

ISSN 0130-8475

Институт почвоведения и агрохимии

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1961 г.

**№ 1(70)
Январь – июнь 2023 г.**

Минск
2023

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

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

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

Главный редактор *Ю. К. ШАШКО*

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

Т. Н. АЗАРЕНОК, И. 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

1(70)

Январь – июнь 2023 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 08.06.2023. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 12,68. Уч.-изд. л. 11,87. Тираж 50 экз. Заказ 219.

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», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Устинова А. М., Цырибко В. Б., Логачев И. А., Митькова А. А., Воронovich С. Д. Система нормативных показателей для прогноза и оценки эколого-экономических потерь в результате эрозионных процессов 7

Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В., Матыченков Д. В., Дыдышко С. В., Ананько Е. Д. Пригодность почв пахотных земель Беларуси для возделывания сахарной свеклы 16

Дыдышко С. В., Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В., Шульгина С. В. Методические аспекты оценки агроэкологического состояния почв в условиях длительного сельскохозяйственного использования..... 24

Цырибко В. Б., Устинова А. М., Логачев И. А., Юхновец А. В., Митькова А. А., Карабев Н. А. Установление параметров устойчивости почв сельскохозяйственных земель к засухам и составление цифровых карт пространственного распределения выявленных факторов (на примере Каменецкого района)38

Чербарь В. В., Лях Т. Г. Восстановление качественного состояния деградированных черноземов выщелоченных Центральной Молдовы путем комбинирования агротехнических и фитомелиоративных приемов..... 48

2. ПЛОДРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Богдевич И. М., Путятин Ю. В., Станилевич И. С., Довнар В. А. Динамика и перспективы обеспеченности кальцием пахотных и луговых почв Беларуси..... 59

Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Кирдун Т. М., Симанкова Ю. А., Торчило М. М. Влияние агротехнологических приемов на содержание и запасы мотрмассы в дерново-подзолистой супесчаной почве 75

Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Симанков О. В. Калийное питание яровой пшеницы на высокоокультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве..... 89

Мезенцева Е. Г., Кулеш О. Г., Симанков О. В., Грачева А. А., Зенькова С. М. Эффективность систем удобрения кукурузы на дерново-подзолистой суглинистой почве..... 100

Рак М. В., Пукалова Е. Н., Гузова Н. С., Гук Л. Н., Корсакова В. В. Эффективность микроудобрений при возделывании ярового ячменя на дерново-подзолистой высокооккультуренной легкосуглинистой почве	112
Рак М. В., Пукалова Е. Н., Гузова Н. С., Гук Л. Н., Корсакова В. В. Влияние цинкового удобрения на урожайность и качество люцерны при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком	119
Вильдфлуш И. Р., Кулешова А. А. Влияние макро-, микроудобрений и регулятора роста на урожайность, структуру урожая и качество зерна яровой пшеницы	126
Михайловская Н. А., Барашенко Т. Б., Погирницкая Т. В., Дюсова С. В. Скрининг фосфатрастворяющих ризобактерий <i>Pseudomonas</i> spp. по активности культурального роста в зависимости от содержания глифосата в жидкой среде Дворкина-Фостера	136
Рефераты	149
Правила для авторов	155

CONTENTS

1. SOIL RESOURCES AND THEIR RATIONAL USE

Ustinava H. M., Tsyrybka V. B., Lahachov I. A., Mit'kova A. A., Voronovich S. D. A system of normative indicators for forecasting and assessing ecological and economic losses as a result of erosion processes	7
Azaronak T. N., Matychenkova O. V., Matychenkau D. V., Dydyshka S. V., Anan'ko E. D. Suitability of soils of arable land in Belarus for the cultivation of sugar beet.....	16
Dydyshka S. V., Azaronak T. N., Matychenkova O. V., Shul'gina S. V. Methodological aspects of assessing the agroecological state of soils under conditions of long-term agricultural use	24
Tsyrybka V. B., H. M. Ustinava, I. A. Lahachou, Yukhnovets A. V., Mit'kova A. A., Karabets N. A. Determination of resistance parameters for soil of agricultural lands to droughts and compilation of digital maps of the spatial distribution of the identified factors (for example of the Kamenetsk region)	38
Cherbar V. V., Lyakh T. G. Restoration of the qualitative state of degraded leached chernozems of Central Moldova through combined the agrotechnical and phytomeliorative methods.....	48

2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION

Bogdevitch I. M., Putyatin Yu. V., Stanilevich I. S., Dovnar V. A. Dynamics and perspective of calcium supply of arable soils and grassland in Belarus	59
Bahatyrova E. N., Seraya T. M., Kirdun T. M., Simankova Y. A., Torchilo M. M. The influence of agrotechnological techniques on the maintenance and reserves of motrmas in sod-podzolic sandy loam soil	75
Kulesh O. G., Mezentseva E. G., Simankov O. V. Potassium nutrition of spring wheat on highly cultivated sod-podzolic light loamy soil.....	89
Mezentseva E. G., Kulesh O. G., Simankov O. V., Gracheva A. A., Zenkova S. M. Efficiency of corn fertilizer systems on soddy-podzolic loam soil.....	100
Rak M. V., Pikalova E. N., Guzova N. S., Guk L. N., Korsakova V. V. The effectiveness of micro fertilizers in the cultivation of spring barley on sod-podzolic highly cultivated light-loamy soil	112

Rak M. V., Pukalova E. N., Guzova N. S., Guk L. N., Korsakova V. V. The influence of zinc fertilizer on the yield and quality of alfalfa with different provision of sod-podzolic sandy loam soil with zinc.....	119
Wildflush I. R., Kuleshova A. A. Influence of macro-, micro-fertilizers and growth regulator on yield, yield structure and grain quality of spring wheat.....	126
Mikhailouskaya N. A., Barashenko T. B., Pogirnitskaya T. V., Dyusova S. V. Screening of phosphorus solubilizing bacteria <i>Pseudomonas</i> spp. growth activity in dependence on glyphosate content in liquid Dworkin-Foster medium	136
Summaries	149
Instructions for authors	155

