Гродненской области процентное соотношение культур: озимый рапс/яровой рапс/озимая сурепица составляет 80/10/10, то для Витебской области – 60/25/15 соответственно [8].

Относительно невысокая урожайность озимого рапса в Беларуси в производственных условиях обусловлена не только низкой зимостойкостью его в отдельные годы, но и несовершенной технологией его возделывания. Научные исследования показывают, что в условиях ограниченного роста посевных площадей основной путь увеличения валового сбора семян рапса – повышение его урожайности и качества за счёт интенсивной технологии возделывания, которая отличается от традиционной тем, что базируются не на реализации отдельных эффектных приёмов, а на коммерческом использовании достижений науки, техники, передового опыта [16]. Наиболее высокие результаты интенсивного ведения растениеводства могут быть получены при условии оптимального (благоприятного) сочетания наиболее существенных факторов. Если же отдаётся предпочтение какому-либо одному фактору, например, посеву самыми лучшими (дорогими) семенами, а другие составляющие остаются без изменения, то эффект от такой интенсификации может оказаться несущественным. Успешное выращивание рапса предполагает тщательное и своевременное выполнение технологических рекомендаций: дифференцированная основная обработка почвы в зависимости от предшественника, почвенных и климатических условий, рациональная система удобрения, соблюдение технологии посева высокопродуктивными сортами семян культуры в оптимальные сроки, интегрированная защита посевов в течении всего вегетационного периода [13, 38, 44].

Часто при подборе сорта или гибрида (в основном интенсивного типа) не учитываются его требования к высокому уровню агротехники, в результате чего потенциал продуктивности культуры реализуется лишь на 15–20 %. Поэтому важным резервом увеличения валового сбора семян рапса является дальнейшее усовершенствование агротехники его возделывания, в том числе – разработка систем удобрения, позволяющих создать оптимальные условия для роста и развития растений, формирования высокой урожайности и качества масла.

Особое значение при этом приобретает оптимизация минерального питания с учетом уровня обеспеченности почвы питательными веществами. Согласно данным последнего тура агрохимических обследований установлено, что около

20–25 % площади пашни занимают дерново-подзолистые почвы с содержанием подвижных соединений фосфора и калия значительно выше оптимальных значений, что предполагает на таких полях снижение доз вносимых фосфорных и калийных удобрений, а соответственно и себестоимости производства маслосемян [50].

В исследованиях, проведенных с озимым рапсом Мерседес F1 в 2018–2020 гг. на дерново-подзолистых суглинистых почвах с содержанием подвижных соединений фосфатов – 474 и калия – 285 мг/кг почвы, установлено, что комплексное применение двухкратных азотных подкормок (N_{90+30}) в сочетании с микроудобрением (МикроСтим-Марганец, Бор) и регулятором роста (Экосил) как на фоне полного применения удобрений ($N_{30}P_{30}K_{90}$), так и с исключением фосфора из системы удобрения ($N_{30}K_{90}$), обеспечило получение 31,0–31,5 ц/га маслосемян пищевого назначения с содержанием 49,2 % жира и 18,0–21,7 % белка [51].

На формирование урожая сельскохозяйственных культур, наряду с минеральным питанием растений, большое влияние оказывают водный и температурный режимы почв и воздуха в течение вегетации растений. Как избыток, так и недостаток влаги, и тепла негативно сказываются на уровне урожая. Исследования, проведенные с яровым рапсом Миракел F1 в 2017–2018 гг. на дерново-подзолистых суглинистых почвах свидетельствуют, что применение минеральных удобрений способствовало повышению устойчивости растений к погодным стрессам. При использованииmonoазотной (N_{90+30}) системы удобрения в комплексе с микроудобрением урожайность рапса по годам исследований также варьировала, но в меньшей степени: от 28,1 до 16,1 ц/га (43 %). Эффективность полной системы удобрения ($N_{90+30}P_{40}K_{60}$) в сочетании с микроудобрением проявилась в большой степени, обусловив значительно меньшую вариабельность урожайности (34 %) – с 31,4 до 20,6 ц/га [52].

Анализ влияния отдельных факторов (почва, последействие навоза, минеральные удобрения) на формирование урожайности маслосемян рапса в меняющихся погодных условиях показал, что при более благоприятных гидротермических условиях доля участия почвы и третьего года последействия навоза в формировании урожайности составляла 57 и 5 % соответственно. Показательно, что при менее благоприятных погодных условиях доля эффективного плодородия почвы снизилась на 16 % или в 1,4 раза, а последействия навоза – в 5 раз, составив всего 1 %. В то же время возросла эффективность минеральных удобрений (табл. 4).

Таблица 4
Участие почвы и удобрений в формировании урожайности рапса ярового
при различных условиях вегетации растений

Факторы	Год			
	более благоприятный		менее благоприятный	
	ц/га	%	ц/га	%
Почва	17,8	57	8,4	41
Последействие навоза	1,5	5	0,3	1
Фосфорные и калийные удобрения	1,1	3	2,3	11
Азотные удобрения	7,2	23	9,6	47
Микроудобрения	3,8	12	–	–
Урожайность, ц/га	31,4	100	20,6	100

Минеральное питание и водный обмен – взаимосвязанные и взаимовлияющие процессы. Лучшие условия питания способствуют более продуктивному использованию влаги, а достаточная обеспеченность влагой, в свою очередь, повышает отдачу от внесения удобрений. Известно, что фосфорные и калийные удобрения в засушливых условиях снижают расход воды на образование единицы урожая на 10–20 % и более. Этот факт объясняется тем, что калий удерживает воду, повышая оводнённость цитоплазмы, а фосфор удобрений в условиях недостатка влаги более доступен растениям, чем фосфаты почвы.

В исследованиях РУП «Институт почвоведения и агрохимии», проведенных с другими культурами, установлено, что в засушливых условиях со снижением доли участия почвенного плодородия эффективность минеральных удобрений повышалась [53, 54]. Расчеты показали, что в условиях дефицита влаги в первую половину вегетации растений доля участия фосфорных и калийных удобрений увеличилась с 3 до 11 %.

Роль азотных удобрений при неблагоприятных погодных условиях возрастает. Обеспеченность растений азотом в засуху достаточно высока, так как азот поступает в растения преимущественно путем массового потока и меньше зависит от обеспеченности почвы водой. Установлено, что долевое участие азота в формировании урожайности культуры возросло более чем в 2 раза – с 23 до 47 %, что вполне объяснимо, так как на почвах с очень низким содержанием потенциально усвояемых соединений азота и высоким – фосфатов и калия, основным элементом, оказывающим влияние на формирование урожайности возделываемых культур, является азот, поступающий с удобрениями.

Следует также понимать, что существенной проблемой при возделывании рапса в Беларуси является отсутствие надёжной специализированной техники – в сельскохозяйственных организациях страны используются зерноуборочные комбайны, оборудованные соответствующими приставками, при этом потери урожая при уборке иногда достигают 50 % [22].

Возделывание рапса экономически выгодно – при урожайности свыше 25 ц/га уровень рентабельности производства превышает 50 % [55]. Производством семян рапса в Республике Беларусь занимается большая часть сельскохозяйственных предприятий страны. Сыревые зоны организаций, специализирующихся на переработке маслосемян рапса, охватывают все области страны. Все перерабатывающие предприятия отрасли подразделяются на две группы: маслодобывающие и маслоперерабатывающие. При совершенствовании размещения производства рапса необходимо учитывать специализацию сельскохозяйственных предприятий в регионе и сложившуюся структуру их производства, а также возможные социально-экономические последствия его изменения. Существенным фактором, влияющим на размещение посевов рапса, является наличие сырьевых зон перерабатывающих предприятий. До 1990 г. производство растительного масла в нашей стране традиционно было ориентировано на использование российского и украинского сырья, в основном подсолнечника и сои. В настоящее время весь производимый объём рапса в Беларуси потребляется внутри страны, основная его часть идёт на переработку.

По данным ВОЗ, населению нашей республики необходимо употреблять в расчёте на 1 человека до 11,4 кг растительного масла в год [56]. Рапсовое масло многими экспертами в мире признано продуктом здорового питания. В питании

человека особенно широко оно используется в Европе, Азии, США. К сожалению, на сегодняшний день в нашей стране рапсовое масло, при всех его очевидных достоинствах, не столь популярно у населения, что обусловлено определёнными предубеждениями, зачастую связанными с недостатком информации, а также сложившимися традициями потребления других видов растительных масел, в основном – подсолнечного.

ВЫВОДЫ

В условиях мирового дефицита продовольственных и энергетических ресурсов производство рапса ввиду своего многоцелевого использования является важным и перспективным направлением развития экономики Республики Беларусь. Более строгое соблюдение технологии выращивания, выполнение комплекса мероприятий, направленных на увеличение валового сбора маслосемян рапса за счёт повышения его урожайности и качества, позволит обеспечить республику растительным маслом и кормовым белком, повысить её конкурентоспособность на мировом рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рапс для Беларуси – важнейшая масличная и кормовая культура / Д. Шпаар [и др.] // Междунар. аграрный журнал. – 1998. – № 6. – С. 22–25.
2. *Машкевич, Н. И. Растениеводство: учебник* / Н. И. Машкевич; под ред. Н. А. Соколова. – М.: Изд-во «Высшая школа» – 1969. – 514 с.
3. Рапс, как сырьё, в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agropunkt-oil.by/ru/2017/12/12/> %D1 %80 %D0 %B0 %D0 %BF %D1 %81/. – Дата доступа 25.03.2019 г.
4. *Рекеда, В. Альтернатива подсолнечнику* / В. Рекеда // Настоящий хозяин. – 2005. – № 3. – С. 41–48.
5. *О'Брайен, Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение* / Р. О'Брайен. – СПб.: Профессия, 2007. – 752 с.
6. Рапс / Д. Шпаар [и др.]. – Минск: ФУАинформ, 1999. – 208 с.
7. *Баранов, В. Д. Мир культурных растений: справочник* / В. Д. Баранов, Г. В. Устименко. – М.: Мысль, 1994. – 381 с.
8. Высокопродуктивные сорта – важнейший фактор повышения урожайности сельскохозяйственных культур / С. И. Гриб [и др.] // Земледелие и защита растений. Приложение к журналу № 3. – 2016 г. – С. 5–23.
9. *Шпаар, Д. Возделывание рапса* / Д. Шпаар, Н. Маковски, В. Самерсов // Аграрная наука. – 1996. – 130 с.
10. *Скакун, А. С. Рапс – культура масличная* / А. С. Скакун, И. В. Бурда, Д. Бравер. – Минск: Ураджай. – 1994. – 96 с.
11. Интенсивная технология производства рапса / К. С. Орманджи [и др.]. – Минск: Агропромиздат, 1990. – 188 с.
12. Рапс, сурепица / А. А. Гольцов [и др.]. – М.: Колос, 1983. – 192 с.
13. *Милащенко, Н. З. Технология выращивания и использования рапса и сурепицы* / Н. З. Милащенко, В. Ф. Абрамов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 223 с.
14. *Пилюк, Я. Э. Рапс – белковый компонент концентрированных кормов* /

- Я. Э. Пилюк // Земледелие и защита растений. – 2017. – № 1(110). – С. 40–42.
15. Пилюк, Я. Э. Технология возделывания сортов озимого и ярового рапса качества «канола» на маслосемена (рекомендации) / Я. Э. Пилюк, О. А. Пиун, В. В. Зеленяк. – Жодино: НПЦ НАН Беларусь по земледелию. – 2010. – 42 с.
16. Шаганов, И. А. Рапсовое поле Беларусь: практ. рук. по освоению интенсивн. технологии возделывания озимого рапса на маслосемена / И. А. Шаганов. – М.: Равноденствие, 2008. – 70 с.
17. Рапс и сурепица (выращивание, уборка, использование) / Д. Шпаар [и др.]. – М., 2007. – 319 с.
18. Шлапунов, В. Н. Промежуточные культуры – резерв увеличения производства и повышения качества кормов в Белоруссии / В. Н. Шлапунов // Сб. научн. тр. / Всесоюз. научн.-исслед. ин-т кормов. – 1989. – Вып. 41. – С. 74–84.
19. Шлапунов, В. Н. Поукосные и пожнивные посевы – резерв производства высокобелкового корма / В. Н. Шлапунов, Е. Л. Долгова // Земледелие и защита растений. – 2017. – № 1(110). – С. 54–56.
20. Штанько А. В. Рапс – высокоурожайная белковая культура / А. В. Штанько. – Петрозаводск: Карелия, 1987. – 78 с.
21. Бечюс, П. П. Значение промежуточных посевов в интенсификации полевого кормопроизводства Литовской ССР / П. П. Бечюс // Промежуточные посевы – резерв увеличения производства и повышения качества кормов: сб. научн. тр. // Всесоюз. научн.-исслед. ин-т кормов. – М.: ВИК им. В. Р. Вильямса, – 1989. – Вып. 41. – С. 15–17.
22. Пилюк, Я. Э. Рапс в Беларусь: биология, селекция и технология возделывания / Я. Э. Пилюк. – Минск: Бизнесофсет, 2007. – 240 с.
23. Пилюк, Я. Э. Культура рапса в Беларусь / Я. Э. Пилюк, В. М. Белявский, В. В. Сушкевич // Земледелие. – 1998. – № 2. – С. 42.
24. Жолик, Г. А. Фитосанитарные особенности рапса / Г. А. Жолик, В. В. Римашевский, А. И. Никитенко // Основные направления получения экологически чистой продукции растениеводства: тез. докл. респ. научн.-произв. конф., г. Горки, 13–15 апреля 1992 г. – Горки: БСХА. – 1992. – С. 6–7.
25. Величка, Р. Влияние рапса и его предшественников на агрохимические свойства дерново-подзолистой глееватой почв / Р. Величка. // Агрохимия. – 1999. – № 1. – С. 36–39.
26. Шпаар, Д. Рапс для Беларусь – важнейшая масличная и кормовая культура / Д. Шпаар, М. Т. Дорофеюк, Г. В. Витковский // Международный аграрный журнал. – 1998. – № 3. – С. 22–25.
27. Кузнецова, Р. Я. Масличные культуры – на корм / Р. Я. Кузнецова. – Л.: Колос – Ленингр. отд., – 1977. – 152 с.
28. Мировое производство рапсового масла в 2018/19 гг. увеличится до 26,3 млн т [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://latifundist.com/novosti/41258-mirovoe-proizvodstvo-rapsovogo-masla-v-201819-mln-t>. – Дата доступа 15.03.2019 г.
29. Сорочинский, Л. В. Рапс – состояние и перспективы / Л. В. Сорочинский // Земледелие и защита растений. – 2016. – № 5(108). – С. 58.
30. Пилюк, Я. Э. Результаты изучения генофонда ярового рапса в Беларусь / Я. Э. Пилюк // Наука – производству: материалы 4-ой Междунар. научн.-практ. конф., Гродно, май 2001 г., Ч. 2. – Гродно: ГГАУ, 2001.– С. 35–38.

31. Маковски, Н. Возделывание озимого рапса в Республике Беларусь / Н. Маковски. – М., 1990. – 51 с.
32. Сельское, лесное и рыбное хозяйство Беларуси. Статистический сборник [Электронный ресурс] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaistvo/selskoe-khozyaistvo>. – Дата доступа 15.12.2022 г.
33. Удобрения и качество урожая сельскохозяйственных культур: монография / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: УП «Технопринт», 2005. – 276 с.
34. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.
35. Пицко, М. В. Влияние микроудобрений (борного и марганцевого на урожайность и качество семян рапса ярового на дерново-подзолистой супесчаной почве: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / М. В. Пицко; НИРУП «Ин-т почвоведения и агрохимии». – Минск, 2001. – 103 с.
36. Курганская, С. Д. Влияние условий минерального питания на урожайность и качество семян рапса на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах северо-восточной части Беларуси: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / С. Д. Курганская; НИРУП «Ин-т почвоведения и агрохимии». – Минск, 2004. – 161 с.
37. Юртель, С. В. Влияние азотных удобрений на урожайность и качество семян ярового и озимого рапса на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / С. В. Юртель; УО «Гродненский государственный аграрный ун-т». – Гродно, 2006. – 192 с.
38. Плевко, Е. А. Совершенствование системы удобрения редьки масличной, горчицы белой и рапса ярового при возделывании на семена на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве: автореф дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Е. А. Плевко. – М., 2017. – 23 с.
39. Будько, Л. И. Наша технология – традиции качества: практич. пособие / Л. И. Будько, И. Н. Ровба, И. А. Шаганов. – Минск: Равноденствие, 2009. – 120 с.
40. Кулаковская, Т. Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т. Н. Кулаковская. – Минск: Ураджай, 1978. – 328 с.
41. Лапа, В. В. Оптимальные дозы удобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск, 2002. – 24 с.
42. Отраслевой регламент. Использование удобрений под сельскохозяйственные культуры в севооборотах и сохранение плодородия почв. Типовые технологические процессы / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 32 с.
43. Рекомендации по применению известковых, фосфорных и калийных удобрений, обеспечивающих воспроизведение плодородия, улучшение агрохимических и биологических свойств пахотных и луговых почв по группам административных районов Беларуси / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2014. – 26 с.
44. Пилюк, Я. Э. Возделывание озимого рапса в Республике Беларусь / Я. Э. Пилюк // Земледелие и защита растений. – № 9. – 2001. – С. 10–15.
45. Курганская, С. Д. Эффективность применения микроэлементов под яровой рапс / С. Д. Курганская // Земледелие и защита растений. – 2003. – № 4. – С. 45.
46. Пилюк, Я. Э. Озимый рапс: особенности сева и ухода в осенний период 2011 / Я.Э. Пилюк // Наше сельское хозяйство. – 2011. – № 7. – С. 38–4.

47. Самсонов, В. П. Яровой рапс – культура больших возможностей / В. П. Самсонов, Я. Э. Пилюк, А. Маковски. – Международный аграрный журнал. – 2001. – № 4. – С. 7–9.
48. Кольчевская, О. П. Обоснование размещения производства рапса на территории Республики Беларусь / О. П. Кольчевская // Проблемы экономики. – 2005. – № 6. – С. 95–101.
49. Бречко, Я. Н. Повышение эффективности возделывания Рапса в Республике Беларусь / Я. Н. Бречко // Проблемы экономики. – 2016. – № 2(23). – С. 3–15.
50. 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.
51. Особенности возделывания озимого рапса на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высоким содержанием подвижных фосфатов / Е. Г. Мезенцева [и др.]. // Плодородие почв – основа продовольственной безопасности государства: материалы VI съезда Белорусского общества почвоведов и агрохимиков, Минск, 22 июля, 2022 г. – Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2022. – С. 209–213.
52. Мезенцева Е. Г. Урожайность и качество маслосемян ярового рапса в зависимости от систем удобрения и погодных условий / Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш, О. В. Симанков // Земледелие и растениеводство. – 2021. – № 4(137). – С. 15–19.
53. Кулеш, О. Г. Действие удобрений в зернопропашном севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высокими запасами фосфора и калия при различных погодных условиях / О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева, О. А. Шедова // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 109–118.
54. Семененко, Н. Н. Урожайность, вынос и коэффициенты возмещения выноса элементов питания в зависимости от погодных условий и применяемой системы удобрения под яровой ячмень / Н. Н. Семененко, О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева // Почвоведение и агрохимия – 2019. – № 1(62). – С. 120–132.
55. Организационно-экономические основы функционирования рапсового подкомплекса [Электронный ресурс]. – Режим доступа:] https://www.ggau.by/index.php?option=com_attachments&task=download&id. – Дата доступа 12.04.2019 г.
56. Рациональные нормы потребления пищевых продуктов для различных групп населения Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rspch.by/Docs/rec_norm.pdf. – Дата доступа 29.03.2019 г.