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4:631.459

СИСТЕМА НОРМАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗА И ОЦЕНКИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

**А. М. Устинова, В. Б. Цырибко, И. А. Логачев,
А. А. Митькова, С. Д. Воронович**

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

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все более интенсивным становится воздействие человека на природу, которое, выражаясь в нерациональном использовании земельных ресурсов, уничтожении лесов и других естественных экосистем, развитии транспортной сети, приводит к угрозе экологического кризиса [1]. Одним из его проявлений является деградация земель [2]. В Беларуси наиболее распространенный вид деградации – эрозия почв, поскольку потеря верхнего слоя почвы может иметь разрушительные последствия для окружающей среды, приводящие к деградации экосистем, вызывая обезлесение, утрату биоразнообразия и увеличение загрязнения воздуха и воды. Негативное влияние эрозионной деградации почв проявляется как в снижении запасов органического вещества и других элементов питания в почве, так и в поступлении твердой фазы смытой почвы и биогенных элементов на другой участок водораздела и в водоемы, что способствует их заилению и загрязнению [3]. Следовательно, водно-эрозионные процессы могут также стать причиной снижения продуктивности сельскохозяйственных земель, что приведет к потере жизненно важных источников производства пищи для людей и животных [4].

Для Беларуси проблема развития водной эрозии почв предельно актуальна. Она проявляется в виде плоскостного смыва в основном на моренных возвышенностях в северной и центральной частях республики (Браславская, Свентяцкие гряды, Городокская, Витебская, Лепельская, Минская, Новогрудская, Оршанская и др. возвышенности). Глубинные (овражные) размывы приурочены к территориям, почвообразующие породы которых формировались из лёссов и лёссовидных суглинков, – это Горецко-Мстиславская возвышенность, Копыльская и Мозырская гряды, Оршанская, частично Новогрудская, Гродненская, Волковысская и Минская возвышенности [5].

Проявление эрозии обусловлено совокупным влиянием многих природных и антропогенных факторов и, в значительной степени, зависит от способности самой почвы противостоять воздействию дождевых капель и водному потоку. Средние темпы увеличения площади эродированных пахотных земель составляют

139,4 га в год [2, 4]. Интенсивностью развития эрозии определяется площадь земель, находящихся в сельскохозяйственном пользовании, урожайность культур, скорость заиления водоемов, землеустройство и эффективность сельскохозяйственного использования земель.

Установление эколого-экономических потерь в сфере природопользования и, в частности, оценка ущерба от деградации почв представляет собой сложную и актуальную задачу. Под экономическими потерями подразумеваются выраженные в стоимостной форме фактические и возможные потери (убытки), понесенные в результате процессов деградации. Эколого-экономический ущерб, как показатель экономической оценки, предполагает оценку в денежной форме возможных и фактических потерь урожая, почвенного плодородия, нарушения луговых земель, а также необходимых ресурсов для устранения отрицательных последствий антропогенной нагрузки [6].

В настоящее время методические подходы расчета потерь, причиняемых эрозийными процессами земельным ресурсам и почвенному покрову, не отражают всех аспектов негативных последствий и не позволяют точно оценить величину ущерба, адекватную реальным экологическим и экономическим потерям [6]. Отсутствует надежная, экспериментально установленная и доказательная система нормативных показателей для выполнения количественной оценки и долгосрочного прогноза потерь от эрозионной деградации почв на разных категориях эродированных земель. Это указывает на необходимость разработки принципиально новых подходов и методов и обуславливает важность и актуальность работы.

Цель работы – разработать нормативные показатели для прогноза и оценки эколого-экономических потерь в результате водно-эрозионных процессов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Величину эколого-экономической эффективности можно определить по размеру установленного предотвращенного экологического ущерба и размеру полученного (предполагаемого) экономического эффекта.

Экологический ущерб, наносимый водно-эрозионными процессами, целесообразно определять по потерянному объему почвы, питательных веществ, гумуса, величине недополученной продукции, по затратам на устранение или снижение ущерба, а также с учетом экономической оценки земель, других природных ресурсов.

Экономический ущерб (как показатель эколого-экономической оценки) подразумевает оценку в денежной форме возможных и фактических потерь урожая, почвенного плодородия, загрязнения почв и водоемов биогенными элементами, агрохимикатами и др., возникающими в результате эрозии почв и нерациональной хозяйственной деятельности, а также необходимых ресурсов для ликвидации негативных последствий [6].

Особенно ценны для разработки нормативных показателей для прогноза и оценки эколого-экономических потерь в результате водно-эрозионных процессов материалы длительных многофакторных стационарных опытов, посвященных одновременному изучению всех основных элементов технологии (предшественников, типов севооборотов, обработки почвы, систем удобрения), проводимые на стационарах «Стоковые площадки» и «Браслав». Отметим, что возделывание сельскохозяйственных культур на них проводится с соблюдением всех агротехнологий, что в производственных условиях не всегда наблюдается.

Поэтому, наряду с выполнением полевых стационарных опытов, проведены маршрутные полевые исследования методом закладки почвенно-геоморфологических профилей (катен) на пахотных и луговых землях сельскохозяйственных организаций (хозяйств).