RAPESEED – THE MAIN OILSEED CROP IN THE REPUBLIC OF BELARUS

E. G. Mezentseva

Summary

The analytical overview information on rapeseed as one of the most promising multifunctional agricultural crops in the article is presents. The ways of using rapeseed are shown. The current state and promising ways to increase its productivity of the main oilseed crop in the Republic of Belarus are shown to.

Поступила 15.12.22

СОДЕРЖАНИЕ КРЕМНИЯ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ, ПОЧВАХ И ПОЧВЕННЫХ РАСТВОРАХ, ПОТЕРИ ПРИ ВЫМЫВАНИИ И ПОТРЕБЛЕНИЕ ЕГО КУЛЬТУРАМИ ЗВЕНА СЕВООБОРОТА, ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЛЕГКОСУГЛИНИСТЫХ И РЫХЛОСУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Г. В. Пироговская¹, И. Е. Ермолович¹, В. В. Матыченков²,
С. С. Хмелевский¹, А. С. Максимчук¹, В. И. Сороко¹

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

²*Институт фундаментальных проблем биологии,
г. Пущино, Россия*

ВВЕДЕНИЕ

Кремний по распространенности в земной коре является вторым элементом после кислорода. Однако, несмотря на его высокое валовое содержание в почвах, его доступность для растений очень низкая. В настоящее время существует интерес к применению кремния, как к элементу, который совместно с углеродом формирует почвенное плодородие и является экологически чистой альтернативой пестицидам. В почвах при дефиците кремниевых кислот и уменьшении содержания аморфного кремнезема наблюдается разрушение органоминерального комплекса, ухудшается минералогический состав почв, агрофизические свойства и ускоряется деградация почвенного органического вещества. Имеются данные, свидетельствующие о важной роли этого элемента в формировании продуктивности сельскохозяйственных культур, в процессах формирования устойчивости растений к различным неблагоприятным факторам окружающей среды, положительном его влиянии на качество продукции и участии его в процессах жизнеобеспечения сельскохозяйственных животных и человека. В условиях изменяющегося климата в сторону потепления и снижения количества выпадающих атмосферных осадков, внесение в почву природных соединений, положительно влияющих на сохранение агрофизических свойств и плодородия почв, является актуальным направлением исследований [1–4].

Недостаточно изученными являются вопросы влияния кремнийсодержащих материалов на рост и развитие растений, потребление его растениями.

Что касается миграции и трансформации водорастворимого кремния вниз по профилю почв, т. е. потери его при вымывании, то такие данные практически отсутствуют как в отечественной, так и зарубежной литературе.

В связи с этим, комплексное изучение вопроса поступления кремния с атмосферными осадками, миграция его соединений с инфильтрационными водами по почвенному профилю, вынос с основной и соответствующим количеством побочной продукцией культур звена севооборота является актуальной темой при

проводении лизиметрических исследований, имеющих важное как научное, так и практическое значение.

По данным, полученным на лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии», расположенной в центральной части Республики Беларусь (г. Минск), за последние 35 лет (1981–2015 гг.) среднегодовая температура воздуха увеличилась на 0,8 °С и составила 6,6 °С по сравнению со среднемноголетними значениями за 1961–1990 гг. (5,8 °С), сумма активных температур воздуха выше 5–10 °С в период вегетации растений (май–сентябрь) увеличилась за 1991–2000 гг. на 86,1 °С, а за 2001–2012 гг. – на 208,7 °С. Среднегодовое количество атмосферных осадков за 1981–2015 гг. уменьшилось на 100 мм (на 14,4 %) и составило 596 мм по сравнению с 1961–1990 гг. [5]. Среднемноголетние данные по изменению температуры воздуха и количеству выпавших атмосферных осадков за последние 30 лет (с 1991 по 2020 гг.) показывают, что в г. Минске среднегодовая температура воздуха составила 6,9 °С, а количество атмосферных осадков – 687,5 мм. Все это свидетельствует об изменении климатических факторов в Республике Беларусь.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по поступлению кремния на поверхность почв с атмосферными осадками, потерям при вымывании, содержанию в почвах и потреблению его сельскохозяйственными культурами в звене севооборота: картофель (2021 г.) – кукуруза (2022 г.) проводились на лизиметрической станции в 2-х лизиметрических опытах на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава.

В статье приводились данные только на дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах, полученных в лизиметрическом опыте № 2. В опыте применяли как стандартные – карбамид, аммонизированный суперфосфат, калий хлористый (базовый вариант), так и комплексные удобрения с добавками кремнийсодержащих добавок (содержание кремния в удобрениях 8 %). Площадь лизиметров – 3,14 м², глубина лизиметров – 1,0–1,5 м.

Внешний вид состояния картофеля в условиях 2021 г. представлен на фото 1, а кукурузы (2022 г.) – фото 2.



Фото 1. Состояние посева картофеля на лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (13.07.2021 г.)



Фото 2. Состояние растений кукурузы на лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (19.07.2022 г.)

В лизиметрических опытах в 2021 г. был посажен картофель сорта Бриз, в 2022 г. высевали гибрид кукурузы Шавокс F1.

На лизиметрической станции имеются два осадкомера. С 1981 г. проводится систематический учет и анализ атмосферных осадков, в которых определяется содержание макро- и микроэлементов. В 2021 и 2022 гг. в атмосферных осадках дополнительно начали определять содержание массовой концентрации кремнекислоты в пересчете на кремний согласно методической документации ПНД Ф 14.1:2:4.215-06 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации кремнекислоты (в пересчете на кремний) в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом в виде желтой кремнемолибденовой кислоты» [6].

В почвенных растворах (лизаты из лизиметров) определялось содержание монокремниевых соединений (мономерно-димерных форм кремния) по методике: РД 52.24.433-2018 «Массовая концентрация кремния в водах. Методика измерений фотометрическим методом в виде желтой формы молибдокремниевой кислоты (с поправкой № 1) [7] и ПНД Ф 14.1:2:4.215-06 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации кремнекислоты (в пересчете на кремний) в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом в виде желтой кремнемолибденовой кислоты».

Содержание кремния в клубнях картофеля, зеленой массе и зерне кукурузы определено по методу Г. А. Барсуковой, представленном в учебном пособии «Агротехнические и биохимические методы исследования состояния экосистем» [8].

На лизиметрической станции ежегодно систематически проводятся наблюдения за количеством выпадающих атмосферных осадков и учет инфильтрационных вод, определяются концентрации элементов питания в почвенных растворах и атмосферных осадках, а также их содержанием в пахотном и подпахотном горизонтах исследуемых почв.

Закладка лизиметрических опытов, уход за растениями, учет инфильтрационных вод, уборка и учет урожая проводились в соответствии с общепринятыми методиками по проведению лизиметрических исследований.

Анализ лизиметрических вод и атмосферных осадков выполнялся согласно методикам О. А. Алекина, Е. В. Аринушкиной и Ю. В. Новикова и др. [9–11].

В пробах атмосферных осадков (дождевая вода, снег) и лизиметрических водах дополнительно определялись методом ионной хромотографии: pH, N-NO₂, N-NO₃, N-NH₄, PO₄, K, Na, S, Ca, Mg, F, Br, Li и микроэлементы (Cu, Mn, Zn, Co) – СТБ ГОСТ Р51309-2001.

Определение показателей почвенного плодородия проводилось согласно общепринятым методам в почвоведении и агрохимии: отбор почвенных образцах – по ГОСТ 2,483-85; pH_{KCl} – потенциометрическим методом ГОСТ 26483-85; подвижные формы фосфора и калия в 0,2 моль/л вытяжке HCl – по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91) с последующим определением фосфора на фотоэлектроколориметре, калия – на пламенном фотометре; обменные катионы Ca²⁺, Mg²⁺ – по К. К. Гедройцу (ГОСТ 26487-85); содержание гумуса – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91).

В растительных образцах (в зеленой массе и зерне кукурузы) определяли азот, фосфор, калий, кальций, магний после мокрого озоления (смесью серной кислоты и перекиси водорода) согласно следующим ГОСТ: азот – ГОСТ 13496.4-93, фосфор – ГОСТ 28902-91, калий – ГОСТ 30504-97, кальций – ГОСТ 26570-95, магний – ГОСТ 30502-97; содержание кремния в зеленой массе и зерне кукурузы проводилось фотоколориметрическим методом, сухое вещество – весовым методом (ГОСТ 27548-97); содержание нитратов – ионометрическим экспресс методом (ГОСТ 13496.19-86).

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

Результаты исследований обрабатывали статистически по Б. А. Доспехову с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на ПЭВМ [12].

Работа выполнена в рамках ГПНИ 9. Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность, подпрограмма 9.1 «Плодородие почв и защита растений», по заданию 1.2.6 «Изучение миграции и трансформации кремния в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава в системе «почва – удобрение – растение» (по данным лизиметрических исследований)».

Авторы выражают признательность сотрудникам лаборатории почвенно-агрохимических анализов РУП «Институт почвоведения и агрохимии» за определение валового содержания кремния в почвах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание водорастворимого кремния в атмосферных осадках различалось в зависимости от погодных условий, количества выпавших атмосферных осадков и по месяцам: в 2020 г. с августа по декабрь его содержание было на уровне от 0,10 до 0,61 мг/дм³, в 2021 г. с января по декабрь – от 0,14 до 0,49 мг/дм³, в январе–ноябре 2022 г. – от 0,23 до 0,44 мг/дм³ и не превышало ПДК (ПДК в воде и объектах питьевого и культурно-бытового назначения составляет 10 мг/л или 10 мг/дм³).

Основная часть соединений кремния играет роль минерального каркаса и инертна по отношению к питанию растений. Растения могут усваивать только подвижные низкомолекулярные формы кремниевые кислоты, содержание которых

в почвах не превышает 150–200 мг (SiO_2)/кг почвы и сопоставимо с наличием подвижных форм фосфора и обменного калия. Запасы усвояемых форм кремния пополняются за счет растворения и разрушения почвенных минералов в процессе выветривания и при разложении растительных остатков, откуда кремнекислота освобождается в двух формах – в виде опала, заполняющего клетки эпидермиса надземной части растений, и в виде водорастворимой кремнекислоты.

Содержание доступных подвижных (потенциальных, актуальных и активных) соединений кремния в почвах приводим за 2022 г. (весна, осень). Содержание подвижных потенциальных форм кремния определялось в вытяжке 0,1 HCl, актуальных – водная вытяжка и активных – расчетная величина.

Установлено, что содержание вышеуказанных форм кремния в почвах изменяется в зависимости от гранулометрического состава почв, по генетическим горизонтам, и времени отбора проб (весна, осень). На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве внесение кремнийсодержащих удобрений не оказывало влияния на снижение данных форм кремния в пахотном и подпахотных слоях почвы к осени (табл. 1).

Таблица 1
Содержание подвижных (потенциальных) форм кремния в дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах, 2022 г.

Варианты	Содержание подвижных форм кремния (Si), мг/кг почвы					
	Апах		\pm к	A_2B_1		\pm к
	22.03.22	27.09.22		22.03.22	22.03.22	
Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке						
Контроль без удобрений	155	148	-7	123	135	12
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ (стандартные) без кремния – базовый	113	100	-13	130	138	8
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ с кремнием (отходы ОАО «ГХЗ»)	103	113	10	118	130	12
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ с кремнием (отходы ОАО «Гранит»)	95	100	5	98	103	5
Дерново-подзолистая рыхлосупесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком						
Контроль без удобрений	160	183	23	165	138	-27
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ (стандартные) без кремния – базовый	128	85	43	145	120	-25
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ с кремнием (отходы ОАО «ГХЗ»)	115	75	-40	125	115	-10
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ с кремнием (отходы ОАО «Гранит»)	115	70	-45	133	105	-28
HCP_{05}	6,69	6,38	-	6,98	6,29	-

ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в пахотном слое в вариантах с удобрениями к осени происходит обеднение почв подвижными потенциальными формами кремния по сравнению с контролем. Но в целом, к осени как в пахотных, так и подпахотных горизонтах уменьшается содержание подвижных форм кремния (табл. 1).

Содержание доступных для растений актуальных форм кремния в пахотном слое на дерново-подзолистой легкосуглинистой, развивающейся на легком лессовидном суглинке, почве, к осени снижалось как в пахотном, так и в подпахотном слоях почвы, при внесении удобрений. Исключение составило применение удобрения, в состав которого был включен кремнийсодержащий отход ОАО «Гранит», где наблюдалось его увеличение. На рыхлосупесчаной почве наблюдалось увеличение содержания подвижного актуального кремния к осени как на контроле, где удобрения не вносились, так и в вариантах с удобрениями. В подпахотном слое почвы отмечалось преимущественное его увеличение в осенний период по сравнению с весенним (табл. 2).

Таблица 2
Содержание доступных подвижных (актуальный) форм кремния в дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах, 2022 г.

Варианты	Содержание подвижных форм кремния (Si), мг/кг почвы						
	Апаx		$\pm K$ 22.03.22	A_2B_1		$\pm K$ 22.03.22	
	22.03.22	27.09.22		22.03.22	27.09.22		
Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке							
Контроль без удобрений	2,51	2,51	0,00	3,34	3,34	0,00	
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ (стандартные) без кремния – базовый	3,34	2,51	-0,83	4,18	3,34	-0,84	
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ с кремнием (отходы ОАО «ГХЗ»)	4,18	1,67	-2,51	5,01	3,34	-1,67	
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ с кремнием (отходы ОАО «Гранит»)	5,85	9,19	3,34	3,34	5,01	1,67	
Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком							
Контроль без удобрений	7,52	9,19	1,67	2,01	5,85	3,84	
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ (стандартные) без кремния – базовый	3,34	14,20	10,86	3,34	5,01	1,67	
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ с кремнием (отходы ОАО «ГХЗ»)	3,34	9,19	5,85	4,18	5,01	0,83	
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ с кремнием (отходы ОАО «Гранит»)	2,51	10,02	7,51	5,01	5,01	0,00	
HCP ₀₅	0,265	0,581	-	0,203	0,241	-	

В пахотном слое дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы отмечалось увеличение содержания подвижного активного кремния к осени как на контроле, где удобрения не вносились, так и в вариантах с удобрениями. В подпахотном слое почвы наблюдалось преимущественное его снижение в осенний период по сравнению с весенним. На дерново-подзолистой легкосуглинистой, развивающейся на легком лессовидном суглинке, почве, содержание подвижного активного кремния как в пахотном, так и в подпахотном слое снижалось к осени при внесении удобрений. Исключение составило применение удобрения в состав которого был включен кремнийсодержащий отход ОАО «Гранит», где наблюдалось увеличение его содержания (табл. 3).

Таблица 3

Содержание доступных подвижных (активных) форм кремния в дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах, 2022 г.

Варианты	Содержание подвижных форм кремния (Si), мг/кг почвы						
	Апаx		\pm к 22.03.22	A ₂ B ₁		\pm к 22.03.22	
	22.03.22	27.09.22		22.03.22	27.09.22		
Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке							
Контроль без удобрений	180,1	172,6	-7,5	155,9	168,4	12,5	
N ₉₀₊₃₀ P ₈₅ K ₁₃₅ (стандартные) без кремния – базовый	145,9	125,1	-20,8	171,8	170,9	-0,9	
N ₉₀₊₃₀ P ₈₅ K ₁₃₅ с кремнием (отходы ОАО «ГХЗ»)	144,3	129,2	-15,1	167,6	163,4	-4,2	
N ₉₀₊₃₀ P ₈₅ K ₁₃₅ с кремнием (отходы ОАО «Гранит»)	153,5	191,9	38,4	130,9	132,6	1,7	
Дерново-подзолистая рыхлосупесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком							
Контроль без удобрений	235,2	274,4	39,2	215,1	196,0	-19,1	
N ₉₀₊₃₀ P ₈₅ K ₁₃₅ (стандартные) без кремния – базовый	160,9	227,0	66,1	178,4	170,1	-8,3	
N ₉₀₊₃₀ P ₈₅ K ₁₃₅ с кремнием (отходы ОАО «ГХЗ»)	148,4	166,9	18,5	166,8	165,1	-1,7	
N ₉₀₊₃₀ P ₈₅ K ₁₃₅ с кремнием (отходы ОАО «Гранит»)	140,1	170,2	30,1	182,6	155,1	-27,5	
HCP ₀₅	8,07	10,27	-	8,24	8,55	-	

По шкале И. В. Матыченкова, содержание подвижных форм кремния в весенний и в осенний периоды в дерново-подзолистой легкосуглинистой и рыхлосупесчаной почвах относятся по уровню дефицита кремния для растений к среднему и высокому (уровень дефицита Si в почвах «дефицит» или «высокий уровень дефицита» [13].

Содержание кремния в почвенных растворах. В почвенном растворе кремниевые соединения представлены двумя важными группами – инертными и биогеохимически активными. К последней относятся монокремниевые и поликремниевые кислоты, растворимые комплексы с неорганическими и кремнийорганическими соединениями. Они обладают наибольшей химической и биологической активностью.

Содержание монокремниевых соединений в почвенных растворах, где применяли как стандартные, так и кремнийсодержащие удобрения приведено в таблицах 4, 5.

При возделывании картофеля (2021 г.) на дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах при применении разных форм удобрений содержание мономерно-димерных форм кремния в почвенных растворах изменялось в зависимости от гранулометрического состава почв и сезона года. К концу вегетационного периода значительно уменьшалось их содержание на контрольных вариантах без внесения минеральных удобрений (табл. 4).

Таблица 4

**Содержание мономерно-димерных форм кремния (в пересчете на кремний)
в почвенных растворах (лизатах) дерново-подзолистых легкосуглинистых
и рыхлосупесчаных почвах, 2021 г.**

Тип почвы и гранулометрический состав	Содержание кремния (Si), мг/л (мг/дм ³)		
	22.03.2021	28.09.2021	± к осени
Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке			
Контроль без удобрений	7,86	5,20	-2,66
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (стандартные) без кремния – базовый	4,41	4,91	0,50
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ с кремнием (отходы ОАО «ГХЗ»)	4,19	4,20	0,01
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ с кремнием (отходы ОАО «Гранит»)	4,32	4,52	0,20
Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком			
Контроль без удобрений	1,84	1,70	-0,14
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (стандартные) без кремния – базовый	2,12	2,92	0,80
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ с кремнием (отходы ОАО «ГХЗ»)	2,00	2,29	0,29
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ с кремнием (отходы ОАО «Гранит»)	1,63	2,16	0,53
HCP ₀₅	0,29	0,31	-

В условиях 2022 г. содержание растворимых мономерно-димерных форм кремния в почвенных растворах во всех трех отборах изменилось в зависимости от типа и гранулометрического состава почв, а также вносимых удобрений. Установлено, что содержание монокремниевых соединений в почвенных растворах было более высоким в легкосуглинистых почвах и самое низкое – в рыхлосупесчаных почвах. Применение в опыте удобрений способствовало преимущественному увеличению мономерно-димерных форм кремния в лизатах к концу вегетационного периода, в то время как на контроле наблюдалось их уменьшение. Четко выраженного влияния кремнийсодержащих удобрений на содержание монокремниевых соединений в лизатах не выявлено (табл. 5).