Выбор ключевых почвенно-геоморфологических катен для изучения агрохимических свойств почв разной степени эродированности определялся масштабами и географией распространения склоновых земель, генезисом почвообразующих пород, их гранулометрическим составом, интенсивностью проявления водно-эрозийных процессов. Почвенно-геоморфологические катены заложены на эродированных дерново-подзолистых почвах на территории Браславского, Городокского, Витебского, Оршанского районов Витебской области, Мстиславского, Горецкого районов Могилевской области, Минского, Мядельского, Логойского, Воложинского районов Минской области, Новогрудского, Кореличского, районов Гродненской области, Барановичского района Брестской области. В ходе почвенных экспедиций, проведенных в 2021–2022 гг., заложено 86 почвенно-геоморфологических катен (рис. 1). Всего в центральной почвенно-экологической провинции заложено 57 почвенно-эрозийных профилей, из них 38 включают почвы, сформированные на лессовидных суглинках, 11 – на моренных супесях, 8 – на моренных суглинках. В северной провинции почвообразующая порода – моренные суглинки (20 катен) и супеси (9 катен) [7].



Рис. 1. Размещение почвенно-геоморфологических катен в северной и центральной почвенно-экологических провинциях Беларуси [7]

По почвенно-эрозионным профилям заложены почвенные разрезы и отобрано более 700 почвенных образцов из пахотного слоя (0–20 см) для определения содержания гумуса, общего и минерального азота, подвижных соединений фосфора и калия.

Лабораторно-аналитические анализы выполнялись по следующим методикам: органическое вещество (гумус) – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212-91; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207-91.

Наряду с отбором почвенных образцов проводился сопряженный учет урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур методом пробного снопа в 5-кратной повторности.

Полученные данные обрабатывали статистическими методом дисперсионного анализа с использованием компьютерного программного обеспечения MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ранее опубликованных статьях приведено влияние водно-эрозионных процессов на продуктивность основных сельскохозяйственных культур и изменение параметров основных агрохимических показателей плодородия почв склоновых сельскохозяйственных земель [7–9].

На основании обобщения массива данных, полученных как в полевых стационарных опытах, так и в маршрутных полевых исследованиях, сформированы нормативы снижения содержания элементов питания в зависимости от генезиса почвообразующих пород и степени эродированности почв (табл. 1).

Таблица 1

Нормативные показатели потерь гумуса и элементов питания дерново-подзолистых почв под влиянием процессов эрозионной деградации

Степень эродированности	Почвообразующая порода	Гумус		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		содержание, %	норматив потерь, %	содержание, %	содержание, %	содержание, %	норматив потерь, %
Неэродированная	моренные суглинки	100	–	100	–	100	–
Слабая		85–95	5–15	70–80	20–30	75–80	20–25
Средняя		70–95	15–30	60–70	30–40	70–75	25–30
Сильная		55–70	30–45	50–60	40–50	60–70	30–40
Неэродированная	моренные супеси	100	–	100	–	100	–
Слабая		80–90	10–20	75–85	15–25	80–85	15–20
Средняя		70–80	20–30	70–75	25–30	70–80	20–30
Сильная		55–75	35–45	60–65	35–40	60–70	30–40
Неэродированная	лессовидные суглинки	100	–	100	–	100	–
Слабая		85–95	5–15	80–90	10–20	80–90	10–20
Средняя		75–85	15–25	70–80	20–30	70–80	20–30
Сильная		60–70	30–40	60–70	30–40	60–70	30–40

Как следует из приведенных данных, в зависимости от степени эродированности почв содержание гумуса составляет 55–95 % от показателя незэродированных почв. Следовательно, норматив потерь изменяется от 5–15 % на слабоэродированной почве до 30–45 % на сильноэродированной независимо от почвообразующей породы.

В пахотном горизонте слабоэродированных почв содержится фосфора 80–95 % от количества в незэродированной, в среднеэродированной – 60–80 %, сильноэродированной – 50–70 %, т. е. норматив потерь составляет 10–50 % в зависимости от степени эрозионной деградации почв.

Несколько менее выражено влияние водно-эрозионных процессов на содержание K_2O . Так нормативные показатели потерь снижаются с 10–20 % на слабоэродированных до 30–40 % на сильноэродированных почвах.

В целом полученные нормативы находятся в сопоставимых друг с другом диапазонах, что указывает на ключевую роль интенсивности эрозионных процессов в снижении плодородия почв склоновых земель.

Следует отметить, что данные нормативы целесообразно использовать при наличии подробной почвенной карты и детального агрохимического обследования, т. е. в условиях отдельного землепользования (сельскохозяйственного предприятия).

В случае оценки ущерба от эрозионной деградации на территории административного района в целом стоит использовать данные, полученные в полевых экспериментах на стационарах лаборатории агрофизических свойств и защиты почв от эрозии Института почвоведения и агрохимии (табл. 2.).

Таблица 2

**Потери гумуса и элементов питания под разными группами
сельскохозяйственных культур**

Группа сельскохозяйственных культур	Степень эродированности	Потери, кг/га в год		
		гумус	P_2O_5	K_2O
Пропашные (картофель, свекла сахарная, столовая и кормовая, кукуруза, овощные)	слабая	100	4,0	4,0
	средняя	170	7,0	7,0
	сильная	240	10,0	10,0
Яровые зерновые и зернобобовые (пшеница, ячмень, тритикале, овес, горох, пелюшка, люпин), яровой рапс	слабая	75	3,0	3,0
	средняя	120	5,0	5,0
	сильная	180	7,5	7,5
Озимые зерновые (рожь, пшеница, тритикале), озимый рапс	слабая	20	1,0	1,0
	средняя	30	1,5	1,5
	сильная	40	2,0	2,0
Однолетние травы (горохо-, пелюшко-, вико-овсяные смеси)	слабая	80	3,0	3,0
	средняя	125	5,0	5,0
	сильная	165	7,5	7,5
Многолетние бобовые (клевер, люцерна, галега), бобово-злаковые и злаковые травы	слабая	< 3	0,1	0,1
	средняя	< 5	0,2	0,2
	сильная	5	0,3	0,3

Результаты, приведенные в таблице 2, получены в ходе полевых стационарных экспериментов, проводимых с соблюдением всех технологических регламентов возделывания сельскохозяйственных культур (обработка почвы, посев, внесение гербицидов), поэтому данные нормативы потерь являются в значительной степени консервативными величинами.