Таблица 5

**Содержание мономерно-димерных форм кремния (в пересчете на кремний)
в почвенных растворах (лизатах) дерново-подзолистых легкосуглинистых
и рыхлосупесчаных почвах, 2022 г.**

Тип почвы и гранулометрический состав	Содержание кремния (Si), мг/л, (мг/дм ³)			
	04.01.2022	16.03.2022	19.09.2022	± к весне
Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке				
Контроль без удобрений	4,42	4,14	4,06	-0,08
N ₉₀₊₃₀ P ₈₅ K ₁₃₅ (стандартные) без кремния – базовый	3,44	4,69	4,47	-0,22
N ₉₀₊₃₀ P ₈₅ K ₁₃₅ с кремнием (отходы ОАО «ГХЗ»)	3,45	4,50	3,56	-0,94
N ₉₀₊₃₀ P ₈₅ K ₁₃₅ с кремнием (отходы ОАО «Гранит»)	4,44	4,86	5,05	0,19
Среднее	3,94	4,55	4,29	-0,26
Дерново-подзолистая рыхлосупесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком				
Контроль без удобрений	1,86	1,48	1,44	-0,04
N ₉₀₊₃₀ P ₈₅ K ₁₃₅ (стандартные) без кремния – базовый	1,77	1,85	1,91	0,06
N ₉₀₊₃₀ P ₈₅ K ₁₃₅ с кремнием (отходы ОАО «ГХЗ»)	1,79	1,44	1,70	0,26
N ₉₀₊₃₀ P ₈₅ K ₁₃₅ с кремнием (отходы ОАО «Гранит»)	1,62	1,33	1,41	0,08
Среднее	1,76	1,53	1,62	0,09
HCP ₀₅	0,255	0,286	0,218	–

Потери кремния при вымывании с лизиметрическими водами различались преимущественно в зависимости от гранулометрического состава почв. Так, наибольшими значениями потерь кремния при вымывании в 2021–2022 гг. характеризовались дерново-подзолистые легкосуглинистые почвы, где потери в контрольных вариантах составляли в зависимости от года исследований от 5,91 до 12,70 кг/га, со стандартными удобрениями – 4,04–4,72 кг/га. Вынос кремния из рыхлосупесчаной почвы составил на контроле 2,56–4,50 кг/га, со стандартными удобрениями – 1,61–1,72 кг/га. Внесение кремнийсодержащих удобрений достоверно увеличивало потери кремния из изучаемых почв, по сравнению с вариантом где применялись стандартные удобрения, в том числе на легкосуглинистых почвах в зависимости от кремнийсодержащего удобрения, до 4,45–7,62 кг/га, из рыхлосупесчаных почв – 1,84–3,33 кг/га (табл. 6).

Урожайность клубней картофеля в условиях 2021 г. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в контрольном варианте составила 331 ц/га, в варианте со стандартными удобрениями – 420, при внесении комплексного NPK удобрения с добавками отхода кремния Гомельского химического завода в дозе N₉₀P₆₈K₁₃₅ – 483, а NPK удобрения с добавками отхода кремния ОАО «Гранит» –

ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

468 ц/га. Прибавка урожайности картофеля от кремнийсодержащих соединений, включенных в состав комплексного удобрения, составила от 48 до 63 ц/га (11,4–15,0 %) по сравнению с внесением стандартных удобрений.

Таблица 6

**Вынос кремния с лизиметрическими водами на дерново-подзолистых
легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах, 2021–2022 гг.**

Варианты	Потери кремния при вымывании, кг/га	
	2021 г.	2022 г. (на 19.09.2022 г.)
Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке		
Контроль без удобрений	12,70	5,91
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ (стандартные) без кремния – базовый	4,72	4,04
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ с кремнием (отходы ОАО «ГХЗ»)	5,84	4,45
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ с кремнием, (отходы ОАО «Гранит»)	5,59	7,62
Среднее	7,21	5,51
Дерново-подзолистая рыхлосупесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком		
Контроль без удобрений	4,50	2,56
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ (стандартные) без кремния – базовый	1,72	1,61
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ с кремнием (отходы ОАО «ГХЗ»)	3,21	1,84
$N_{90+30}P_{85}K_{135}$ с кремнием (отходы ОАО «Гранит»)	3,33	2,53
Среднее	3,19	2,14
HCP_{05}	0,338	0,237

Урожайность зеленой массы кукурузы в 2022 г. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в контролльном варианте составила 338 ц/га, в варианте со стандартными удобрениями – 655, при внесении комплексного NPK удобрения с добавками отхода кремния Гомельского химического завода – 699, а NPK удобрения с добавками отхода кремния ОАО «Гранит» – 715 ц/га. Прибавка урожайности зеленой массы кукурузы от кремнийсодержащих соединений, включенных в состав комплексного удобрения на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах, составила от 44 до 60 ц/га (6,7–9,2 %) по сравнению с внесением стандартных удобрений.

Самая низкая урожайность зеленой массы кукурузы получена на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком, почве: на контроле – 204 ц/га, в вариантах с удобрениями – от 409 до 500 ц/га. При этом прибавка зеленой массы кукурузы от внесения кремнийсодержащих удобрений по сравнению со стандартными была самой высокой и составила 73–91 ц/га, или 17,8–22,2 %.

Урожайность зерна кукурузы различалась в зависимости от гранулометрического состава почв, а также применяемых удобрений и составляла в условиях 2022 г. от 76,8 до 151,0 ц/га. Применение комплексных удобрений с добавками кремнийсодержащих соединений при возделывании кукурузы на дерново-подзолистых легкосуглинистых, связно- и рыхлосупесчаных почвах обеспечило

высокую урожайность зерна кукурузы – 142,0–151,0 ц/га, с тенденцией увеличения урожайности зерна по отношению к вариантам со стандартными удобрениями на 2,3–6,9 ц/га, при НСР₀₅ = 7,39 ц/га. Исключение составил вариант с внесением комплексного удобрения с кремнийсодержащим отходом ОАО «Гранит» на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком, где было получено достоверное увеличение урожайности зерна кукурузы по отношению к стандартным удобрениям на 11,3 ц/га.

Данные по накоплению кремния основной и соответствующим количеством побочной продукции культур звена севооборота (картофель – кукуруза) представлены в таблице. 7.

Содержание кремния в клубнях картофеля (2021 г.) сорта Бриз в клубнях картофеля на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в контролльном варианте составляло 1,11 %, с удобрениями стандартными – 2,35 и с кремнийсодержащими удобрениями – 4,78–5,35 %, соответственно на рыхлосупесчаной почве – 0,89, 2,23 и 4,77–5,10 %. Это свидетельствует о том, что при внесении кремнийсодержащих удобрений доступность для растений кремния увеличивается.

Содержание кремния в ботве на первой почве, в зависимости от вариантов опыта, было в пределах от 0,57 до 3,54 %, на второй почве – от 0,16 до 2,06 и на третьей – от 0,40 до 3,17 %. При этом минимальное его значение было в контрольных вариантах и со стандартными удобрениями (базовые варианты) (табл. 7).

Содержание кремния в зерне кукурузы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве изменилось от 0,063 до 0,132 %, на рыхлосупесчаной – от 0,075 до 0,115 %. Применяемые в опыте удобрения с кремнийсодержащими отходами значительно увеличили содержание кремния в зерне кукурузы по сравнению с внесением стандартных удобрений: на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве – на 0,057–0,069 %, на рыхлосупесчаной – на 0,007–0,019 % (табл. 7).

Таблица 7
Содержание кремния в клубнях, ботве картофеля и зерне кукурузы на дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах, 2021–2022 гг.

Почвы	Содержание кремния в картофеле, % на сухое вещество		Содержание кремния в зерне кукурузы, % на сухое вещество,
	в клубнях	в ботве	
Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке			
Контроль без удобрений	1,11	0,57	0,088
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (стандартные) без кремния – базовый	2,35	0,89	0,063
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ с кремнием (отходы ОАО «ГХЗ»)	5,35	3,54	0,120
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ с кремнием (отходы ОАО «Гранит»)	4,78	2,42	0,132
Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком			
Контроль без удобрений	0,89	0,40	0,075
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (стандартные) без кремния – базовый	2,23	1,37	0,096
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ с кремнием (отходы ОАО «ГХЗ»)	5,10	3,17	0,103
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ с кремнием, (отходы ОАО «Гранит»)	4,77	2,73	0,115
HCP ₀₅	0,236	0,119	0,0069

ВЫВОДЫ

Содержание водорастворимого кремния в атмосферных осадках различается в зависимости от погодных условий, количества выпавших атмосферных осадков и месяцам: в годы исследований (2020–2022 гг.) этот показатель изменялся в пределах от 0,10 до 0,61 мг/дм³ и не превышал ПДК (ПДК в воде и объектах питьевого и культурно-бытового назначения составляет 10 мг/л или 10 мг/дм³).

Содержание подвижных соединений (потенциального, актуального и активного) кремния в дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах изменялось в зависимости от гранулометрического состава почв, по генетическим горизонтам и форм применяемых удобрений: в весенний и в осенний периоды наблюдался дефицит кремния для растений, уровень дефицита Si в почвах «дефицит» или «высокий уровень дефицита».

Содержание мономерно-димерных форм кремния (в пересчете на кремний) в почвенных растворах в вариантах с удобрениями на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах в ранневесенний период перед посадкой картофеля изменилось от 4,19 до 4,41 мг/дм³ (мг/л), перед посевом кукурузы – от 3,44 до 4,44 мг/л, соответственно на рыхлосупесчаных почвах – от 1,63 до 2,12 мг/л и от 1,62 до 1,79 мг/л, после уборки картофеля на легкосуглинистой почве – 4,20–4,91 и кукурузы – 3,56–5,05 мг/л и на рыхлосупесчаной почве – 2,16–2,92 и 1,41–1,91 мг/л.

Потери кремния при вымывании с лизиметрическими водами различались преимущественно в зависимости от гранулометрического состава почв. Так, наибольшими значениями потерь кремния при вымывании в 2021–2022 гг. характеризовались дерново-подзолистые легкосуглинистые почвы, где его потери в контрольных вариантах составляли в зависимости от года исследований от 5,91 до 12,70 кг/га, с удобрениями – от 4,04 до 7,62 кг/га. Вынос кремния из рыхлосупесчаной почвы составил на контроле 2,56–4,50 кг/га, с удобрениями – от 1,61 до 3,33 кг/га.

Применение кремнийсодержащих комплексных удобрений под картофель на дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах позволяло увеличить урожайность клубней картофеля на 48–63 ц/га по сравнению с внесением стандартных удобрений, зеленой массы кукурузы – на 44–91 ц/га, зерна кукурузы – на 2,3–11,3 ц/га соответственно.

Содержание кремния в клубнях картофеля в вариантах с удобрениями на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах изменилось в пределах от 2,35 (стандартные удобрения) до 4,78–5,35 % (кремнийсодержащие), рыхлосупесчаных – от 2,23 до 4,77–5,10%, в ботве картофеля – от 0,89 до 2,42–3,54 % и от 1,37 до 2,73–3,17 %, зерне кукурузы – от 0,063 до 0,120–0,132 и от 0,096 до 0,103–0,115 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронков, М. Г. Биохимия, фармакология и токсикология соединений кремния / М. Г. Воронков, Г. И. Зелchan, Э. Я. Лукевиц. – Рига: ЗИНАТНЕ, 1987. – 587 с.
2. Ермолаев, А. А. Кремний в сельском хозяйстве / А. А. Ермолаев. – Москва, 1992. – 253 с.
3. Куликова, А. Х. Кремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур / А. Х. Куликова, А. В. Карпов, Е. А. Яшин; Мин-во сельского хоз-ва Рос. Фед., ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ им. П. А. Столыпина». – Ульяновск, 2020. – 174 с.

4. Соколова, Т. А. Глинистые минералы в почвах / Т. А. Соколова, Т. Я. Дронова, И. И. Толпешта. – М., 2005. – 336 с.
5. Пироговская, Г. В. Поступление, потери элементов питания растений в системе «атмосферные осадки – почва – удобрение – растение» / Г. В. Пироговская. – Минск: Беларуская навука, 2018. – 227 с.
6. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации кремнекислоты (в пересчете на кремний) в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом в виде желтой кремнемолибденовой кислоты / ПНД Ф 14.1:2:4.215-06. – М., 2022. – 22 с.
7. Массовая концентрация кремния в водах. Методика измерений фотометрическим методом в виде желтой формы молибдокремниевой кислоты (с попр. № 1) / РД 52.24.433-2018. – Ростов на Дону, 2025. – 40 с.
8. Титова, В. И. Агро- и биохимические методы исследования состояния экосистем: учеб. пособие для вузов / В. И. Титова, Е. В. Дабахова, М. В. Дабахов; Нижегор. гос. с.-х акад. – Н. Новгород: изд-во ВВАГС, 2011. – 170 с.
9. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – изд. 2-е переработ. и доп. – М., МГУ, 1970. – 487 с.
10. Новиков, Ю. В. Методы исследования качества воды водоемов / Ю. В. Новиков, К. О. Ласточкина, З. Н Болдина; под ред. А. П. Шицковой. – М.: Медицина, 1990. – 339 с.
11. Алекин, О. А. Руководство по химическому анализу вод суш / О. А. Алекин, А. Д. Семенов, Б. А. Скопинцев. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 270 с.
12. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
13. Подвижные кремниевые соединения в системе почва – растение и методы их определения / И. В. Матыченков [и др.] // Вестник Московского ун-та. – Сер. 17. – Почловедение. – 2016. – № 3. – С. 37–46.

SILICON CONTENT IN ATMOSPHERIC PRECIPITATION, SOILS AND SOIL SOLUTIONS, LOSS DURING LEACHING AND CONSUMPTION BY CROPS OF THE CROP ROTATION LINK CULTIVATED ON SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY AND LOOSE SANDY SOILS OF THE REPUBLIC BELARUS

G. V. Pirogovskaya, I. E. Ermolovich, V. V. Machenkov, S. S. Khmelevsky,
A. S. Maksimchuk, V. I. Soroko,

Summary

The article presents the results of research for 2020–2021. according to the intake of silicon compounds with atmospheric precipitation, the accumulation of mobile (potential, actual and active) silicon compounds in soddy-podzolic light loamy and loose sandy soils, with which lysimeters are filled, monosilicon compounds in soil solutions, data on the yield and accumulation of silicon of the first and the second crops of the crop rotation link (potatoes, corn), depending on the forms of fertilizers used.

Поступила 09.12.22

ВЛИЯНИЕ НОВЫХ ФОРМ МАКРО-, МИКРОУДОБРЕНИЙ И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА ДИНАМИКУ РОСТА, НАКОПЛЕНИЕ СУХОГО ВЕЩЕСТВА, УРОЖАЙНОСТЬ, СОДЕРЖАНИЕ И ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ЯРОВОЙ ТРИТИКАЛЕ

А. А. Кулешова

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
г. Горки, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Энергосбережение является доминирующим критерием эффективности ведения сельскохозяйственного производства и рационального использования ресурсов, вовлечённых в него (почвенных, энергетических, финансовых, трудовых и т. д.) [1]. В настоящее время большое внимание уделяется разработке и внедрению в производство ресурсосберегающих систем удобрения сельскохозяйственных культур. Большие возможности в этом направлении представляются при использовании новых форм комплексных удобрений, содержащих макро- и микроэлементы в сбалансированных количествах.

По сравнению с простыми формами минеральных удобрений комплексные удобрения позволяют оптимизировать питание растений и снизить затраты на их применение. Использование регуляторов роста имеет актуальное и эффективное значение в связи с тем, что они повышают устойчивость растений к неблагоприятным факторам и позволяют существенно увеличить урожайность при минимальных затратах [2].

Яровая тритикале – ценная преимущественно зернофуражная культура. Среди преимуществ яровой тритикале перед другими зерновыми культурами следует отметить его высокую урожайность и кормовые достоинства. Зерно тритикале имеет высокую обеспеченность 1 к. ед. переваримым протеином, сбалансированный аминокислотный состав, повышенное содержание лизина и является хорошей основой для приготовления комбикормов. Переваримого белка в 1 кг зерна тритикале содержится 110 г, в то время как в зерне ржи – лишь 76 г, что на 26 г меньше, а в зерне ячменя – 84 г, или на 24 % меньше. Зерно яровой тритикале используется для кормления крупного рогатого скота, свиней и птицы. По сравнению с пшеницей и рожью зеленая масса тритикале характеризуется повышенным содержанием сахаров и каротиноидов, охотнее поедается скотом, чем ржаная и пшеничная. Период использования культуры на зеленую массу более длительный вследствие замедленного процесса лигнификации соломы, что благоприятно оказывается на качестве корма. Зерно яровой тритикале пригодно для производства муки, выпечки кондитерских изделий, производства крахмала. Зерно тритикале может с успехом использоваться в производстве этилового спирта, обеспечивая при этом высокий выход продукта и экономический эффект за счет сбраживания микробных ферментов [3].

Содержание микроэлементов в растениях составляет тысячные доли процента, однако значение их в питании растений велико. Недостаток или избыток в почве микроэлементов вызывает у растений значительные отклонения в росте и развитии, стимулируя их или угнетая, потому что все процессы в живом организме происходят при содействии биологически активных веществ – ферментов, витаминов, гормонов, составной частью которых являются микроэлементы. Деятельность ферментов в растениях активизируется химическими элементами корневого питания, большинство из которых является микроэлементами. Микроэлементы участвуют в окисительно-восстановительных реакциях, белковом обмене, регулируют водный режим растений. Многие исследователи сообщают о важном свойстве микроэлементов образовывать комплексы с нуклеиновыми кислотами, оказывать действие на физиологические функции рибосом, влиять на проницаемость клеточных мембран и регулировать поступление минеральных веществ в растение. Установлено также, что микроэлементы улучшают энергетическую сторону передвижения веществ и создают комплексные соединения с большим количеством органических соединений. Существенное влияние микроэлементов на физиологические процессы, повышение фотосинтеза отмечено в работах К. В. Веригиной, П. А. Власюка, Л. К. Островской, Г. Н. Попова, Б. В. Егорова и других авторов [4, 5, 6, 7].

В РУП «Институт почвоведения и агрохимии» разработаны жидкие формы микроудобрений с биостимулятором МикроСтим. В результате представлен широкий спектр микроудобрений МикроСтим различных марок с содержанием регулятора роста гидрогумат и одного из микроэлементов (бор, медь, марганец, цинк, кобальт), или их комбинации.

Цель данных исследований – изучить влияние комплексных удобрений для досовесного внесения и некорневых подкормок микроудобрениями в хелатной форме, регуляторами роста и комплексными микроудобрениями с регуляторами роста на динамику роста, накопление сухого вещества, урожайность и содержание основных элементов питания в зерне и соломе, общий и удельный вынос макроэлементов растениями яровой тритикале.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевой опыт со среднеспелым сортом яровой тритикале Садко проводили в 2018–2020 гг. в УНЦ «Опытные поля УО БГСХА» на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины 1 м моренным суглинком. Общая площадь делянки – 21 м², учетная – 16,5 м², повторность – четырехкратная.

Почва имеет следующие агрохимические показатели: низкое и среднее содержание гумуса, слабокислую и близкую к нейтральной реакцию почвенной среды, повышенное содержание подвижного фосфора, среднюю и повышенную обеспеченность подвижным калием, низкое и среднее содержание подвижной меди, низкое и среднее содержание подвижного цинка, среднее и высокое содержание подвижного марганца (табл. 1). Норма высева – 5,5 млн всхожих семян. Посев в 2018–2020 гг. производился в III декаде апреля – I декаде мая. Предшественники – горох и подсолнечник. В период вегетации проводились фенологические наблюдения за растениями, обработки гербицидами, фунгицидами и инсектицидами.

Таблица 1

Агрохимические показатели пахотного горизонта опытного участка

Год исследования	рН	P_2O_5	K_2O	Cu	Zn	Mn	Гумус, %
		мг/кг почвы					
2018	5,58	224	228	1,74	3,20	397,0	1,5
2019	6,08	244	174	1,46	2,75	348,5	1,6
2020	5,91	208	231	1,76	3,43	227,1	1,6

В исследованиях изучали следующие удобрения:

- карбамид ($N - 46\%$), аммонизированный суперфосфат ($N - 9\%$, $P_2O_5 - 30\%$), хлористый калий ($K_2O - 60\%$);
- польское микроудобрение Адоб Медь (Cu – 6,14 %, N – 2,6 %);
- новое комплексное удобрение марки 16-12-20 с 0,20 % Cu и 0,10 % Mn для основного внесения, разработанное РУП «Институт почвоведения и агрохимии»;
- израильское удобрение для некорневых подкормок Нутривант плюс ($N - 6\%$, $P_2O_5 - 23\%$, $K_2O - 35\%$, MgO – 1 %, S – 1,5 %, B – 0,1 %, Zn – 0,2 %, Cu – 0,25 %, Fe – 0,05 %, Mo – 0,002 %);
- удобрения, произведенные в Нидерландах – Кристалон особый ($N - 18\%$, $P_2O_5 - 18\%$, $K_2O - 18\%$, MgO – 3 %, S – 2 %) и коричневый ($N - 3\%$, $P_2O_5 - 11\%$, $K_2O - 38\%$, MgO – 4 %, S – 11 %);
- польское комплексное удобрение Адоб Профит ($N - 10\%$, $P_2O_5 - 40\%$, $K_2O - 8\%$, MgO – 3 %, S – 2,3 %, B – 0,05 %, Mn – 0,1 %, Zn – 0,1 %, Cu – 0,1 %, Mo – 0,01 %, Fe – 0,05 %);
- белорусское микроудобрение с регулятором роста МикроСтим-Медь Л ($N - 65\text{ г/л}$; Cu – 78 г/л; гуминовые вещества – 0,6–5,0 г/л);
- регулятор роста Экосил (50 г/л тритерпеновых кислот).

Карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий вносили до посева под культивацию.

Новое комплексное удобрение (АФК) марки 16-12-20 с 0,20 % Cu и 0,10 % Mn вносили до посева в дозе, эквивалентной по NPK варианту 3 ($N_{60}P_{60}K_{90}$), где применяли карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий. Микроудобрение Адоб Медь и комплексное микроудобрение с регулятором роста МикроСтим-Медь Л применяли в фазу начала выхода в трубку в дозе 0,8 л/га и 0,7 л/га соответственно. Комплексным удобрением Нутривант плюс проводили 2 подкормки в дозе 2 кг/га в фазу кущения и фазу начала выхода в трубку. Удобрение Кристалон особый в дозе 2 кг/га вносили в фазу кущения, Кристалон коричневый, 2 кг/га – в фазу начала выхода в трубку. Комплексное удобрение Адоб Профит также вносили дважды в фазу кущения и начала выхода в трубку по 2 кг/га. Обработку посевов регулятором роста Экосил, 75 мл/га проводили в фазу начала выхода в трубку.

Азотная подкормка яровой тритикале проводилась в фазу начала выхода в трубку и фазу флагового листа.

Система защиты посевов яровой тритикале от вредителей, болезней и сорняков включала в себя следующие мероприятия:

- в 2018 г. проводили обработку гербицидом Триммер, 20 г/га в фазу

2-3 настоящих листа, в фазу колошения – инсектицидом Фаскорд, 0,15 л/га, фунгицидом Колосаль Про, 0,4 л/га;

– в 2019 г. в фазу 2-3 настоящих листа проводили обработку гербицидом Септатор Турбо, 50 мл/га, в фазу кущения – фунгицидом Рекс Дуо, 0,6 л/га, в фазу колошения – инсектицидом Фаскорд, 0,15 л/га;

– в 2020 г. в фазу 2-3 настоящих листа проводили обработку гербицидом Септатор Турбо, 50 мл/га, в фазу выхода в трубку – инсектицидом Фаскорд, 0,1 л/га и фунгицидом Импакт, 0,5 л/га.

Определение биометрических показателей (линейный рост, накопление сухого вещества) проводилось после наступления фаз развития растений через 14 дней после проведения некорневых подкормок.

Уборку и учет урожая проводили селекционным комбайном «Wintersteiger Delta» сплошным поделяночным методом.

Статистическая обработка полученных данных проводилась по методикам Б. А. Доспехова и М. Ф. Дембицкого [8, 9].

За период проведения исследований погодные условия для выращивания яровой тритикале были различны и отличались как температурой, так и количеством выпавших осадков. Вегетационный период 2018 г. по гидротермическим условиям характеризовался как избыточно увлажненный (ГТК – 1,5). В апреле 2018 г. было тепло и влажно, посев был произведен в более поздний срок, чем рекомендуется для северо-восточной части Беларуси (3,05). В мае условия увлажнения были удовлетворительными. Был небольшой недостаток влаги в начале июня, а в июле наблюдался ее избыток. В следствие чего за 3 года исследований в 2018 г. была получена наименьшая урожайность яровой тритикале по сравнению с 2019–2020 гг.

Гидротермические условия 2019 г. были более оптимальными для роста яровой тритикале (ГТК – 1,1). В 2019 г. в мае, июне и августе было тепло и умеренно влажно, а в июле выпало большое количество осадков (153 % от нормы).

Погодные условия вегетационного периода 2020 г. характеризовались избыточным количеством влаги (ГТК – 2,0). В 2020 г. апрель был прохладным, май и июнь были теплыми с количеством осадком выше нормы (144 и 160 % к норме), июль и август также были теплыми, но без избытка влаги.

В целом для роста и развития яровых зерновых культур погодные условия были достаточно благоприятными.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В исследованиях изучали различные препараты для некорневой подкормки яровой тритикале, которые влияли на линейный рост и накопление сухого вещества растениями яровой тритикале.

Интенсивность линейного роста и высоту растений можно отнести к морфологическим показателям, от которых в значительной степени зависит величина урожая зерна, а также его качество.

Во все фазы развития растений яровой тритикале минимальная высота растений отмечена в контролльном варианте (табл. 2).

В фазу кущения при внесении минеральных удобрений в дозах N₆₀P₆₀K₉₀ и N₆₀₊₃₀P₆₀K₉₀ высота растений тритикале возросла на 7,7 и 9,1 см. Применение комплексного удобрения АФК с Cu и Mn по сравнению с вариантом, где вносили

минеральные удобрения в эквивалентной дозе $N_{60+30}P_{60}K_{90}$, увеличило высоту растений тритикале на 1,4 см. В варианте 11, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений ($N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$), по сравнению с контрольным вариантом высота растений возросла на 11,6 см.

В фазу выхода в трубку при внесении минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ высота растений тритикале возросла на 11,2 и 15,4 см. При внесении Адоб Медь по сравнению с $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ высота растений увеличилась в малой степени. Внесение МикроСтим-Медь Л и комплексных удобрений и регулятора роста (Нутривант плюс, Кристалон, Адоб Профит, Экосил) на том же фоне увеличило высоту растений на 2,0–5,1 см. Применение комплексного удобрения АФК с Cu и Mn по сравнению с вариантом, где вносили минеральные удобрения в эквивалентной дозе $N_{60+30}P_{60}K_{90}$, увеличило высоту растений тритикале на 5,6 см. В варианте 11, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений ($N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$), по сравнению с контрольным вариантом высота растений возросла на 21,3 см. Высота растений в вариантах с применением МикроСтим-Медь Л и Нутривант плюс на фоне повышенных доз минеральных удобрений ($N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$) возросла несущественно.

В фазу колошения при внесении минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ высота растений тритикале возросла на 7,4 и 16,3 см. При внесении Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л по сравнению с $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ высота растений не изменилась и изменилась незначительно. При внесении комплексных удобрений и регулятора роста на том же фоне высота растений увеличилась на 1,4–2,5 см. Применение комплексного удобрения АФК с Cu и Mn по сравнению с вариантом, где вносили минеральные удобрения в эквивалентной дозе ($N_{60+30}P_{60}K_{90}$), увеличило высоту растений яровой тритикале на 2,6 см. В варианте 11, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений, по сравнению с контрольным вариантом высота растений возросла на 20,6 см. Высота растений в вариантах с применением МикроСтим-Медь Л и Нутривант плюс на фоне повышенных доз минеральных удобрений ($N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$) возросла несущественно.

В фазу молочно-восковой спелости при внесении минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ высота растений яровой тритикале возросла на 10,3 и 11,7 см. При внесении Адоб Медь по сравнению с фоном ($N_{60+30}P_{60}K_{90}$) высота растений возросла незначительно. При внесении комплексных удобрений на том же фоне высота растений увеличилась на 3,1–4,3 см. Регулятор роста Экосил по сравнению с фоном $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ повлиял на рост растений яровой тритикале несущественно. Применение комплексного удобрения АФК с Cu и Mn по сравнению с вариантом, где вносили минеральные удобрения в эквивалентной дозе ($N_{60+30}P_{60}K_{90}$), увеличило высоту растений яровой тритикале на 4,5 см. В варианте 11, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$, по сравнению с контрольным вариантом высота растений возросла на 17,7 см. Применение МикроСтим-Медь Л на фоне повышенных доз минеральных удобрений ($N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$) почти не повлияло на высоту растений тритикале, а Нутривант плюс способствовал увеличению высоты растений на 1,5 см.

Исследования показали, что применение макро-, микроудобрений и регуляторов роста способствует значительному накоплению сухого вещества в растениях, что в свою очередь положительно влияет на формирование урожая.

Таблица 2
Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на линейный рост растений яровой тритикале сорта Садко

Варианты	Высота растений, см			
	кущение	выход в трубку	колошение	молочно-восковая спелость
1. Контроль (без удобрений)	30,8	52,1	85,3	102,3
2. $N_{60}P_{60}K_{90}$	38,5	63,3	92,7	112,6
3. $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ – фон 1	39,9	67,5	101,6	114,0
4. Фон 1 + Адобр Медь 0,8 л/га	39,5	67,9	101,6	114,8
5. Фон 1 + Микростим-Медь Л, 0,7 л/га	39,4	69,5	102,7	117,3
6. Фон 1 + Нутривант плюс, 2 + 2 кг/га	40,1	71,4	103,8	118,3
7. Фон 1 + Кристалон особый, 2 кг/га + Кристалон коричневый, 2 кг/га	40,1	71,1	103,4	117,1
8. Фон 1 + Адобр Профит, 2 кг/га	40,4	72,6	104,1	117,8
9. Фон 1 + Экосил, 75 мл/га	39,3	72,1	103,0	115,0
10. АФК с Cu, Mn + N ₃₀	41,3	73,1	104,2	118,5
11. $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ – фон 2	42,4	73,4	105,9	120,0
12. Фон 2 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	42,5	74,3	106,2	120,7
13. Фон 2 + Нутривант плюс, 2 + 2 кг/га	42,7	74,6	106,7	121,5
HCP ₀₅	1,0	1,4	1,2	1,4

В все фазы развития растений яровой тритикале минимальное накопление сухого вещества отмечается в контрольном варианте (табл. 3).

В фазу кущения при внесении минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ масса сухого вещества растений яровой тритикале возросла на 62,3 и 63,2 г/100 растений. Применение комплексного удобрения АФК с Cu и Mn по сравнению с вариантом, где вносили минеральные удобрения в эквивалентной дозе $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ почти не повлияло на массу сухого вещества. В варианте 11, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений ($N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$), по сравнению с контрольным вариантом масса растений возросла на 80,6 г/100 растений.

В фазу выхода в трубку масса сухого вещества растений яровой тритикале колебалась от 302,7 до 498,9 г/100 растений. При внесении минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ масса сухого вещества по сравнению с контролем возросла на 145,7 и 156,1 г/100 растений. При внесении Адобр Медь сухое вещество по сравнению с фоном $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ возросло несущественно. При внесении МикроСтим-Медь Л, Нутривант плюс, Кристалон и Адобр Профит масса сухого вещества возросла на 5,4–22,0 г/100 растений. При внесении регулятора роста Экосил масса сухого вещества возросла в малой степени. Применение комплексного удобрения АФК с Cu и Mn по сравнению с вариантом, где вносили минеральные удобрения в эквивалентной дозе ($N_{60+30}P_{60}K_{90}$), увеличило массу сухого вещества на 17,7 г/100 растений. В варианте 11, где вносили повышенные

дозы минеральных удобрений, по сравнению с контрольным вариантом, сухое вещество по сравнению с контролем возросло на 182,3 г/100 растений. Наибольший вес отмечен в вариантах с применением МикроСтим-Медь Л и Нутривант плюс на фоне повышенных доз минеральных удобрений ($N_{60+30}P_{70}K_{120}$) и составил 494,7 и 498,9 г/100 растений.

Таблица 3

Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на динамику накопления сухого вещества яровой тритикале сорта Садко (вес 100 сухих растений)

Варианты	Фазы развития растений			
	кущение	выход в трубку	колошение	молочно-восковая спелость
1. Контроль (без удобрений)	79,2	302,7	402,9	692,4
2. $N_{60}P_{60}K_{90}$	141,5	448,4	637,4	972,7
3. $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ – фон 1	142,4	458,8	646,9	1071,0
4. Фон 1 + Адоб Медь 0,8 л/га	141,3	458,4	662,6	1082,9
5. Фон 1 + Микростим-Медь Л, 0,7 л/га	143,8	464,5	669,5	1089,6
6. Фон 1 + Нутривант плюс, 2 + 2 кг/га	147,4	476,6	676,2	1096,8
7. Фон 1 + Кристалон особый, 2 кг/га + Кристалон коричневый, 2 кг/га	147,7	464,2	662,9	1079,2
8. Фон 1 + Адоб Профит, 2 кг/га	147,2	480,8	682,0	1100,5
9. Фон 1 + Экосил, 75 мл/га	141,3	463,0	659,7	1073,2
10. АФК с Cu, Mn + N_{30}	142,6	476,5	665,2	1105,0
11. $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ – фон 2	159,8	485,0	679,8	1105,4
12. Фон 2 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	164,0	494,7	681,8	1118,2
13. Фон 2 + Нутривант плюс, 2 + 2 кг/га	164,4	498,9	684,6	1125,5
HCP ₀₅	5,5	5,3	4,7	6,6

В фазу колошения при внесении минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ масса сухого вещества по сравнению с контролем возросла на 234,5 и 244,0 г/100 растений. При внесении Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л масса растений яровой тритикале по сравнению с контролем возросла на 15,7 и 22,6 г/100 растений.

Внесение комплексных удобрений и регулятора роста (Нутривант плюс, Кристалон, Адоб Профит, Экосил) способствовало увеличению массы сухого вещества на 12,8–35,1 г/100 растений. Применение комплексного удобрения АФК с Cu и Mn по сравнению с вариантом, где вносили минеральные удобрения в эквивалентной дозе $N_{60+30}P_{60}K_{90}$, увеличило массу сухого вещества на

18,3 г/100 растений. В варианте 11, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений, по сравнению с контрольным вариантом, сухое вещество яровой тритикале по сравнению с контролем возросло на 276,9 г/100 растений. Масса растений в варианте с применением МикроСтим-Медь Л на фоне повышенных доз минеральных удобрений ($N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$) возросла несущественно. При применении Нутривант плюс на том же фоне масса растений увеличилась на 4,8 г/100 растений.

В фазу молочно-восковой спелости масса растений по вариантам опыта колебалась от 692,4 до 1125,5 г/100 растений. В вариантах, где вносили минеральные удобрения в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{60+30}P_{60}K_{90}$, по сравнению с контролем, масса сухого вещества увеличилась на 280,3-378,6 г/100 растений. При внесении комплексных удобрений Нутривант плюс, Кристалон и Адоб Профит по сравнению с фоном $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ масса сухих растений возросла на 8,2-29,5 г/100 растений. При внесении микроудобрений МикроСтим-Медь Л и Адоб Медь по сравнению с тем же фоном масса растений увеличилась на 11,9-18,6 г/100 растений. Применение регулятора роста Экосил влияло на массу сухого вещества незначительно. Внесение комплексного удобрения (АФК) с Cu и Mn по сравнению с эквивалентной дозой $N_{60+30}P_{60}K_{90}$, способствовало увеличению массы сухого вещества растений яровой тритикале на 34,4 г/100 растений.

В варианте, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$, по сравнению с контрольным вариантом, масса сухого вещества возросла на 413,0 г/100 растений. В вариантах, где применяли МикроСтим-Медь Л и Нутривант плюс по сравнению с фоном $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$, масса сухого вещества в фазе молочно-восковой спелости возросла на 12,8-20,1 г/100 растений соответственно. В данном варианте отмечена максимальная масса сухих растений, что способствовало получению более высокой урожайности зерна яровой тритикале.

В исследованиях также изучали влияние различных форм макро-, микроудобрений и регуляторов роста на накопление основных элементов питания в урожае яровой тритикале.

Содержание азота в зерне яровой тритикале было практически стабильным и значительно не возрастало по вариантам опыта (табл. 4). Содержание фосфора также практически не возрастало по вариантам опыта, кроме вариантов, где применялись МикроСтим-Медь Л на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ и Нутривант плюс на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ (на 0,03 и 0,03 %). Содержание калия в зерне было достоверно выше в вариантах, где применялся Нутривант плюс на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ (на 0,04 %), а также МикроСтим-Медь Л и Нутривант плюс на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ (на 0,18 и 0,11%), где оно и было максимальным.

В соломе яровой тритикале наиболее высоким содержание азота было в варианте $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ и Экосил на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ (0,46 и 0,48 %).

Содержание фосфора в соломе яровой тритикале колебалось в пределах 0,29-0,37 %. Максимальное содержание отмечено в вариантах $N_{60}P_{60}K_{90}$ (0,37%) и Нутривант на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ (0,36 %).

Содержание калия в соломе яровой тритикале колебалось от 1,25 до 1,55 % по вариантам опыта. Содержание калия значительно увеличилось в вариантах, где применялись Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л (на 0,18-0,22 %), Нутривант Плюс, Кристалон, Адоб Профит (на 0,22-0,30 %), а также регулятор роста Экосил (на 0,18 %) на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$.

Таблица 4

Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на содержание основных элементов питания в зерне и соломе яровой тритикале сорта Садко в среднем за 2018–2020 гг.