Одним из показателей эколого-экономического ущерба, наносимого водно-эрозионными процессами, является снижение урожайности сельскохозяйственных культур на почвах склоновых земель.

В ходе исследований проанализирована урожайность многолетних бобовых (клевер, люцерна, галега восточная), многолетних злаковых, а также однолетних трав, возделываемых на склоновых землях. В результате были разработаны нормативные показатели снижения урожайности однолетних и многолетних трав на эродированных почвах, сформированных на лессовидных и моренных суглинках (табл. 3).

Недоборы урожая однолетних и многолетних трав самые низкие из исследованных сельскохозяйственных культур, что обусловлено их высокой почвозащитной способностью.

При соблюдении технологических регламентов возделывания однолетних и многолетних трав негативное воздействие эрозионных процессов минимально, а потери урожая не превысят 15–20 % даже на сильноэродированных почвах.

Таблица 3

Нормативные показатели снижения урожайности однолетних и многолетних трав под влиянием процессов эрозионной деградации

Степень эродированности	Почвообразующая порода	Однолетние травы		Многолетние травы	
		урожайность, %	норматив потерь, %	урожайность, %	норматив потерь, %
Неэродированная	моренные суглинки	100	–	100	–
Слабая		85–100	0–15	90–100	0–10
Средняя		75–85	15–25	80–90	10–20
Сильная		70–75	25–30	75–80	20–25
Неэродированная	лессовидные суглинки	100	–	100	–
Слабая		90–100	0–10	90–100	0–10
Средняя		80–90	10–20	85–90	10–15
Сильная		70–80	20–30	75–85	15–25

В таблице 4 представлены критерии оценки потерь урожайности зерновых культур и рапса в результате процессов эрозионной деградации. Ключевым отличием озимых культур является то, что в ряде случаев не выявлено недобора урожая на слабоэродированных почвах, вследствие их высокой почвозащитной способности и незначительного уменьшения агрохимических и водно-физических свойств почв.

Под яровыми зерновыми культурами на средне- и сильноэродированных почвах нормативы несколько ниже (до 40 %) относительно озимых (до 45 %), так как озимые культуры подвергаются водно-эрозионным процессам как в период выпадения стокообразующих дождей, так и во время весеннего снеготаяния.

Таблица 4

**Нормативные показатели снижения урожайности зерновых культур и рапса
под влиянием процессов эрозионной деградации**

Степень эродированности	Почвообразующая порода	Озимые зерновые и озимый рапс		Яровые зерновые и яровой рапс	
		урожайность, %	норматив потерь, %	урожайность, %	норматив потерь, %
Неэродированная	моренные суглинки	100	–	100	–
Слабая		85–95	0–15	85–90	10–15
Средняя		70–95	15–30	75–85	15–25
Сильная		55–70	30–45	65–75	25–35
Неэродированная	моренные супеси	100	–	100	–
Слабая		80–90	0–15	85–90	10–15
Средняя		70–80	15–25	80–85	15–20
Сильная		55–75	25–40	55–75	25–45
Неэродированная	лессовидные суглинки	100	–	100	–
Слабая		85–100	0–15	85–90	10–15
Средняя		70–85	15–30	70–85	15–30
Сильная		55–70	30–45	60–70	30–40

В ходе маршрутных исследований проводился учет урожая льна-долгунца, сахарной свеклы и зеленой массы кукурузы. Полученные результаты позволили разработать критерии оценки ущерба для всех этих культур на лессовидных суглинках, а для кукурузы и на моренных суглинках (табл. 5).

Таблица 5

Нормативные показатели снижения урожайности льна-долгунца, сахарной свеклы и зеленой массы кукурузы на под влиянием процессов эрозионной деградации

Степень эродированности	Почвообразующая порода	Лен-долгунец		Сахарная свекла		Кукуруза (з/м)	
		урожайность, %	норматив потерь, %	урожайность, %	норматив потерь, %	урожайность, %	норматив потерь, %
Неэродированная	моренные суглинки	–	–	–	–	100	–
Слабая		–	–	–	–	80–90	10–20
Средняя		–	–	–	–	60–80	20–40
Сильная		–	–	–	–	40–60	40–60
Неэродированная	лессовидные суглинки	100	–	100	–	100	–
Слабая		85–95	5–15	90–100	0–10	80–90	10–20
Средняя		80–85	15–20	75–85	15–25	60–80	20–40
Сильная		65–70	30–35	55–60	40–45	50–60	40–50

Нормативы потерь урожайности по сахарной свекле и кукурузе наибольшие среди всех культур, особенно на сильноэродированных почвах (45–50 %). Данные культуры довольно требовательны к почвенному плодородию, которое заметно ниже на эродированных почвах. Кроме того, возделывание пропашных культур способствует интенсификации эрозионных процессов на склонах.

Результаты оценки потерь урожайности от эрозионной деградации позволили сгруппировать все культуры по степени устойчивости к водной эрозии (табл. 6).

Наиболее устойчивы к негативному влиянию водной эрозии однолетние и многолетние травы, что обусловлено их высокой почвозащитной способностью.

При соблюдении технологических регламентов потери урожайности не превышают 15–20 % даже на сильноэродированных почвах.

Во вторую группу входят зерновые, рапс, лен-долгунец и сахарная свекла, недоборы урожая которых на слабоэродированных почвах составляют до 15 %, среднеэродированных – до 30 %, сильноэродированных – до 45 %.

Таблица 6

**Степень устойчивости сельскохозяйственных культур
к водно-эрозионным процессам**

Степень устойчивости	Культуры	Снижение урожайности от эрозии, %		
		степень эродированности почв		
		слабая	средняя	сильная
Высокая	Однолетние травы, многолетние травы	менее 5	6–15	15–20
Средняя	Озимые и яровые зерновые, озимый и яровой рапс, лен-долгунец, сахарная свекла	менее 15	15–30	31–45
Низкая	Кукуруза (зеленая масса)	10–20	21–40	41–60

Наименее устойчива к водно-эрозионным процессам кукуруза, снижение урожайности зеленой массы на слабоэродированных почвах варьируют в пределах 10–20 %, на среднеэродированных – 20–40 %, на сильноэродированных – 40–50 %, а на почвах, сформированных на моренных суглинках, достигает 60 %.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что наиболее доступным способом оценки экологического ущерба, наносимого водно-эрозионными процессами, является определение величины утраченного плодородия почв и объем недополученной продукции.

Экономический ущерб (как показатель эколого-экономической оценки) подразумевает оценку в денежной форме возможных и фактических потерь урожая, почвенного плодородия, загрязнения почв и водоемов биогенными элементами и агрохимикатами и др., возникающими в результате эрозии почв и нерациональной хозяйственной деятельности, а также необходимых ресурсов для ликвидации негативных последствий.

Разработаны нормативы потерь элементов питания, которые зависят, в первую очередь от степени эрозионной деградации почв. Снижение содержания гумуса варьирует в пределах 5–15 % на слабоэродированных почвах, среднеэродированных – 15–30 %, сильноэродированных – 30–40 %. Потери подвижного фосфора и калия на слабоэродированных почвах находятся в диапазоне 10–20 %, среднеэродированных – 20–30 %, сильноэродированных – 30–50 %.

На основании оценки недоборов урожайности от эрозионной деградации все культуры сгруппированы по степени устойчивости к процессам водной эрозии следующим образом: высокая – однолетние травы, многолетние травы; средняя – озимые и яровые зерновые, озимый и яровой рапс, лен-долгунец, сахарная свекла; низкая – кукуруза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвин, Л. Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России / Л. Ф. Литвин. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 255 с.
2. Заславский, М. Н. Эрозиоведение: учеб. для студентов геогр. и почв. спец. вузов / М. Н. Заславский. – М.: Высшая школа, 1983. – 320 с.
3. Деградация почв сельскохозяйственных земель Беларуси: виды и количественная оценка / А. Ф. Черныш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 7–18.
4. Жилко, В. В. Эродированные почвы Белоруссии и их использование / В. В. Жилко. – Минск: Ураджай, 1976. – 168 с.
5. Лепешев, А. А. Овражная эрозия почв в Беларуси [Электронный ресурс] / А. А. Лепешев, В. Б. Кадацкий, Е. В. Кучерова. – География. – 2014. – № 5. – Режим доступа: <http://elib.bspu.by/handle/doc/8394>. – Дата доступа: 23.03.2023.
6. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: методическое руководство; под ред. академ. РАСХН В. И. Кирюшина и академ. РАСХН А. Л. Иванова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 794 с.
7. Влияние эрозионных процессов на изменение параметров основных агрохимических показателей плодородия почв склоновых сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. А. Логачев [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 2(69). – С. 30–36.
8. Продуктивность однолетних и многолетних трав на дерново-подзолистых почвах разной степени эродированности (результаты длительных полевых опытов) / Н. Н. Цыбулько [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 31–39.
9. Влияние эродированности дерново-подзолистых почв на продуктивность сельскохозяйственных культур (результаты длительных полевых опытов) / Н. Н. Цыбулько [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 7–17.

A SYSTEM OF NORMATIVE INDICATORS FOR FORECASTING AND ASSESSING ECOLOGICAL AND ECONOMIC LOSSES AS A RESULT OF EROSION PROCESSES

**H. M. Ustinava, V. B. Tsyrybka, I. A. Lahachov,
A. A. Mit'kova, S. D. Voronovich**

Summary

The results obtained both in field hospitals and in the course of route studies made it possible to develop standards for the loss of batteries, which depend, first of all, on the degree of erosion degradation of soils. The decrease in humus content varies in the range of 5–15 % on slightly eroded soils, medium-eroded – 15–30 %, strongly eroded – 30–40 %. Losses of mobile phosphorus and potassium on slightly eroded soils are found in the range of 10–20 %, medium-eroded – 20–30 %, highly eroded – 30–50 %.

Based on the assessment of yield shortfalls from erosion degradation, all crops are grouped according to the degree of resistance to water erosion processes as follows: high – annual grasses, perennial grasses; medium – winter and spring cereals, winter and spring rape, flax, sugar beet; low – corn.

Поступила 13.04.23

ПРИГОДНОСТЬ ПОЧВ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

**Т. Н. Азаренок, О. В. Матыченкова, Д. В. Матыченков,
С. В. Дыдышко, Е. Д. Ананько**

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

ВВЕДЕНИЕ

В условиях возрастающей антропогенной нагрузки все большую актуальность приобретают вопросы оптимального использования почвенных ресурсов в сельскохозяйственном производстве. Почвенный покров пахотных земель Беларуси характеризуется специфичной компонентной структурой и обусловлен как естественно-историческими факторами почвообразования, так и характером антропогенного преобразования, а, следовательно, и разным плодородием. На протяжении многих лет внедряются принципы адаптивно-ландшафтной системы земледелия, которая ориентирована на снижение затратности производства, исходя из агроэкологических требований сельскохозяйственных культур, соответствующих оптимальным условиям их возделывания.