Варианты	Зерно, % в сухом веществе			Солома, % в сухом веществе		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Контроль (без удобрений)	1,81	0,95	0,54	0,44	0,37	1,41
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	1,86	0,97	0,55	0,34	0,31	1,46
3. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₉₀ – фон 1	1,93	0,96	0,54	0,46	0,37	1,25
4. Фон 1 + Адобр Медь 0,8 л/га	1,83	0,96	0,52	0,39	0,35	1,47
5. Фон 1 + Микростим-Медь Л, 0,7 л/га	1,87	0,99	0,54	0,41	0,34	1,43
6. Фон 1 + Нутривант плюс, 2 + 2 кг/га	1,89	0,96	0,58	0,34	0,29	1,49
7. Фон 1 + Кристалон особый, 2 кг/га + Кристалон коричневый, 2 кг/га	1,84	0,98	0,56	0,33	0,35	1,47
8. Фон 1 + Адобр Профит, 2 кг/га	1,80	0,97	0,55	0,39	0,33	1,55
9. Фон 1 + Экосил, 75 мл/га	1,93	0,97	0,54	0,48	0,38	1,43
10. АФК с Cu, Mn + N ₃₀	1,90	0,97	0,55	0,32	0,30	1,27
11. N ₆₀₊₃₀₊₃₀ P ₇₀ K ₁₂₀ – фон 2	1,90	0,96	0,55	0,32	0,31	1,49
12. Фон 2 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	1,79	0,96	0,73	0,41	0,33	1,52
13. Фон 2 + Нутривант плюс, 2 кг/га	1,90	0,99	0,66	0,39	0,36	1,38
HCP ₀₅	0,15	0,02	0,03	0,02	0,03	0,17

Для определения нуждаемости растений в элементах питания определялся вынос элементов питания (табл. 5). Как показали исследования, на уровень данного показателя оказывали влияние урожайность тритикале и содержание элементов питания в основной и побочной продукции.

Урожайность зерна в среднем за 3 года колебалась от 33,8 ц/га до 52,1 ц/га (табл. 5). Применение комплексного АФК удобрения с Cu и Mn повышало урожайность зерна по сравнению с вариантом, где вносили минеральные удобрения в эквивалентной дозе (N₆₀₊₃₀P₆₀K₉₀) на 7,2 ц/га. Максимальная урожайность была получена в вариантах, где применялся МикроСтим Медь Л и Нутривант плюс на фоне N₆₀₊₃₀₊₃₀P₇₀K₁₂₀ и составила 51,6 и 52,1 ц/га. В этих же вариантах был отмечен и наибольший общий вынос основных элементов питания.

Общий вынос элементов питания в варианте без удобрений составил: по азоту – 70,9, по фосфору – 42,4, калию – 74,6 кг/га (табл. 5). На фоне минерального питания и некорневых подкормок значения общего и удельного выноса элементов питания возрастили. Наибольший общий вынос был отмечен в варианте N₆₀₊₃₀₊₃₀P₇₀K₁₂₀ + Нутривант плюс – 109,7 кг/га по азоту, 66,2 кг/га по фосфору и 117,4 кг/га по калию.

Таблица 5

Урожайность зерна, общий и удельный вынос элементов питания яровой тритикале сорта Садко в зависимости от применения комплексных удобрений, микроудобрений и регуляторов роста в среднем за 2018–2020 гг.

Варианты	Урожайность зерна, ц/га	Общий вынос, кг/га			Удельный вынос 1 т основной и побочной продукции, кг		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Контроль (без удобрений)	33,8	70,9	42,4	74,6	21,1	12,9	22,4
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	39,4	80,1	47,6	89,5	20,3	12,2	23,1
3. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₉₀ – фон 1	41,6	93,4	52,8	81,2	22,4	12,9	20,4
4. Фон 1 + Адоб Медь 0,8 л/га	45,2	92,6	55,9	100,9	20,6	12,6	23,0
5. Фон 1 + Микростим-Медь Л, 0,7 л/га	46,4	98,1	58,2	101,3	21,3	12,8	22,7
6. Фон 1 + Нутривант плюс, 2 кг/га	47,2	96,2	55,5	106,6	20,5	12,0	23,7
7. Фон 1 + Кристалон особый, 2 кг/га + Кристалон коричневый, 2 кг/га	45,8	91,8	57,7	104,4	20,0	12,8	23,4
8. Фон 1 + Адоб Профит, 2 кг/га	46,3	94,2	57,2	107,1	20,4	12,6	24,2
9. Фон 1 + Экосил, 75 мл/га	44,8	101,3	58,1	97,8	22,6	13,1	22,7
10. АФК с Cu, Mn + N ₃₀	48,8	99,1	58,2	98,4	20,4	12,1	20,8
11. N ₆₀₊₃₀₊₃₀ P ₇₀ K ₁₂₀ – фон 2	46,1	93,7	55,4	107,2	20,4	12,1	23,6
12. Фон 2 + Микростим-Медь Л, 0,7 л/га	51,6	104,8	62,5	128,7	20,6	12,3	25,5
13. Фон 2 + Нутривант плюс, 2 + 2 кг/га	52,1	109,7	66,2	117,4	21,2	13,0	23,0
HCP ₀₅	0,9	–	–	–	–	–	–

В вариантах, где применяли минеральные удобрения в дозах N₆₀P₆₀K₉₀, N₆₀₊₃₀P₆₀K₉₀, по сравнению с контрольным, общий вынос по азоту увеличился на 9,2–22,5 кг/га, по фосфору – на 5,2–10,4 кг/га, по калию на – 6,6–14,9 кг/га.

Под влиянием микроудобрений Адоб Медь и Микростим-Медь Л на фоне N₆₀₊₃₀P₆₀K₉₀ общий вынос по азоту возрос на 4,7 кг/га, по фосфору – на 3,1–5,4 кг/га, по калию на – 19,7–20,1 кг/га.

Применение ряда комплексных удобрений (Нутривант плюс, Кристалон и Адоб Профит) по сравнению с фоном N₆₀₊₃₀P₆₀K₉₀ повысило общий вынос по азоту на 0,8–2,8 кг/га, по фосфору – на 2,7–4,9 кг/га, по калию – на 23,2–25,9 кг/га.

При применении регулятора роста Экосил на фоне N₆₀₊₃₀P₆₀K₉₀ общий вынос возрос на 7,9 кг/га по азоту, на 5,3 кг/га по фосфору, на 16,6 кг/га по калию.

При внесении нового комплексного удобрения для яровых зерновых культур (NPK) марки 16-12-20 с 0,20 % Cu и 0,10 % Mn по сравнению со стандартными удобрениями в дозе N₆₀₊₃₀P₆₀K₉₀ общий вынос увеличился на 5,7 кг/га по азоту, 5,4 кг/га по фосфору, 17,2 кг/га по калию.

Увеличение доз азотных удобрений ($N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$) способствовало росту общего выноса, который по сравнению с контролем возрос на 22,8 кг/га по азоту, 13 кг/га по фосфору, 32,6 кг/га по калию. По сравнению с фоном 1 ($N_{60+30}P_{60}K_{90}$) в данном варианте общий вынос по азоту возрос на 0,3 кг/га, по фосфору – на 2,6 кг/га, по калию – на 26,0 кг/га.

При применении микроудобрения МикроСтим-Медь Л на фоне повышенных доз минеральных удобрений общий вынос возрос на 11,1 кг/га по азоту, на 7,1 кг/га по фосфору, 21,5 кг/га по калию.

При некорневой подкормке удобрением Нутривант плюс по сравнению с фоном $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ общий вынос по азоту увеличился на 16 кг/га, 10,8 кг/га по фосфору, на 10,2 кг/га по калию.

В контрольном варианте удельный вынос азота, фосфора и калия 1 т основной и побочной продукцией составил 21,1, 12,9 и 22,4 кг соответственно (табл. 5). При внесении минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$ происходило снижение удельного выноса по азоту на 0,8 кг/т, фосфора – на 0,7 кг/т, повышение по калию – на 0,7 кг/т. При внесении минеральных удобрений в дозе $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ происходило повышение удельного выноса азота на 1,3 кг/т, фосфора – не изменилось, а калия снизилось на 2,0 кг/т. Комплексные удобрения и микроудобрение с регулятором роста (Адоб Медь, МикроСтим-Медь Л, Нутривант плюс, Кристалон, Адоб Профит) на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ и $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$, а также регулятор роста Экосил на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ влияния на удельный вынос азота и фосфора почти не оказывали. Внесение вышеперечисленных микро- и комплексных удобрений, а также регулятора роста оказало влияние только на удельный вынос калия, который по сравнению с фоном $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ увеличился на 2,3–3,8 кг.

Комплексное удобрение NPK с Cu и Mn существенно не влияло на удельный вынос азота фосфора и калия по сравнению со стандартными удобрениями в дозе, эквивалентной $N_{60+30}P_{60}K_{90}$.

Повышенные дозы минеральных удобрений ($N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$) по сравнению с контролем способствовали росту удельного выноса основной и побочной продукции на 1,2 кг/т по калию.

При применении микроудобрения МикроСтим-Медь Л на фоне повышенных доз минеральных удобрений ($N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$) удельный вынос существенно не изменился.

При некорневой подкормке удобрением Нутривант плюс по сравнению с фоном $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ удельный вынос по азоту увеличился незначительно: на 0,6 кг/га по азоту, на 0,7 кг/га по фосфору, по калию не изменился.

Максимальный удельный вынос по азоту был отмечен в варианте $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ и Экосил на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ (22,4 и 22,6 кг/т), по фосфору Экосил – на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ и Нутривант плюс – на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ (13,1 и 13,0 кг/т), по калию Адоб Профит – на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ и МикроСтим Медь Л – на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ (24,2 и 25,5 кг/т).

ВЫВОДЫ

1. Применение макро-, микроудобрений и регуляторов роста положительно повлияло на линейный рост и динамику накопления сухого вещества у растений яровой тритикале, возделываемой на дерново-подзолистой легкосуглинистой

почве. Максимальная высота растений (121,5 см) в фазу молочно-восковой спелости отмечена в варианте Нутривант плюс на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$. Наибольшие значения сухого вещества (1118,2 и 1125,5 г) отмечены в вариантах МикроСтим-Медь Л и Нутривант плюс на том же фоне.

2. Максимальная урожайность зерна яровой тритикале была получена в вариантах, где применялся МикроСтим-Медь Л и Нутривант плюс на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ и составила 51,6 и 52,1 ц/га.

3. Максимальное содержание фосфора в зерне было в вариантах, где применялись МикроСтим-Медь Л на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ (0,99 %) и Нутривант плюс – на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ (0,99 %). Содержание калия в зерне яровой тритикале было выше в варианте МикроСтим-Медь Л на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ (0,73 %) и Нутривант плюс – на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ (0,66 %). В соломе наиболее высоким содержание фосфора отмечено в варианте Нутривант на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ (0,36 %). Наибольшее содержание калия в соломе было в варианте Адоб Профит на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ (1,55 %).

4. Общий вынос элементов питания растениями яровой тритикале возрастил при применении макро- и микроудобрений. Наибольший вынос отмечен в вариантах МикроСтим Медь Л и Нутривант $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ – 104,8 и 109,7 кг/га по азоту, 62,5 и 66,2 кг/га по фосфору и 128,7 и 117,4 кг/га по калию.

5. В среднем за 3 года исследований значения удельного выноса в зависимости от доз макро- и микроудобрений изменились по азоту от 20,0 до 22,6 кг/т, по фосфору – от 12,0 до 13,1 кг/т, по калию – от 20,4 до 25,5 кг/т.

6. Максимальный удельный вынос по азоту был отмечен в варианте $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ и Экосил на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ (22,4 и 22,6 кг/т), по фосфору Экосил – на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ и Нутривант плюс – на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ (13,1 и 13,0 кг/т), по калию Адоб Профит – на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ и МикроСтим Медь Л – на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ (24,2 и 25,5 кг/т).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергосберегающие технологии возделывания зерновых культур в Республике Беларусь: пособие / И. Н. Шило [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2008, – 160 с.
2. Кремененко, А. С. Обзор применения регуляторов роста для повышения урожайности гибридов кукурузы / А. С. Кремененко // Молодой ученик. – 2018. – № 22(208). – С. 97–101. – URL: <https://moluch.ru/archive/208/51124/> (дата обращения: 13.11.2022).
3. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур: учебно-методическое пособие / И. Р. Вильдфлущ [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша, П. А. Саскевича. – Горки: БГСХА, 2016. – 383 с.
4. Мастеров, А. С. Применение регуляторов роста, микроудобрений и микробиологических препаратов на сельскохозяйственных культурах / А. С. Мастеров. – Горки: БГСХА, 2019. – 264 с.
5. Веригина, К. В. Роль микроэлементов в жизни растений и их содержание в почвах и породах / К. В. Веригина // Микроэлементы в некоторых почвах СССР. – Москва, 1964. – С. 5–26.
6. Власюк, П. А. Значение цинка в регуляции ростовых процессов у растений / П. А. Власюк // Микроэлементы в обмене веществ растений. – Киев, 1976. – С. 126–150.

7. Островская, Л. К. Металлоорганические комплексы и фотосинтез / Л. К. Островская. – Рига: Зинатне, 1976. – 170 с.
8. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
9. Дзямбіцкі, М. Ф. Асаблівасці дысперсійнага аналізу вынікау шматгадовага палявога доследу / М. Ф. Дзямбіцкі // Весці Акадэміі аграрных науку Беларусі. – 1994. – № 3 – С. 60–64.

INFLUENCE OF NEW FORMS OF MACRO-, MICRO-FERTILIZERS AND GROWTH REGULATORS ON GROWTH DYNAMICS, ACCUMULATION OF DRY MATTER, YIELD, CONTENT AND REMOVAL OF SPRING TRITICALE NUTRITION ELEMENTS

A. A. Kuleshova

Summary

The article presents the effect of complex fertilizers, micro fertilizers, growth regulators and complex micro fertilizers with growth regulators on growth dynamics, biomass accumulation, yield, content and removal of elements of spring triticale has been established. The use of a new complex fertilizer for spring cereals (NPK) grade 16-12-20 with 0,20 % Cu and 0,10 % Mn compared to the variant where carbamide, ammoniated superphosphate and potassium chloride were used in an equivalent dose ($N_{60+30}P_{60}K_{90}$), increased the yield of triticale by 7,2 c/ha.

The maximum yield of spring triticale grain (51,6 and 52,1 c/ha) was obtained in variants where a microtim was used MicroStim-Copper L and Nutrivant Plus against the background of $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$

Поступила 23.11.22

СКРИНИНГ АЗОТФИКСИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ ПО СПОСОБНОСТИ МЕТАБОЛИЗИРОВАТЬ ГЕРБИЦИД ГЛИФОСАТ КАК ИСТОЧНИК ФОСФОРА

Н. А. Михайловская, Т. Б. Баращенко, Т. В. Погирницкая, С. В. Дюсова

Институт почвоведения и агрохимии,
Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Глифосат (N-фосфонометилглицин) является активным ингредиентом целого ряда гербицидов под разными коммерческими названиями. Это единственный гербицид, который ингибирует клеточный биосинтез ароматических аминокислот (тироzin, триптофан, фенилаланин) по шикиматному пути [1].

Широкое применение глифосата обусловлено его высокой эффективностью, относительно невысокой стоимостью и созданием устойчивых к этому гербициду трансгенных сортов важнейших сельскохозяйственных культур [2–4]. Глифосат (ГФ) может накапливаться и длительно сохраняться в почве вследствие взаимодействия с ее компонентами [6]. За последние десятилетия опубликовано множество научных данных, свидетельствующих о практически повсеместном присутствии глифосата и его первичного метаболического продукта, аминометилфосфоновой кислоты (АМФК), в окружающей среде: в воздухе, в почвах, грунтовых, дренажных и поверхностных водах [4, 5, 7].

Современные научные исследования указывают на негативный экологический эффект глифосата и на его токсическое действие на живые организмы. На основании информации об экологической опасности [4, 5, 7, 8] и токсическом действии глифосата на живые организмы [5, 7] Всемирная организация здравоохранения в 2015 г. признала глифосат карциногенным для человека. Глифосат запрещен в некоторых странах Европы, Азии и Южной Америки: Австрия, Бельгия, Мальта, Нидерланды, Шри-Ланка и Бразилия.

Микроорганизмы, преимущественно бактерии, способны к расщеплению ковалентной фосфоновой С–Р связи в молекуле глифосата за счет функционирования специфических мультиферментных систем – С–Р лиаз. В настоящее время микробные методы детоксикации глифосата, способные обеспечить его разложение до безопасных соединений, считаются самыми перспективными [5, 8–12]. Применение эффективных бактерий-деструкторов полностью приемлемо в экологическом отношении и не требует высоких экономических затрат [5, 11].

Разработка способов микробной детоксикации глифосата является приоритетной задачей. Для снижения негативных последствий многократного применения глифосата, восстановления биологической активности почвы и получения экологической продукции необходима периодическая ремедиация.

Актуален поиск активных агентов детоксикации глифосата среди ризобактерий, традиционно используемых в качестве инокулянтов. Интерес для скрининга

представляют азотфикссирующие бактерии – ассоциативные азотфиксаторы *Azospirillum* spp. и симбиотические *Rhizobium* spp. Известно, что *Azospirillum brasiliense* и *Rhizobium trifolii* эффективно воздействуют на метаболизм инокулированных растений [13, 14, 15]. Применение бактериальных инокулянтов на их основе индуцирует существенный гормональный эффект, активизирует фиксацию атмосферного азота, способствует растворению трехзамещенных кальциевых фосфатов, улучшает качество продукции [16, 17, 18]. Установлено, что азотфикссирующие бактерии из нашего коллекционного фонда проявляют значимую антагонистическую активность по отношению к корневым фитопатогенам [19]. К настоящему времени практически не исследованы вопросы взаимодействия азотфикссирующих ризобактерий родов *Rhizobium* и *Azospirillum* с глифосатом. Представляет интерес скрининг азотфикссирующих бактерий нашей исследовательской коллекции и оценка их потенциальных возможностей в качестве деструкторов глифосата.

Цель исследований – скрининг азотфикссирующих ризобактерий родов *Rhizobium* и *Azospirillum* исследовательской коллекции по способности метаболизировать гербицид глифосат – N-fosфонометилглицин в качестве источника фосфора.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами скрининга служили азотфикссирующие ризобактерии *Rhizobium* spp. и *Azospirillum* spp. из коллекционного фонда Института почвоведения и агрохимии. Изучение способности ризобактерий метаболизировать глифосат проведено в серии *in vitro* экспериментов по их культивированию на твердых и жидкых питательных средах.

Тестирование устойчивости азотфикссирующих ризобактерий к глифосату на твердых питательных средах. Для первичного тестирования толерантности к глифосату использованы двухсуточные культуры коллекционных ризобактерий *Rhizobium* spp. и *Azospirillum* spp., выращенные на картофельном агаре (КА, 28 °C). При соблюдении правил асептики в конические колбы (объем 300 мл) вносили стерильный (110 °C, 20 мин.) раствор гербицида Торнадо-500 различных концентраций, затем приливали по 100 мл расплавленной питательной среды (КА), тщательно перемешивали и разливали в чашки Петри (20 мл в каждую). Концентрации глифосата в питательных средах составили (мг/мл): 0 (C_0), 0,25 (C_1), 0,50 (C_2), 0,75 (C_3), 1,0 (C_4), 2,0 (C_5) и 3,0 (C_6) мг/мл. После застывания питательной среды чашки Петри подсушивали. Культуры ризобактерий высевали методом штриха и инкубировали в термостате (28 °C). Периодичность визуального мониторинга активности роста ризобактерий – каждые 2-3 суток. Повторность в опытах – пятикратная.

Тестирование устойчивости азотфикссирующих ризобактерий к глифосату в жидких питательных средах. По результатам *in vitro* экспериментов на плотных питательных средах отобраны наиболее устойчивые к действию глифосата коллекционные азотфикссирующие бактерии *Azospirillum* spp. и *Rhizobium* spp. и проведено их тестирование в жидкой питательной среде Дворкина-Фостера [20] с возрастающим содержанием глифосата.

Состав модифицированной среды Дворкина-Фостера (г/л): глюкоза – 5,0 г/л, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 0,375, MgSO_4 – 0,075, CaCO_3 – 0,03, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,001; H_3BO_3 – 0,000001, MnSO_4 – 0,000001; дрожжевой экстракт – 0,0053; трис-буфер – 6,05; (рН до 7,0).

В качестве посевного материала использованы двухсуточные культуры коллекционных ризобактерий *Rhizobium trifolii* и *Azospirillum brasiliense*, выращенные на плотном картофельном агаре. Объектами исследований служили коллекционные штаммы ассоциативных азотфикссирующих бактерий р. *Azospirillum* (*A. brasiliense* 4485, 2(в)3, Дп1, 1) и *Azospirillum* sp. Б-7 и клубеньковых бактерий р. *Rhizobium* (*Rh. trifolii* R-45, R-107, R-63/3) и *Rhizobium* sp. R-65/2.

Бактериальные культуры смывали физиологическим раствором и разводили до концентрации $1,5 \cdot 10^8$ КОЕ/мл. В конические колбы объемом 200 мл вносили по 60,0; 180,0; 300,0 и 900,0 мкл гербицида Торнадо. Затем объем инкубационной смеси доводили до 140 мл, используя модифицированную жидкую минеральную среду Дворкина-Фостера. В опытные колбы приливали по 10,0 мл исследуемых посевных бактериальных культур. Инкубация в термостате при температуре 28 °C с периодическим перемешиванием на шейкере орбитальном KS-501 digital IKA WERKE (GmbH & Co.KG) при 80 об/мин.). Контроль – инокулированная среда без внесения гербицида. Повторность в экспериментах – трехкратная.

Для мониторинга роста ризобактерий в *in vitro* экспериментах периодически проводили определение оптической плотности инкубационной смеси (OD при $\lambda=500$ нм) на спектрофотометре UV/VIS SP-8001. Результаты считали достоверными при отклонении величин в пределах ± 5 %.

В лабораторных исследованиях использовали гербицид Торнадо 500: в.р., 500 г/л глифосата кислоты (изопропиламинная соль). Изготовитель: АО Фирма «Август», Россия, ТУ 20.20.12-071-18015953-2017 г.

Для стерилизации химических реагентов и посуды используются стерилизатор паровой ГК-100-3, стерилизатор паровой ГК-10-1, облучатели ультрафиолетовые УГД-2 и УГД-3. Для культивирования бактерий в лаборатории используются: Экрос (№ 6410), шейкер орбитальный KS-501 digital IKA WERKE (GmbH & Co.KG), перемешивающее устройство ЛАБ-ПУ-01 (2007 г.) и термостат ТПС-1.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время активно проводятся исследования по поиску эффективных микробных деструкторов глифосата. Это обусловлено актуальностью проблем детоксикации остатков этого гербицида, а также низкой эффективностью физических и химических методов деструкции глифосата. Химический гидролиз, термическое разложение, фотолиз и другие способы детоксикации ГФ не получили практического применения [2, 3, 5, 11]. Ковалентная связь С–Р в молекуле глифосата отличается высокой устойчивостью по сравнению с Р–О, S–P и N–P связями, которые легче расщепляются микроорганизмами [11, 12].

Исследования по изучению биодеструкции глифосата в загрязненных почвах, водах, и в промышленном активном иле были начаты Rueppel et al. [21], Baltazor, Hallas [22] и Jacob [23]. Эти работы заложили основы исследования путей биодеградации глифосата в окружающей среде и идентификации микроорганизмов, способных метаболизировать этот гербицид. К настоящему времени известно,

что способность к биодеградации глифосата в почве и воде проявляют бактерии разных родов. По современным представлениям глифосат-утилизирующие бактерии распространены среди pp. *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* [5, 24, 28], *Azospirillum* [25–28], *Arthrobacter* [5], *Flavobacterium* sp. [5] и некоторых других. Метаболизирующие глифосат бактерии выделяют как из загрязненных почв, так и на территориях, где глифосат никогда не применяли. Деструкторы глифосата выявлены как среди грамположительных, так и среди грамотрицательных бактерий [5, 9, 11].

Большинство исследователей отмечают высокий уровень штаммовой специфичности и значительные различия по эффективности деструкции глифосата в зависимости от родовой и видовой принадлежности бактерий. Известно также, что среди бактерий одного рода высокую эффективность по биодеградации глифосата проявляют лишь отдельные штаммы. Для эффективного использования потенциала бактериальных деструкторов глифосата необходимо изучение механизмов биодеградации гербицида. Успешная биологическая ремедиация подразумевает трансформацию загрязнителя до менее токсичных веществ, в идеальном случае – до безопасных химических соединений [8–10, 12].

Среди азотфикссирующих бактерий, которые представляют интерес для улучшения азотного питания растений, также были обнаружены деструкторы глифосата. Это представители *Rhizobium* sp. и *Azospirillum* sp. Ряд научных исследований свидетельствует, что азотфикссирующие бактерии нередко имеют в своем биохимическом арсенале активные ферменты катаболизма глифосата – С–Р лиазные полиферментные комплексы.

В исследованиях Liu C.-M., McLean P. A., Sookdeo C. C. Cannon F. C. [24] показано, что способность к разложению глифосата широко распространена среди представителей семейства *Rhizobiaceae*. Протестированные клубеньковые бактерии хорошо развивались на минимальной среде с глифосатом в качестве единственного источника фосфора. Наиболее полно охарактеризован штамм *Rhizobium meliotti* 1021, который метаболизировал глифосат с образованием саркозина, что непосредственно указывает на наличие С–Р лиазной активности.

В исследованиях Moneke A. N., Okpala G. N., Anyanwu C. U. [25], а также Travaglia C., Masciarelli O., Fortuna J. [28] была показана толерантность представителей *Azospirillum* sp. к глифосату и их способность утилизировать гербицид как источник элементов питания для собственного роста (*in vitro*).

В нашей исследовательской коллекции ризосферных бактерий выявлены представители *Azospirillum* sp., и *Rhizobium* sp., способные развиваться на питательных средах с глифосатом. В 2021–2022 гг. в результате проведения серии *in vitro* экспериментов в жидкой среде Дворкина-Фостера было установлено, что ассоциативные (*Azospirillum* sp.) и симбиотические (*Rhizobium* sp.) диазотрофы метаболизируют глифосат как источник фосфора.

Вопрос о том, какой элемент из глифосата используют бактерии имеет первостепенное значение, так как безопасную детоксикацию глифосата могут обеспечить только отдельные штаммы-деструкторы, использующие этот гербицид как источник фосфора. Считается, что такие бактерии имеют активный С–Р лиазный мультиферментный комплекс, расщепляющий ковалентную фосфоновую С–Р связь [8–12]. Результаты поэтапного скрининга показали, что коллекционные штаммы *Azospirillum brasiliense* и *Rhizobium trifolii* эффективно

метаболизируют глифосат только как источник фосфора для собственного метabolизма, что делает их перспективными целевыми объектами для детоксикации этого гербицида.

Большинство природных микробных сообществ почвы и воды трансформируют глифосат до его первичного метаболита аминометилфосфоновой кислоты (АМФК) под действием фермента глифосатоксидоредуктазы [5, 11]. АМФК по-прежнему содержит фосфоновую С–Р связь, активно адсорбируется почвенными компонентами, медленно разлагается, накапливается и не проявляет гербицидных свойств [4, 12]. Для биодеградации АМФК до безопасных химических соединений также требуется действие полиферментного комплекса С–Р лиазы.

Показатели роста симбиотических азотфикссирующих бактерий *Rhizobium* spp. в зависимости от содержания глифосата в питательных средах (*in vitro*). Начальные этапы скрининга включали оценку показателей роста клубеньковых бактерий на твердых питательных средах с возрастающими концентрациями глифосата. Приведены экспериментальные данные, полученные при первичном качественном скрининге *Rhizobium* spp. на картофельном агаре. По результатам тестирования на твердой картофельной среде с возрастающими концентрациями глифосата хорошие показатели роста отмечены для четырех штаммов клубеньковых бактерий: *Rhizobium trifolii* R-45, *Rhizobium trifolii* R-63/3, *Rhizobium trifolii* R-107 и *Rhizobium* R-65/2. Штаммы бактерий *Rh. trifolii* R-45, R-63/3 и R-107 активно развивались на картофельном агаре до достижения концентрации глифосата 1,00 мг/мл, при повышении концентрации гербицида до 3,00 мг/мл отмечали среднюю активность роста бактерий (табл. 1). Меньшая толерантность к глифосату отмечена для штамма *Rhizobium* sp. R-65/2. Остальные штаммы ризобий хорошо развивались только на более низких концентрациях глифосата в питательной среде.

Таблица 1

Показатели роста *Rhizobium* spp. в зависимости от содержания глифосата в картофельном агаре (*in vitro*)

<i>Rhizobium</i> spp.	Концентрация глифосата в питательной среде						
	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
<i>Rhizobium</i> sp. R-15	+++	+++	+++	++	+	+	-
<i>Rh. trifolii</i> R-45	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
<i>Rhizobium</i> sp. R-62	+++	+++	+++	+	-	-	-
<i>Rhizobium</i> sp. R-63/2	+++	+++	+++	+	-	-	-
<i>Rh. trifolii</i> R-63/3	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
<i>Rhizobium</i> sp. R-65/2	+++	+++	+++	+++	++	++	+
<i>Rhizobium</i> sp. R-76/2	+++	+++	+++	+	+	-	-
<i>Rhizobium</i> sp. R-78	+++	+++	+++	+	+	-	-
<i>Rhizobium</i> sp. R-94	+++	+++	+++	+	+	-	-
<i>Rh. trifolii</i> R-107	+++	+++	+++	+++	+++	++	++

+++ хороший рост; ++ средний рост; + слабый рост; – отсутствие роста.

Следующий этап исследований включал серию *in vitro* экспериментов по количественному скринингу коллекционных штаммов азотфикссирующих бактерий р. *Rhizobium*. Предварительно были подобраны и апробированы условия культивирования для бактерий *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp.

По литературным данным для количественной оценки активности роста, мониторинга накопления биомассы и установления зависимости плотности популяций исследуемых бактерий от концентрации глифосата, наиболее адекватно их культивирование в жидких минеральных питательных средах. Подходящей питательной средой для решения поставленной задачи является жидкая минеральная среда Дворкина-Фостера [20]. Для оптимизации условий экспериментов состав среды был нами модифицирован: единственным источником фосфора служил глифосат, концентрация углерода была увеличена.

Важным условием является выбор диапазона исследуемых концентраций глифосата в экспериментах в жидких средах. На основании анализа результатов экспериментов, проведенных Moneke A. N. et al. [25] и Travaglia C., Masciarelli O. [28], в наших исследованиях использованы концентрации глифосата, наиболее приближенные к реальным полевым условиям.

Критерием активности роста азотфикссирующих бактерий служили показатели оптической плотности (OD_{500}) инкубационных смесей, которые регистрировали в *in vitro* экспериментах каждые 24–48 часов.

Количественный скрининг в модифицированной жидкой минеральной среде Дворкина-Фостера подтвердил результаты первичного качественного скрининга на плотном картофельном агаре (КА). Наилучшие показатели роста были отмечены для четырех штаммов клубеньковых бактерий: *Rhizobium trifolii* R-45, *Rhizobium trifolii* R-63/3 и *Rhizobium trifolii* R-107 (табл. 2). По активности роста в питательной среде с глифосатом в качестве источника фосфора штаммы клубеньковых бактерий располагаются в следующем убывающем порядке: R-45, R-63/3, R-107 и R-65/2. Штамм *Rhizobium* R-65/2 значительно уступал по активности роста в жидкой среде с ГФ.

Таблица 2
Мониторинг роста *Rhizobium trifolii* в жидкой минеральной среде Дворкина-Фостера с разным содержанием глифосата (*in vitro*, 2022 г.)

<i>Rhizobium trifolii</i>	$C_{ГФ}$	OD_{500}								
		время культивирования, сутки								
		0,3	1	2	3	4	7	9	11	14
R-45	0	0,352	0,507	0,631	0,729	0,813	0,820	0,885	0,912	0,919
	1	0,296	0,413	0,446	0,524	0,540	0,665	0,675	0,698	0,691
	2	0,260	0,282	0,294	0,296	0,325	0,332	0,392	0,480	0,497
	3	0,258	0,275	0,281	0,267	0,266	0,283	0,322	0,392	0,390
	4	0,230	0,233	0,233	0,239	0,233	0,230	0,244	0,249	0,247
R-107	0	0,386	0,551	0,633	0,715	0,890	0,898	0,944	0,968	0,968
	1	0,335	0,355	0,371	0,430	0,487	0,551	0,570	0,575	0,562
	2	0,327	0,332	0,391	0,435	0,436	0,460	0,490	0,491	0,503
	3	0,300	0,322	0,343	0,358	0,362	0,372	0,380	0,376	0,376
	4	0,308	0,320	0,318	0,306	0,306	0,305	0,334	0,339	0,336
R-63/3	0	0,468	0,715	0,946	1,050	1,090	1,153	1,182	1,209	1,212
	1	0,438	0,454	0,556	0,660	0,687	0,702	0,713	0,719	0,729
	2	0,407	0,422	0,445	0,466	0,495	0,517	0,596	0,656	0,668
	3	0,335	0,347	0,355	0,356	0,371	0,379	0,385	0,387	0,397
	4	0,317	0,323	0,328	0,331	0,337	0,337	0,341	0,340	0,339

Окончание табл. 2

<i>Rhizobium trifolii</i>	C _{ГФ}	OD ₅₀₀									
		время культивирования, сутки									
		0,3	1	2	3	4	7	9	11	14	
R-65/2	0	0,342	0,468	0,599	0,720	0,790	0,903	0,947	0,948	0,942	
	1	0,325	0,340	0,348	0,368	0,387	0,394	0,404	0,392	0,396	
	2	0,316	0,320	0,321	0,332	0,346	0,362	0,380	0,389	0,380	
	3	0,306	0,302	0,303	0,308	0,317	0,324	0,328	0,326	0,326	
	4	0,308	0,300	0,289	0,309	0,303	0,305	0,314	0,317	0,309	

0 – без ГФ; 1 – 0,20; 2 – 0,60; 3 – 1,0; 4 – 3,0 мкг/мл.

Построены кривые роста для трех активных штаммов бактерий *Rhizobium trifolii* (R-45, R-63/3, R-107), которые показывают тесную взаимосвязь плотности популяции с концентрацией ГФ. Эти штаммы перспективны как целевые объекты для продолжения скрининга.

Показатели роста ассоциативных азотфикссирующих бактерий р. *Azospirillum* в зависимости от содержания глифосата в питательных средах. В серии *in vitro* экспериментов на твердом картофельном агаре (КА) проведено тестирование 12 штаммов ассоциативных бактерий р. *Azospirillum* из нашей исследовательской коллекции. При первичном качественном скрининге хорошие показатели роста были отмечены для пяти штаммов ассоциативных азотфиксаторов: *A. brasiliense* 4485, *A. brasiliense* 1', *A. brasiliense* Дп1, *A. brasiliense* 2(в)3 и *Azospirillum* sp. Б-7 (табл. 3).

Таблица 3
Показатели роста *Azospirillum* sp. в зависимости от содержания глифосата
в картофельном агаре (*in vitro*, 2021)

<i>Azospirillum</i> spp.	Концентрация глифосата в питательной среде						
	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
<i>A. brasiliense</i> 1'	+++	+++	+++	+++	++	+	+
<i>Azospirillum</i> sp. 7	+++	+++	+++	+	+	+	-
<i>Azospirillum</i> sp.33a	+++	+++	+++	+	+	+	-
<i>A. brasiliense</i> 2(в)3	+++	+++	+++	+++	++	-	-
<i>A. brasiliense</i> 4485	+++	+++	+++	+++	++	+	+
<i>Azospirillum</i> sp. Л-2	+++	++	++	+	+	-	-
<i>Azospirillum</i> sp. М-1	+++	+++	+	+	+	-	-
<i>Azospirillum</i> sp K	+++	+++	+++	-	-	-	-
<i>Azospirillum</i> sp K-1	+++	+++	+++	+	+	-	-
<i>Azospirillum</i> sp Б	+++	+++	++	-	-	-	-
<i>Azospirillum</i> sp Б-7	+++	+++	+++	+++	++	-	-
<i>A. brasiliense</i> Дп1	+++	+++	+++	+++	++	+	+

+++ хороший рост; ++ средний рост; + слабый рост; – отсутствие роста.

По результатам первичного тестирования проведена предварительная дифференциация коллекционных штаммов *Azospirillum* spp. по способности развиваться на плотной картофельной среде с глифосатом как единственным источником фосфора. Определен круг наиболее перспективных объектов для последующего количественного скрининга: *A. brasiliense* 2(в)3, *A. brasiliense* 4485, *A. brasiliense* Дп1, *A. brasiliense* 1' и *Azospirillum* sp. Б-7.

Для мониторинга роста и количественной оценки накопления биомассы наиболее активные представители ассоциативных диазотрофов *Azospirillum* spp. культивировали в модифицированной жидкой минеральной среде Дворкина-Фостера. Модификация включала использование глифосата в качестве единственного источника фосфора, а также увеличение концентрации углерода.

Результаты экспериментов по мониторингу активности роста *Azospirillum* sp. в жидкой минеральной среде Дворкина-Фостера подтвердили данные первичного качественного скрининга на картофельном агаре (КА) для трех штаммов ассоциативных азотфикссирующих бактерий: *A. brasiliense* 2(в)3, *A. brasiliense* Дп1 и *A. brasiliense* 1'. Рост штаммов *A. brasiliense* 4485 и *Azospirillum* sp. Б-7 в жидкой питательной среде в присутствии глифосата оказался менее активным (табл. 4, рис. 2).

Таблица 4

Мониторинг роста *Azospirillum* spp. в жидкой минеральной среде Дворкина-Фостера с разным содержанием глифосата (*in vitro*, 2022 г.)