Изучение пригодности почв под различные культуры, проводимое в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» на протяжении многих лет, показало, что в условиях Беларуси производительная способность пахотных земель определяется, главным образом, типовыми различиями почв, степенью их увлажнения, гранулометрическим составом почвообразующих и подстилающих пород, строением генетического профиля. Почвы, в силу своих генетических особенностей, а также свойств, измененных хозяйственной деятельностью, могут быть пригодными, малопригодными или вообще непригодными для возделывания той или иной сельскохозяйственной культуры [1–3]. Кроме того, последствия изменения климата, наблюдающиеся в республике за последние 30 лет, также оказывают существенное влияние на условия произрастания сельскохозяйственных культур, особенно таких значимых, как сахарная свекла, являющаяся основным сырьем отечественного сахарного производства. И по мнению российских и белорусских ученых [4, 5], урожайность корнеплодов сахарной свеклы на 60 % определяется почвенно-агрохимическими и агроклиматическими условиями. Поэтому использование научно-методического подхода для установления пригодных почв под сельскохозяйственные культуры на основе данных почвенно-агроэкологического, агроклиматического потенциала их возделывания, определяет актуальность и новизну проводимых исследований.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований явилось все разнообразие почв пахотных земель республики по типовой принадлежности, степени увлажнения, гранулометрическому составу почвообразующих и подстилающих пород, характеру строения генетического профиля.

Характеристика современного состояния почвенного покрова пахотных земель дана на основе обобщения материалов крупномасштабного почвенного и агрохимического обследования сельскохозяйственных земель [6]. Сведения о посевных площадях и урожайности сахарной свеклы по областям республики за период с 2018 по 2022 гг. по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь. Использованы агрометеорологические данные за период 2015–2021 гг. по 48 метеостанциям, экстраполированные на все административные районы республики.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ научных сведений [7] показал, что сахарная свекла является умеренно теплолюбивой культурой. Для прорастания семян необходима минимальная температура почвы 3–4 °С, более благоприятной считается температура 15–18 °С, при которой они прорастают на 6–7-й день. В первые дни всходы сахарной свеклы очень чувствительны к заморозкам (–3–4 °С). Оптимальная температура для ассимиляции 20–23 °С. Для полного развития сахарной свеклы нужна сумма активных температур (выше 10 °С) 2200–2700 °С. По среднесезонным данным Белгидромета до 2002 г. северная граница суммы активных температур выше 2200 °С проходила по условной линии Воложин–Минск–Борисов–Могилев–Кричев. Южнее этой границы сахарная свекла возделывалась, севернее – нет. В последние десятилетия наблюдается потепление климата и сумма активных температур (САТ) выше 10 °С возросла [8]. Анализ агроклиматических условий по результатам наблюдений гидрометеорологических подразделений Республики Беларусь за период с 2015 по 2021 гг. показывает, что вся республика входит в границы температурного режима, требуемого для возделывания сахарной свеклы (рис. 1).

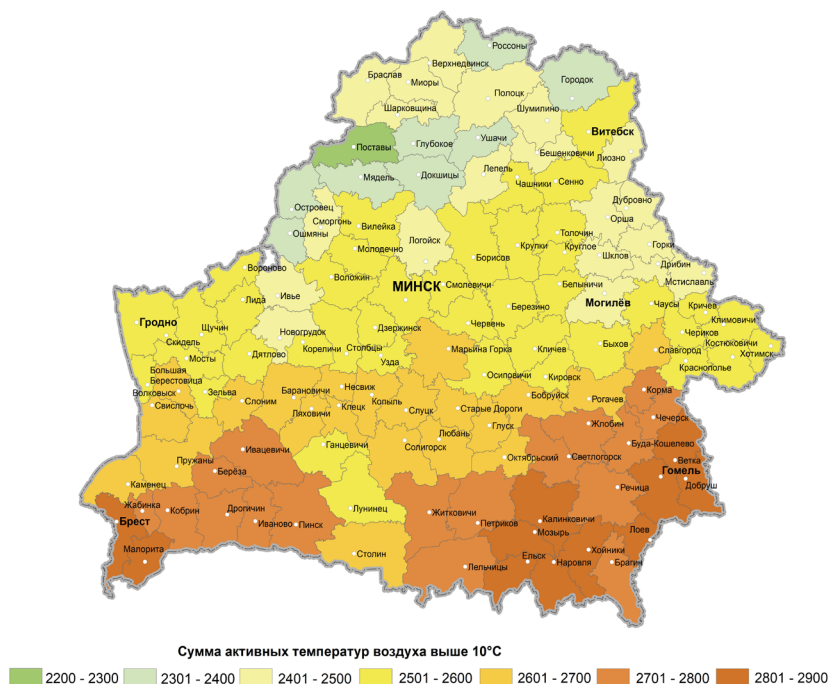


Рис. 1. Группировка районов республики по сумме активных температур (САТ) воздуха > 10 °С

Сахарная свекла по своим биологическим особенностям предъявляет повышенные требования к почвенным условиям, поэтому размещение посевов этой культуры должно основываться на данных о пригодности почв для ее выращивания. Она хорошо реагирует как на типовые различия почв, так и на гранулометрический состав почвообразующих и подстилающих пород.

Разнообразие почв по типам, степени увлажнения, гранулометрическому составу, характеру строения почвообразующих пород, степени окультуренности в различном их сочетании приводит к тому, что на разных уровнях землепользования (от республики до хозяйства) пахотные земли характеризуются неоднородностью компонентного состава и различным уровнем эффективного плодородия. Для районного уровня землепользования характерен свой «индивидуальный» набор почвенных разновидностей. Так, например, в компонентном составе пахотных земель Солигорского района представлено 89 почвенных разновидностей, Молодечненского – 98. На уровне отдельного хозяйства может насчитываться более 100 почвенных разновидностей. Это указывает на то, что землепользования обладают разным агроэкологическим потенциалом для выращивания сахарной свеклы. Поэтому согласно разработанной в институте частной агропроизводственной группировки под сахарную свеклу к наиболее пригодным почвам отнесены: по типовой принадлежности и степени увлажнения – дерново-карбонатные и дерново-подзолистые автоморфные, оглеенные, слабоглееватые и остаточно-слабоглееватые; по гранулометрическому составу – легко- и среднесуглинистые мощные, связносупесчаные мощные и подстилаемые моренным суглинком с глубины до 1,0 м (рис. 2).