<i>Azospirillum</i> sp.	C _{ГФ}	OD ₅₀₀									
		время культивирования, сутки									
		0,3	1	2	3	4	7	9	11	14	
2(в)3	0	0,368	0,710	0,753	0,795	0,828	0,976	1,203	1,308	1,345	
	1	0,326	0,401	0,476	0,586	0,602	0,695	0,837	0,820	0,824	
	2	0,300	0,304	0,340	0,381	0,379	0,483	0,667	0,706	0,709	
	3	0,304	0,308	0,314	0,342	0,344	0,397	0,397	0,434	0,428	
	4	0,300	0,303	0,309	0,329	0,347	0,354	0,365	0,376	0,396	
Дп1	0	0,329	0,460	0,582	0,625	0,806	1,236	1,258	1,252	1,299	
	1	0,317	0,407	0,439	0,504	0,514	0,654	0,702	0,769	0,877	
	2	0,316	0,418	0,425	0,457	0,477	0,630	0,625	0,664	0,723	
	3	0,322	0,355	0,378	0,400	0,412	0,473	0,546	0,644	0,704	
	4	0,312	0,315	0,314	0,318	0,361	0,383	0,385	0,411	0,414	
1'	0	0,388	0,504	0,562	0,581	0,579	0,598	0,595	0,624	0,647	
	1	0,326	0,372	0,399	0,420	0,426	0,468	0,472	0,480	0,494	
	2	0,317	0,346	0,366	0,381	0,374	0,420	0,454	0,452	0,473	
	3	0,313	0,334	0,338	0,346	0,355	0,362	0,357	0,361	0,386	
	4	0,320	0,331	0,334	0,335	0,341	0,362	0,360	0,372	0,370	
4485	0	0,280	0,434	0,562	0,587	0,669	0,882	0,895	0,874	0,886	
	1	0,262	0,272	0,268	0,340	0,363	0,381	0,401	0,411	0,400	
	2	0,247	0,266	0,270	0,322	0,336	0,342	0,334	0,350	0,339	
	3	0,243	0,245	0,261	0,260	0,285	0,279	0,293	0,316	0,308	
	4	0,216	0,228	0,243	0,255	0,248	0,252	0,254	0,243	0,244	
Б-7	0	0,308	0,373	0,456	0,492	0,517	0,522	0,603	0,594	0,606	
	1	0,233	0,262	0,274	0,298	0,332	0,341	0,352	0,374	0,363	
	2	0,227	0,234	0,242	0,232	0,246	0,255	0,253	0,250	0,247	
	3	0,223	0,235	0,240	0,239	0,232	0,240	0,248	0,238	0,244	
	4	0,216	0,218	0,228	0,222	0,230	0,226	0,225	0,222	0,224	

0 – без ГФ; 1 – 0,20; 2 – 0,60; 3 – 1,0; 4 – 3,0 мкг/мл.

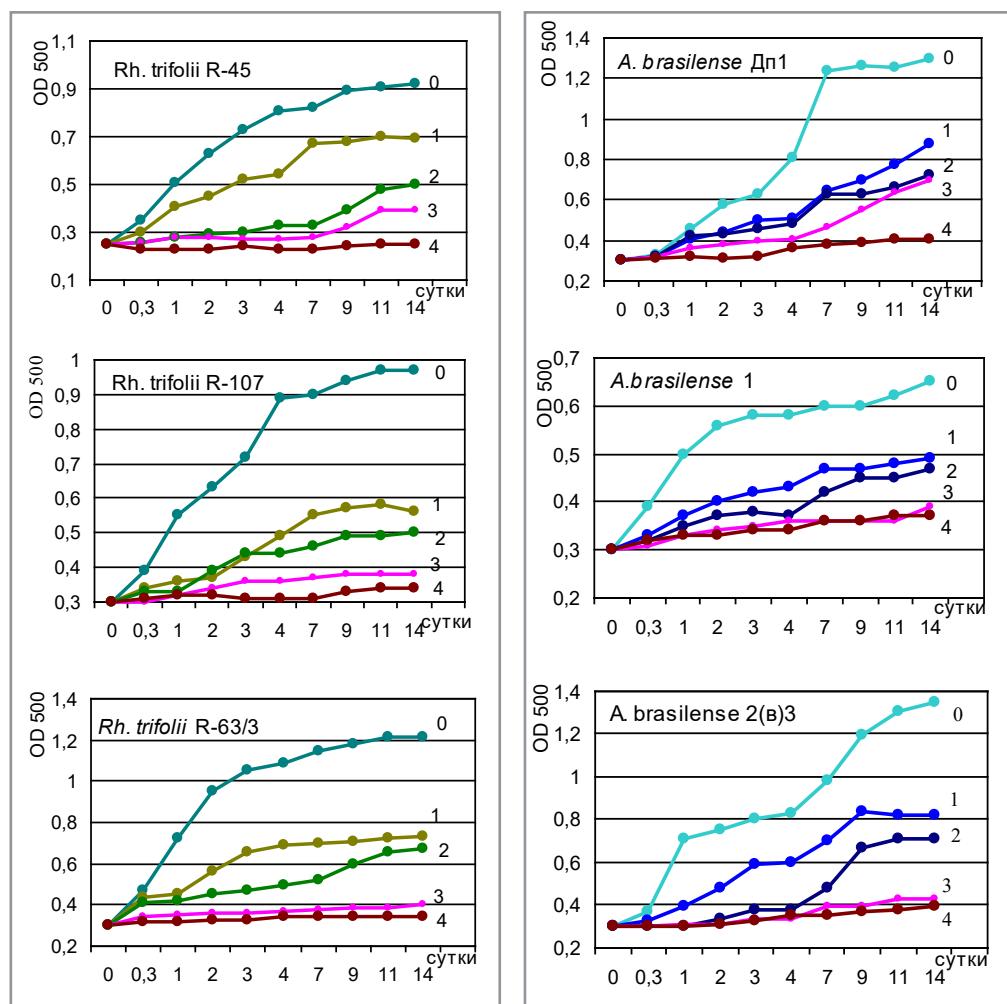


Рис. 1. Кривые роста *Rh. trifolii* в жидкой среде Дворкина-Фостера при разных концентрациях глифосата (0 – без ГФ; 1 – 0,20; 2 – 0,60; 3 – 1,0; 4 – 3,0 мкг ГФ/мл)

Рис. 2. Кривые роста *A. brasiliense* в жидкой среде Дворкина-Фостера при разных концентрациях глифосата (0 – без ГФ; 1 – 0,20; 2 – 0,60; 3 – 1,0; 4 – 3,0 мкг ГФ/мл)

ВЫВОДЫ

Выполнен качественный и количественный скрининг ассоциативных и симбиотических азотфикссирующих ризобактерий методом поэтапного культивирования на картофельном агаре и в жидкой минеральной среде Дворкина-Фостера с возрастающими концентрациями глифосата в качестве единственного источника фосфора. Установлены зависимости активности роста диазотрофов от концентрации глифосата в питательных средах, а также от их родовой и видовой принадлежности. По результатам качественного и количественного скрининга проведен отбор

перспективных штаммов-деструкторов глифосата родов *Azospirillum* и *Rhizobium* в исследовательской коллекции. На текущем этапе скрининга наилучшие показатели роста и накопления биомассы показали три штамма клубеньковых бактерий: *Rhizobium trifolii* R-45, *Rhizobium trifolii* R-63/3 и *Rhizobium trifolii* R-107 и три штамма ассоциативных азотфикссирующих бактерий: *A. brasilense* Дп1, *A. brasilense* 2(в)3, и *A. brasilense* 1'.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Haslam, E.* The shikimate pathway: biosynthesis of natural products serie / E. Haslam. – Elsevier, New York. – 2014.
2. *Franz, J. E.* Glyphosate: a Unique Global Herbicid. / J. E. Franz, M. K. Mao, J. A. Sikorski // American Chemical Society ACS Monograph 189, Washington, DC, 1997. – P. 163–175.
3. *Duke, S. O.* Glyphosate: a once in a century herbicide / S. O. Duke, S. B. Powles // Pest Manage Sci. – 2008. – Vol. 64(4). – P. 319–325.
4. *Carlisle, S. M.* Glyphosate in the Environment / S. M. Carlisle, J. T. Trevors // Water, Air and Soil Poll. – 1988. – Vol. 39 – P. 409–420.
5. Recent advances in glyphosate biodegradation / H. Zhan [et al.] // Applied Microbiol. Biotech. – 2018. – Vol. 102. – P. 5033–5043.
6. *Glass, R. L.* Adsorption of glyphosate by soils and clay minerals / R. L. Glass // J. Agric. Food Chem. – 1987. – Vol. 35. – P. 497–500.
7. *Bai, S. H.* Glyphosate: environmental contamination, toxicity and potential risks to human health via food contamination / S. H. Bai, S. M. Ogbourne // Environ. Sci. Pollut. Res. – 2016. – Vol. 23(19). – P. 18988–19001.
8. *Sviridov, A.* Glyphosate: safety risks, biodegradation, and bioremediation / A. Sviridov [et al.] // Current environmental issues and challenges. Springer, Dordrecht. – 2014. – P. 183–195.
9. Микробная деградация гербицида глифосата (обзор) / А. В. Свиридов [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2015. – Т. 51. – Вып. 2. – С. 183–190.
10. *Shushkova, T.* Glyphosate bioavailability in soil / T. Shushkova, I. Ermakova, A. Leontievsky // Biodegradation. – 2010. – Vol. 21(3). – P. 403–410.
11. *Кононова, С. В.* Фосфонаты и их деградация микроорганизмами / С. В. Кононова, М. А. Несмеянова // Биохимия. – 2002. – Т. 67. – Вып. 2. – С. 220–233.
12. Microbial degradation of glyphosate herbicides (review) / A. V. Sviridov [et al.] // Appl Biochem Microbiol. – 2015. – Vol. 51(2). – P. 188–190.
13. *Bashan, Y.* Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture / Y. Bashan, H. Levanony // Can. J. Microbiol.
14. *Okon, Y.* Agronomic application of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation / Y. Okon, C. A. Labandera-Gonzalez // Soil Biol. Biochem.
15. *Михайлова, Н. А.* Азоспириллы и их влияние на злаковые культуры (обзор) / Н. А. Михайлова // Почвоведение и агрохимия.
16. Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н. А. Михайлова [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 225–231.
17. *Mikhailouskaya N.* The effect of seed inoculation by *Azospirillum brasilense* B-4485 on flax yield and its quality / N. Mikhailouskaya // Plant, Soil and Environment. – 2006. – Vol. 52(9). – P. 402–406.

18. Эффективность бактеризации разных видов трав *Azospirillum brasilense* / Н. А. Михайлова [и др.] // Почвоведение и агрохимия.
19. Михайлова, Н. А. Антагонистическая активность ризобактерий *A. brasilense* и *B. circulans* по отношению к фитопатогенным микромицетам рр. *Fusarium* и *Alternaria* / Н. А. Михайлова, Т. Б. Барашенко // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1 (62). – С. 234–244.
20. Dworkin, M. Experiments with some microorganisms which utilized methane and hydrogen / M. Dworkin, J. W. Foster // J. Bacteriol. – 1958. – Vol. 75. – P.592–603.
21. Metabolism and degradation of glyphosate in soil and water / M. L. Rueppl [et al.] // J. Agric. Food. Chem. – 1977. – Vol. 25. – P. 517–528.
22. Balthazor, T. M. Glyphosat-degrading microorganisms from industrial activated sludge / T. M. Balthazor, L. E. Hallas // Appl. Environ. Microbiol. – 1986. – Vol. 51. – P. 432–434.
23. Metabolism of Glyphosate in *Pseudomonas* sp. strain LBr. / G. S. Jacob [et al.] // Appl. Environ. Chem. – 1988. – Vol. 260. – P. 5899–5905.
24. Liu, C.-M. Degradation of the Herbicide Glyphosate by Members of the Family Rhizobiaceae / C.-M. Liu, P. A. McLean, C. C. Sookdeo, F. C. Cannon // Appl. and Environ. Microbiol. – 1991. – Vol. 57(6). – P. 1799–1804.
25. Moneke, A. N. Biodegradation of glyphosate herbicide in vitro using bacterial isolates from four rice field / A. N. Moneke, G. N. Okpala, C. U. Anyanwu // Afr. J. Biotechnol. – 2010. – Vol. 9(26). – P. 4067–4074.
26. Gadkari, D. Influence of herbicides on growth and nitrogenase activity of *Azospirillum*. In: Klingmüller, W. (Ed.), *Azospirillum. IV. Genetics, Physiology, Ecology*. – 1988. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. – P. 150–158.
27. Inoculation of rice with *Azospirillum brasilense* in EGYPT: results of five different trials between 1985 and 1990 / N. Omar [et al.] // Symbiosis. – 1992. – Vol. 13. – P. 281– 289.
28. Towards sustainable maize production: Glyphosate detoxification by *Azospirillum* sp. and *Pseudomonas* sp. / C. Travaglia [et al.] // Crop Protection. – 2015. – Vol. 77. – P. 102–109.

SCREENING THE CAPABILITY OF NITROGEN FIXING BACTERIA TO METABOLISE HERBICIDE GLYPHOSATE AS A SOURCE OF PHOSPHORUS

N. A. Mikhailouskaya, T. B. Barashenko, T. V. Pogirnitskaya, S. V. Dyusova

Summary

Screening of rhizosphere bacteria *Azospirillum* sp. and *Rhizobium* sp. by cultivation in modified liquid mineral media Dvorkin and Foster with increasing concentrations of glyphosate as a sole P-source resulted in the determination of perspective target objects, which are capable of herbicide glyphosate metabolism.

Поступила 07.12.22

ЮБИЛЕИ

АКАДЕМИК
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ
ИОСИФ МИХАЙЛОВИЧ БОГДЕВИЧ
(к 85-летию со дня рождения)



Уважаемый Иосиф Михайлович!

Сердечно поздравляем Вас с юбилеем! Весь Ваш жизненный путь – яркий пример служения науке. Вы внесли огромный вклад в развитие Института почвоведения и агрохимии, руководителем которого Вы являлись многие годы, в создание и динамичное развитие лаборатории мониторинга плодородия почв и экологии. Благодаря Вашему таланту и трудолюбию, широте научных интересов Вы достигли выдающихся успехов в науке и в практической реализации своих замыслов. Отзывчивость и благожелательность к людям снискали Вам всеобщее глубокое уважение среди коллег и учеников. Мы гордимся тем, что почти 60 лет Ваше имя и дела неразрывно связаны с Институтом почвоведения и агрохимии. Желаем Вам неиссякаемой энергии, долголетия, доброго здоровья, заботы и внимания близких, благополучия и новых творческих свершений!

Администрация, сотрудники института

28 августа 2022 года Иосифу Михайловичу Богдевичу исполнилось 85 лет. Его профессиональная деятельность началась после окончания агрономического факультета Гродненского сельскохозяйственного института: сначала на должности агронома в совхозе «Василишковский» Щучинского района Гродненской области, а затем в почвенном отряде Гродненского сельскохозяйственного института при проведении крупномасштабного полевого обследования почв колхозов и совхозов и составлении крупномасштабных карт 1:10000.



Научная деятельность И. М. Богдевич началась в аспирантуре Белорусского научно-исследовательского института почвоведения (1964 г.). В 1966 г. был зачислен на должность старшего научного сотрудника в отдел почвенного питания растений института, где под руководством академика Т. Н. Кулаковской проводил исследования по оценке влияния агрохимических свойств почв на уровень их плодородия и эффективность использования удобрений. Результаты научной деятельности этого периода стала защищена кандидатской диссертацию «Зависимость урожая сахарной свеклы от агрохимических свойств почв и удобрений» (1970 г.).

Исследования в области познания взаимосвязи между биологическими требованиями растений и внешними условиями их роста и развития дали возможность выявить ведущие факторы почвенной среды, существенно влияющие на питание растений. Используя методы математического анализа экспериментальных данных, Иосиф Михайлович представил количественную оценку влияния агрохимических свойств и уровня применения удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур. В 1970 г. избирается на должность заведующего Центральной агрохимической лабораторией института, на которую возлагалось методическое руководство агрохимической службой республики. В 1971 г. И. М. Богдевич назначается заместителем директора института по научной работе, а Центральная агрохимическая лаборатория была преобразована в отдел агрохимического обслуживания сельского хозяйства, руководство которым ему было поручено. С декабря 1974 г. по июль 1977 г. находился в командировке в Ираке, где работал главным экспертом по плодородию почв Государственной организации по мелиорации земель Иракской Республики. После возвращения из командировки продолжил свою работу в институте. В период 1980–2005 гг. И. М. Богдевич занимал должность директора Института почвоведения и агрохимии, с 2006 г. – должность заведующего отделом плодородия почв и лабораторией мониторинга плодородия почв и экологии, с 2012 г. – главного научного сотрудника этой же лаборатории.

На должности руководителя института Иосиф Михайлович успешно сочетал организаторскую работу с плодотворной научной деятельностью. Ему удалось направить усилия коллектива института на выполнение глубокого и всестороннего изучения почвенного покрова республики, разработку приемов энергосберегающего использования удобрений, прогноза динамики плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. При непосредственном участии



Награждение БелНИИ почвоведения и агрохимии орденом Трудового Красного Знамени, 29.05.1981

*Богдевич И. М., Лисица В. Д.
и зам. председателя Совмина БССР
Г. Г. Герасименко*

И. М. Богдевича успешно велись исследования по разработке защитных мер для уменьшения перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию и пищевую цепочку на загрязненной территории Беларуси после аварии на Чернобыльской АЭС. Большое внимание уделялось научному обоснованию, разработке и производству новых форм экологически безопасных минеральных удобрений, обладающих улучшенными характеристиками по сравнению с аналогами, известными в мировой практике. Итогом многолетних исследований стала докторская диссертация «Агрохимические пути повышения плодородия дерново-подзолистых почв» (1992 г.). Научная работа И. М. Богдевича была высоко оценена: в этом же году ему присвоено ученое звание профессора. Иосиф Михайлович был избран членом-корреспондентом, в 1994 г. – академиком Академии аграрных наук Республики Беларусь, а в 2003 г. – академиком НАН Беларуси.

И. М. Богдевич является известным ученым в области агрохимии и радиоэкологии. Он успешно развивает научные основы эффективного использования удобрений и управления плодородием почв, заложенные его учителями – академиками И. С. Лупиновичем и Т. Н. Кулаковской. Научные работы Иосифа Михайловича посвящены изучению зависимости продуктивности сельскохозяйственных культур от агрохимических свойств почв, применения различных видов удобрений и мелиорантов, баланса элементов питания растений, миграции радионуклидов в системе «почва – растение – продукты питания». Им обоснована концепция регулируемого повышения плодородия дерново-подзолистых почв, разработаны оптимальные параметры агрохимических свойств почв и ряд практических рекомендаций по повышению плодородия почв, эффективности удобрений и преодолению негативных последствий радиоактивного загрязнения почв. В 1992 г., впервые в Беларуси, предложено отказаться от проведения рекомендованных усредненных контрмер по зонам загрязнения и перейти к принципам индивидуального учета комплекса агрохимических и радиологических свойств каждого поля. Установлены теоретически значимые количественные зависимости миграции и поступления

радионуклидов в сельскохозяйственные культуры от многообразия особенностей почв, включая гранулометрический состав, водный режим и агрохимические свойства. Проведена дифференциация параметров перехода радионуклидов из почвы в продукцию полевых культур и луговых трав по гранулометрическому составу, степени кислотности и содержанию подвижных форм калия в почвах. Это позволило существенно повысить точность прогнозов и планировать размещение культур по полям севооборотов с учетом конечного использования получаемой продукции: продовольственные цели, фураж, промышленная переработка.



Отличительная черта большинства научных работ Иосифа Михайловича – их практическая направленность. Многочисленные методики, нормативы и рекомендации, разработанные под руководством и при участии И. М. Богдевича, широко используются специалистами хозяйств и агрохимической службы. Совместно с доктором сельскохозяйственных наук Г. В. Пироговской предложена серия новых форм азотных и комплексных минеральных удобрений с добавками микроэлементов и биостимуляторов. Разработки включают технические условия на промышленное производство удобрений, регистрацию в Госхимкомиссии Республики Беларусь, рекомендации по их применению. Выпуск новых форм удобрений был освоен на химических предприятиях республики.