Рис. 2. Почвенные разновидности пригодные для возделывания сахарной свеклы

В группу пригодных почв входят дерново-карбонатные и дерново-подзолистые средне- и легкосуглинистые, подстилаемые песком, и рыхлосупесчаные, подстилаемые суглинком, а также временно избыточно увлажненные аналогичного гранулометрического состава. В эту же группу входят дерново-подзолистые

заболоченные, дерново-карбонатные и дерновые заболоченные осушенные глееватые средне- и легкосуглинистые почвы, связносупесчаные и рыхлосупесчаные, подстилаемые суглинком.

К малопригодным почвам для возделывания сахарной свеклы относятся дерново-карбонатные и дерново-подзолистые глинистые и тяжелосуглинистые; связносупесчаные, подстилаемые песком; связнопесчаные, подстилаемые суглинком, как автоморфные, так и временно избыточно увлажненные, глееватые осушенные. Непригодными являются рыхлосупесчаные, подстилаемые песком, связнопесчаные на мощных песках и все рыхлопесчаные почвы независимо от типовой принадлежности и степени увлажнения, а также все глеевые (неосушенные и осушенные) и неосушенные глееватые почвы более связного гранулометрического состава (суглинистые и связносупесчаные) независимо от подстилания [2, 9]. Согласно отраслевому регламенту оптимальные агрохимические показатели для возделывания сахарной свеклы: pH 5,8–6,5, содержание гумуса – не менее 1,8 %, подвижного фосфора и обменного калия – не менее 150 мг/кг почвы, бора – не менее 0,7 мг/кг почвы. Допускается ее возделывание в пределах pH 5,5–7,0 [9].

В настоящее время подсчет пригодных почв проводился по всем районам республики. Ранее были исключены практически все районы Витебской области и отдельные районы Минской и Гродненской областей, где сумма активных температур не превышала 2200 °С. Доля площадей пахотных земель, пригодных для выращивания сахарной свеклы с учетом компонентного состава почвенного покрова и его агроэкологических свойств (эродированность, кислотность, содержание гумуса) по административным районам приведены на картосхеме (рис. 3) и в разрезе областей – в таблице 1.

Таблица 1

**Пригодность пахотных земель для возделывания сахарной свеклы
по административным областям республики**

Области	Общая посевная площадь, тыс. га 01.01.2023	Пригодно пахотных земель		Возможная посевная площадь с учетом севооборота	
		га	%	га	%
Брестская	899,0	80498	9,0	20125	2,3
Витебская	780,4	373823	46,7	93456	11,7
Гомельская	912,1	110585	11,5	27646	2,9
Гродненская	744,6	352261	47,4	88065	11,9
Минская	1215,4	547841	44,9	136 960	11,2
Могилевская	762,4	424752	54,0	106 188	13,5
Республика Беларусь	5313,9	1889760	35,0	472440	8,8

В целом по республике площадь пахотных земель, пригодных под сахарную свеклу, составляет 35,0 % от общей площади пахотных земель. В Витебской, Гродненской, Минской и Могилевской областях доля этих земель колеблется от 44,9 % до 54,0 %, менее всего пригодных почв в Гомельской и Брестской областях (11,5 % и 9,0 % соответственно). По районам площадь пригодных почв колеблется от 0,1 % в Лунинецком, Петриковском и Лельчицком районах до 80,1 % в Шкловском районе. Максимальные площади пригодных почв (более 60 %) сосредоточены в 5 районах Минской области (Воложинский, Минский, Дзержинский, Несвижский,

Копыльский), 6 районах Могилевской области (Круглянский, Шкловский, Горецкий, Могилевский, Чаусский, Кричевский), Ошмянском районе Гродненской области. В Витебской области сахарная свекла не выращивается, но здесь также в 3 районах площадь пригодных почв занимает более 60 % пахотных земель (Дубровенский, Оршанский, Толочинский).

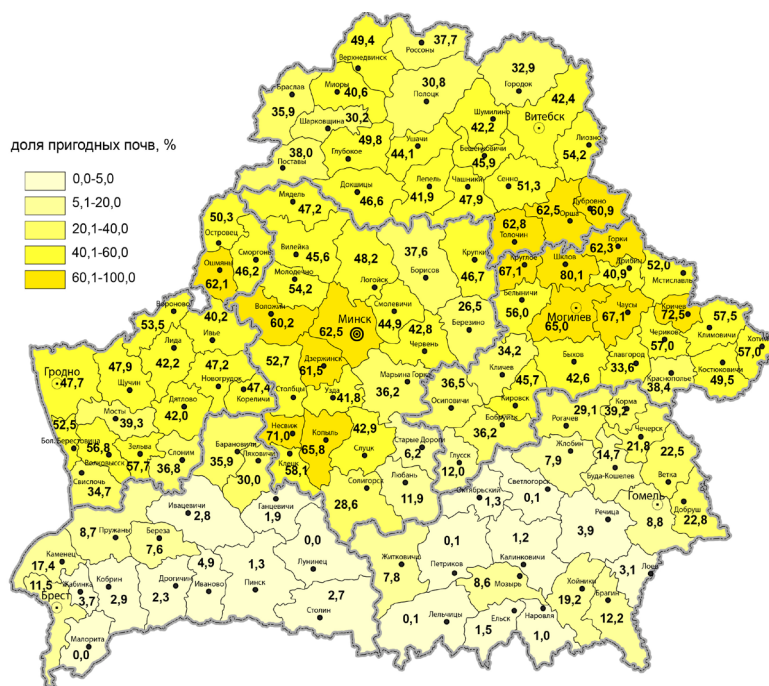


Рис. 3. Удельный вес пригодных пахотных земель Республики Беларусь для возделывания сахарной свеклы

Сравнение возможной посевной площади (8,8 %) с учетом севооборота (табл. 1) и фактических данных посевных площадей (1,5–1,9 %) показывает, что в республике имеется значительный резерв для расширения посевов сахарной свеклы и подбора участков для ее оптимального размещения (табл. 2).