В течение длительного периода 1997–2006 гг. И. М. Богдевич возглавлял крупный международный проект Международного института калия и осуществлял координацию по странам Восточной Европы. В 2003–2012 гг. принимал участие в работе группы экспертов по ряду проектов технического сотрудничества МАГАТЭ. В результате совместной работы экспертов из Беларуси, России и Украины, ведущих западных стран и международных организаций на основе консенсуса был подготовлен и представлен Чернобыльскому Форуму технический доклад «Последствия аварии на Чернобыльской АЭС для окружающей среды и их ликвидация: опыт 20 лет». В 2006 г. доработан с учетом обсуждения на Форуме и в правительствах Беларуси, России и Украины и опубликован в открытой печати. Доклад получил высокую оценку в резолюции ООН. Подготовлен и опубликован ряд международных методических рекомендаций по проблеме преодоления последствий радиоактивных аварий, среди них программа ReSCA – Remediation Strategies after Chernobyl Accident, которая успешно применялась в 2009–2011 гг. для планирования реабилитации территорий в Беларуси, России и Украине, загрязненных радионуклидами после Чернобыльской аварии.

И. М. Богдевич – автор более 900 научных работ, в т. ч. 7 монографий, 35 авторских свидетельств на изобретения. Долгие годы состоит в редколлегиях академических журналов.

Научная школа, сформированная И. М. Богдевичем, широко известна в стране и за рубежом. Под его руководством подготовлено и защищено 14 кандидатских и 6 докторских диссертаций. *Иосиф Михайлович принимает активное участие в подготовке молодых научных кадров.* С 1980 г. в институте создан Ученый совет по защите докторских и кандидатских диссертаций по двум специальностям – агрохимия (06.01.04) и агропочвоведение, агрофизика (06.01.03). С 1980 по 2005 гг. И. М. Богдевич был председателем совета, с 2006 г. является членом Президиума ВАК Республики Беларусь.

Труд И. М. Богдевича высоко оценен: Почетные грамоты Верховного Совета БССР (1981, 1987), Международная премия союза производителей калия (1995), звание заслуженный работник сельского хозяйства (1997), благодарность Президента Республики Беларусь (2001), Почетная грамота Совета Министров Республики Беларусь (2004). За цикл работ «Создание комплекса учебной литературы по агрохимии для высших и средних специальных сельскохозяйственных учебных заведений» удостоен звания лауреата Государственной премии Республики Беларусь (2002).

ВЛАДИМИР ТЕРЕНТЬЕВИЧ СЕРГЕЕНКО (к 85-летию со дня рождения)



В 2022 г. исполняется 85 лет со дня рождения ученого в области минералогии и отражательной способности почв Беларуси, кандидата сельскохозяйственных наук, доцента Владимира Терентьевича Сергеенко.

Родился Владимир Терентьевич Сергеенко 14 октября 1937 г. в деревне Сиваи Белыничского района Могилевской области в крестьянской семье. Детство его пришлось на трудные, голодные военные и послевоенные годы. В 1956 г. он закончил Головчинскую среднюю школу и в том же году был призван на действительную службу в армию. В 1959 г. за безупречную службу и в связи с поступлением в Белорусский государственный университет был досрочно демобилизован из армии. В 1964 г. закончил физический факультет БГУ с квалификацией «физик со специализацией по оптике и спектроскопии».

В Институте почвоведения и агрохимии Владимир Терентьевич проработал 48 лет. Свой трудовой путь он начал в 1968 г. в должности главного инженера лаборатории минералогии почв. В должности старшего научного сотрудника сектора микроморфологии, спектрофотометрии и дистанционных методов исследования почв. В 1984 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Минералогический количественный состав и свойства илистой части основных типов почв Белоруссии». С 1989 по 2009 гг. являлся ведущим научным сотрудником сектора методики картографирования и бонитировки почв, а с 2010 по 2016 гг. – ведущим научным сотрудником лаборатории агрофизических свойств и защиты почв от эрозии.

Многолетние детальные исследования в области минералогии почв, проведенные В. Т. Сергеенко совместно с кандидатами геолого-минералогических наук В. Д. Лисицей и С. А. Тихоновым, академиком Н. И. Смеяном, профессором Т. А. Романовой, позволили получить фундаментальные данные о качественном и количественном составе первичных и вторичных минералов основных типов почв и почвообразующих пород республики, установить их генетическую принадлежность, выявить характер и направленность изменения минералов под влиянием природных и антропогенных процессов. В. Т. Сергеенко усовершенствовал приемы выделения илистой фракции почв и установления индивидуальных глинистых минералов, разработал алгоритм определения их количественного содержания. Новые подходы в исследовании тонко- и высокодисперсной составляющей почв позволили с высокой степенью точности диагностировать минералогический состав почв, расширить представления о почвообразовательных процессах в условиях республики, а также особенностях генезиса и плодородия почв страны.

Экологизация сельскохозяйственного производства требует получения оперативной информации о разных свойствах почв, в том числе их спектральной отражательной способности, чему были посвящены многолетние исследования В. Т. Сергеенко совместно с коллективом ученых (кандидат г.-м. наук В. Д. Лисица, кандидат с.-х. наук Т. В. Бубнова). Они доказали перспективность, экономическую выгоду и экологическую безопасность оптико-спектральных методов, которые позволяют по необходимости обновлять детальные данные. Проведенные исследования позволили установить зависимость отражательной способ-

ности дерново-подзолистых и подзолистых заболоченных почв песчаного и легкосуглинистого гранулометрического состава от таких факторов как структура и влажность почв, содержание гумуса, полуторных оксидов, легкорастворимых солей. Кроме того, установлены количественные показатели спектральной отражательной способности для диагностики дегроторфяных, дерново-карбонатных, высокоокультуренных и эродированных почв республики.

Значительное событие в научной деятельности В. Т. Сергеенко – выход в свет уникальной для Беларуси монографии «Глинистые минералы почв Беларуси» (соавтор В. Д. Лисица, 2011 г.), в которой ученые обобщили результаты исследований нескольких десятилетий: представлен современный взгляд на глинистые минералы почв, развивающихся на литологически разнородных почвообразующих породах Беларуси, их состав и трансформацию, показаны инновационные методики и способы выделения индивидуальных мономинеральных компонентов из гетерогенной мелкодисперсной фракции, подготовки препаратов к рентгendifрактометрическому исследованию глинистых минералов; на примере опорных разрезов, характеризующих почвы различного типового состава, степени увлажнения, гранулометрического состава, представлены результаты распределения высокодисперсных минералов по генетическим горизонтам почвенного профиля, приведена характеристика их энергетического состояния; показаны примеры использования информации о глинистых минералах для решения теоретических и практических задач почвоведения (диагностики подзолистых почв, ортзандов и глинофибр, полугидроморфных минеральных почв, оценки плодородия дерново-подзолистых и дерново-карбонатных почв). По мнению профессора Т. А. Романовой, «авторы рассматриваемой книги сформировали хранилище материалов, накопленных за последние 40 лет исследований минералогии почв Беларуси. Систематизация, обобщение и интерпретация данных позволяют в любой момент использовать имеющиеся сведения как в практических целях, так и для продолжения изучения глинистых минералов».

В 2012–2014 гг. В. Т. Сергеенко (соавтор кандидат с.-х. наук А. Ф. Черныш) разработал новые подходы к количественной оценке трансформации дерново-подзолистых почв, развивающихся на лессовидных и моренных суглинках, на основе сведений об их агрофизических, микроморфологических свойствах, данных минералогического состава для диагностики степени их устойчивости к эрозионной деградации.

Владимир Терентьевич принимал активное участие в подготовке «Атласа почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь» (2017 г.), в который вошли и полученные им данные о минералогическом составе почв различного генезиса, типовой принадлежности, степени увлажнения и строения почвообразующих пород северной, центральной и южной провинций Беларуси.

Научные исследования В. Т. Сергеенко внесли значительный вклад в развитие фундаментального почвоведения нашей республики. Он является автором более 110 научных работ, 10 патентов, 10 рациональных предложений.

И сейчас, находясь на заслуженном отдыхе, Владимир Терентьевич обладает большой энергией и жизнелюбием. Его внимательное, добре отношение, помохь и поддержку помнят все, кто с ним работал. От всей души желаем уважаемому Владимиру Терентьевичу крепкого здоровья и бодрого настроения на долгие годы.

Коллеги и сотрудники института

РЕФЕРАТЫ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.45

doi 10.47612/0130-8475-2022-2(69)-7-16

Матыченкова О. В., Азарёнок Т. Н., Матыченков Д. В., Дыдышко С. В., Шульгина С. В. Особенности территориального размещения и динамики урожайности проса на зерно в Республике Беларусь // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 2(69). – С. 7–16.

В статье установлены территориальные особенности размещения посевов проса (на зерно) по областям республики на основе анализа посевных площадей культуры. Проанализированы статистические данные динамики урожайности зерна проса за период 2019–2021 гг. На основе регрессионного анализа установлено влияние агрометеорологических условий на урожайность зерна проса. Впервые для условий республики рассчитан коэффициент устойчивости получения урожая по областям республики, который позволил установить, что Витебская область входит в зону крайне неустойчивого получения урожая, две области (Минская и Могилевская) относятся к зоне неустойчивого получения, а остальные – к зоне допустимой устойчивости получения урожая проса (на зерно). Результаты исследований, изложенные в данной статье, имеют важное значение для научно обоснованного формирования посевных площадей засухоустойчивых культур с учетом агроклиматических показателей.

Табл. Рис. 7. Библиогр.13.

УДК 631.44.06:631.459.2

doi 10.47612/0130-8475-2022-2(69)-17-29

Цырыбка В. Б., Лагачоў І. А., Усцінава Г. М., Яротаў А. Я. Трансфармацыя дзярнова-падзолістых глебаў схілавых сельскагаспадарчых зямель Мінскага ўзвышша // Глебазнаўства і агрохімія. – 2022. – № 2(69). – С. 17–29.

У артыкуле прааналізованы змены глеб схілавых земляў. Пад уплывам натуральных і антропагенных фактараў адбываецца спрашчэнне глебавага профілю: знікае элювіяльны гарызонт на неэррадаванай глебе і ілювіяльна-гліністы на моцнаэррадаванай, і фармуюцца намытая гарызонты ў падножжа схілу. Пагаршаецца структурны стан і супрацьэразійная ўстойлівасць, асабліва на глебах з інтэнсіўным сельскагаспадарчым выкарыстаннем.

Фота 7. Табл. 3. Бібліягр. 11.

УДК 631.459:631.41

doi 10.47612/0130-8475-2022-2(69)-30-36

Логачев И. А., Юхновец А. В., Касьянчик С. А., Воронович С. Д. Влияние эрозионных процессов на изменение параметров основных агрохимических

показателей плодородия почв склоновых сельскохозяйственных земель Республики Беларусь // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 2(69). – С. 30–36.

В статье представлены результаты исследований изменения параметров основных агрохимических показателей плодородия дерново-подзолистых почв склоновых земель под влиянием эрозионных процессов. Определены диапазоны их снижения в зависимости от степени эродированности, составляющие на слабоэродированных почвах до 20–30 %, на среднеэродированных – до 30–40 %, а на сильноэродированных – до 40 % и более.

Установлено наличие тенденций разнонаправленного изменения содержания гумуса, подвижного фосфора, подвижного калия и минерального азота в условиях производственных посевов на почвах различного генезиса и степени проявления эрозионных процессов.

Табл. 3. Рис. 2. Библиогр. 10.

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.86:631.872:631.47

doi 10.47612/0130-8475-2022-2(69)-37-56

Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Кирдун Т. М., Жабровская Н. Ю. Виды органических удобрений и методика расчета их потребности для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в пахотных почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 2(69). – С. 37–56.

Многолетние комплексные исследования, проведенные сотрудниками Института почвоведения и агрохимии совместно с учеными из профильных организаций республики, позволили установить высокий положительный эффект действия органических удобрений и необходимость их использования в научно обоснованной системах удобрения. Авторами статьи систематизированы результаты по химическому составу различных видов органических удобрений, полученных и применяемых в сельскохозяйственных организациях республики. Данная информация необходима для принятия эффективных управленческих решений по выбору и использованию различных видов органических удобрений, моделированию и прогнозированию урожайности сельскохозяйственных культур в условиях Республики Беларусь.

Табл. 19. Библиогр.

УДК 631.8:633.1:631.445

doi 10.47612/0130-8475-2022-2(69)-57-70

Серая Т. М., Касьянчик С. А., Богатырева Е. Н., Кирдун Т. М., Мачок Т. В., Симанкова Ю. А., Торчило М. М. Влияние систем удобрения на урожайность и показатели качества зерна озимой пшеницы на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 2(69). – С. 57–70.

В полевом технологическом опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве изучена агрономическая эффективность разных систем удобрения

озимой пшеницы в зависимости от способа основной обработки почвы. Заделка соломы без компенсирующей дозы азота как при традиционной, так и при поверхностной обработке почвы не оказала негативного влияния на равномерность всходов и развитие растений озимой пшеницы на дерново-подзолистой супесчаной почве. На дерново-подзолистых почвах в полевых опытах в среднем за 3 года за счет эффективного плодородия среднеокультуренной супесчаной почвы получено 40,9 ц/га зерна озимой пшеницы, наиболее оптимальной на дерново-подзолистой супесчаной почве в блоке вспашки была система удобрения, включающая внесение $N_{70+40+40}P_{55}K_{45}$ на фоне соломы, которая обеспечила формирование урожайности зерна озимой пшеницы 68,6 ц/га, при поверхностной обработке почвы система удобрения, включающая внесение $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$ на фоне соломы, обработанной микробным препаратом Жыцень в дозе 3 л/га обеспечила формирование урожайности зерна озимой пшеницы 73,3 ц/га. Определены показатели качества зерна.

Табл. 5. Рис. 2. Библиогр. 11.

УДК 633.853.494

doi 10.47612/0130-8475-2022-2(69)-71-83

Мезенцева Е. Г. Рапс – основная масличная культура в Республике Беларусь // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 2(69). – С. 71–83.

В статье представлена аналитическая обзорная информация по рапсу, как одной из наиболее перспективных многофункциональных сельскохозяйственных культур. Показаны способы использования рапса, а также – современное состояние и перспективные пути повышения его продуктивности основной масличной культуры в Республике Беларусь.

Табл. 4. Рис. 2. Библиогр. 56.

УДК 631.416.9:631.582:631.445

doi 10.47612/0130-8475-2022-2(69)-84-96

Пироговская Г. В., Ермолович И. Е., Матыченков В. В., Хмелевский С. С., Максимчук А. С., Сороко В. И. Содержание кремния в атмосферных осадках, почвах и почвенных растворах, потери при вымывании и потребление его культурами звена севооборота, возделываемых на дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах Республики Беларусь // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 2(69). – С. 84–98.

В статье изложены результаты исследований за 2020–2021 гг. по поступлению соединений кремния с атмосферными осадками, накоплению подвижных (потенциальных, актуальных и активных) его соединений в дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах, которыми заполнены лизиметры, монокремниевые соединения в почвенных растворах, данные по урожайности и накоплению кремния первой и второй культурами звена севооборота (картофель, кукуруза) в зависимости от форм применяемых удобрений.

Табл. 7. Фото 2. Библиогр. 13.

УДК 631.8:631.559:633.112.9
doi 10.47612/0130-8475-2022-2(69)-97-109

Кулешова А. А. Влияние новых форм макро-, микроудобрений и регуляторов роста на динамику роста, накопление сухого вещества, урожайность, содержание и вынос элементов питания яровой тритикале // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 2(69). – С. 97–109.

В статье показано положительное влияние комплексных удобрений, микроудобрений, регуляторов роста и комплексного микроудобрения с регуляторами роста на динамику роста, накопление биомассы, урожайность, содержание и вынос элементов яровой тритикале. Применение нового комплексного удобрения для яровых зерновых культур (NPK) марки 16-12-20 с 0,20 % Cu и 0,10 % Mn по сравнению с вариантом, где в эквивалентной дозе ($N_{60+30}P_{60}K_{90}$) применяли карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий, увеличивало урожайность тритикале на 7,2 ц/га.

Максимальная урожайность зерна яровой тритикале (51,6 и 52,1 ц/га) была получена в вариантах, где применялся МикроСтим-Медь Л и Нутривант плюс на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$.

Табл. 5. Библиогр. 9.

УДК 632.15:579.64
doi 10.47612/0130-8475-2022-2(69)-110-120

Михайловская Н. А., Барашенко Т. Б., Погирницкая Т. В., Дюсова С. В. Скрининг азотфиксирующих бактерий по способности метаболизировать гербицид глифосат как источник фосфора // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № (69). – С. 110–120

Скрининг ризосферных азотфиксирующих бактерий *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. методом культивирования в модифицированной жидкой минеральной среде Дворкина-Фостера с возрастающим содержанием глифосата в качестве единственного источника фосфора позволил определить перспективные штаммы диазотрофов, способные метаболизировать гербицид глифосат.

Табл. 4. Рис. 2. Библиогр. 28.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия», согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 30 января 2020 г. № 22 (с изменениями, внесенными приказами ВАК от 09.03.2020 № 62; от 08.07.2020 № 156; от 22.09.2020 № 200; от 20.10.2020 № 230; от 11.11.2020 № 266; от 20.11.2020 № 271), включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований. Направляемые статьи должны являться оригинальными материалами, не опубликованными ранее в других печатных изданиях.

Текст научной статьи должен быть подготовлен в соответствии с требованиями главы 5 Инструкции по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации (утверждена Постановлением ВАК Республики Беларусь от 28.02.2014 № 3) и иметь следующую структуру: индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК); введение; основную часть (разделы – методы и объекты исследований, результаты исследований и их обсуждение), выводы, список цитированных источников. К статье прилагается аннотация на русском и английском языках (с переводом названия статьи, фамилий авторов). Статья должна быть подписана всеми авторами.

Объем статьи не должен превышать 10 страниц формата А4. Все материалы представляются в электронном виде.

Электронный вариант должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word шрифтом Arial (размер кегля – 10 pt, через одинаковый интервал, абзац – 0,75). Рисунки даются в формате TIF, JPG 300–600 точек на дюйм. Текст на рисунках также должен быть набран гарнитурой Arial, размер кегля соизмерим с размером рисунка. Подписи к рисункам и схемам делаются отдельно. Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

Размерность всех величин, используемых в статьях, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ).

Сведения об источниках оформляются в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 7.80-2000 «Библиографическая Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 25.06.2014, 7/2786 9 запись. Заголовок. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.82-2001 «Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.12-93 «Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.11-2004 «Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных европейских языках», государственным стандартом Республики Беларусь СТБ 7.12-2001 «Библиографическая запись. Сокращение слов на белорусском языке. Общие требования и правила».

Поступившая статья направляется на рецензию, затем визируется членом редколлегии и рассматривается на заседании редколлегии. Возвращение статьи автору на доработку не означает, что она принята к печати. Статьи не по профилю журнала возвращаются авторам после заключения редколлегии.

Редакция оставляет за собой право вносить в текст редакционную правку.