В настоящее время свекла выращивается в 57 районах республики. Сюда входят 17 районов Гродненской области, 14 – Минской, 13 – Брестской, 10 – Могилевской, 2 – Витебской и 1 район Гомельской области.

На основании статистических данных были составлены графики, отражающие изменение продуктивности свеклы по районам относительно среднеемноголетнего урожая по области (рис 3). При обработке данных не учитывалась информация по Витебской и Гомельской областям, так как свекла здесь до 2021 г. не выращивалась. С 2021 г. она выращивается в Жлобинском районе Гомельской области, а с 2022 г. – в Оршанском и Толочинском районах Витебской области.

Анализ данных показывает, что за последние пять лет в среднем по республике урожайность сахарной свеклы составляет 477 ц/га. Наиболее урожайным был 2019 г. – 521 ц/га. Среди областей особо выделяется Гродненская область, где с 2018 по 2022 гг. средний урожай сахарной свеклы составила 539 ц/га. Минимальной урожайностью характеризуется Могилевская область – 384 ц/га.

Таблица 2

**Посевные площади сахарной свеклы в Республике Беларусь
(сельскохозяйственные организации, 2018–2022 гг.) [10]**

Области	Посевная площадь сахарной свеклы									
	2018 г.		2019 г.		2020 г.		2021 г.		2022 г.	
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
Брестская	20,7	2,5	19,0	2,2	17,1	1,9	19,2	2,2	19,6	2,2
Витебская	—	—	—	—	—	—	—	—	0,7	0,1
Гомельская	—	—	—	—	—	—	0,1	0,01	0,1	0,01
Гродненская	33,8	4,6	31,8	4,3	25,6	3,4	24,8	3,3	27,1	3,6
Минская	37,7	3,1	34,5	2,8	30,7	2,5	30,6	2,5	34,4	2,8
Могилевская	7,3	1,0	8,2	1,1	9,2	1,2	10,4	1,4	9,9	1,3
Беларусь	99,6	1,9	93,5	1,7	82,6	1,5	85,1	1,6	91,8	1,7

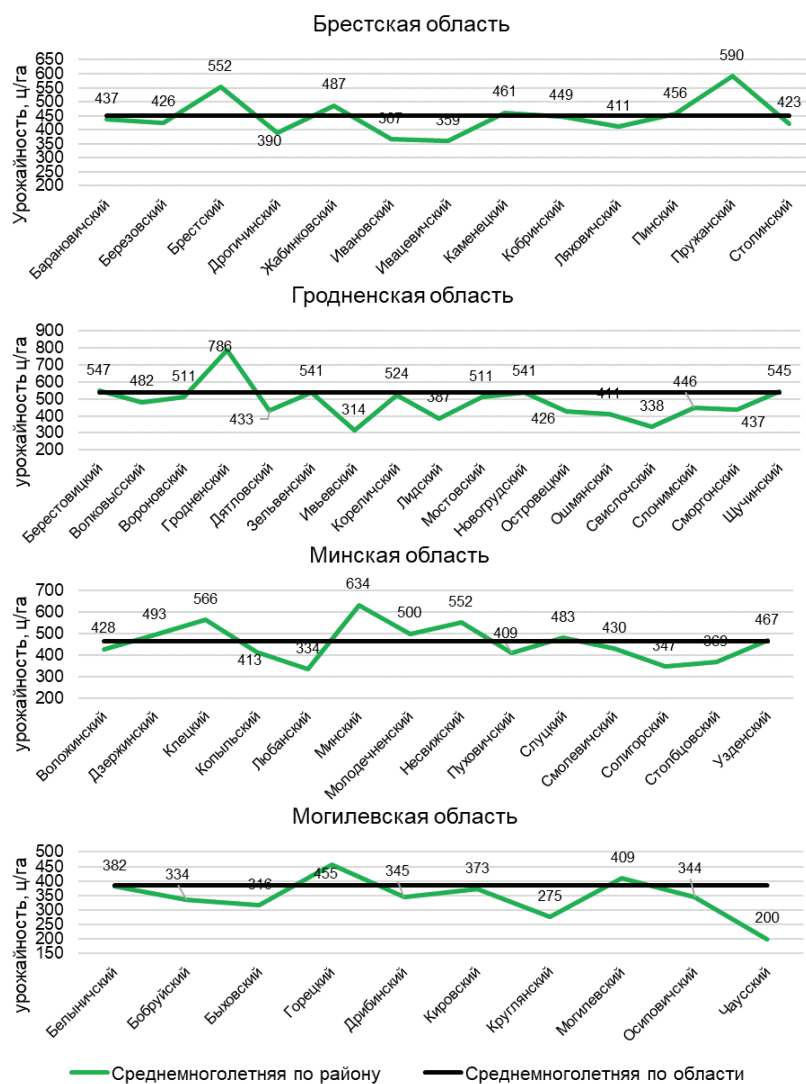


Рис. 4. Изменение урожайности сахарной свеклы по районам (2018–2022 гг.)

Как видно из графиков урожайность сахарной свеклы по районам достаточно выровнена относительно среднеемноголетних данных. Коэффициент устойчивости получения урожая составляет 0,81 в Могилевской области, 0,85 – в Минской, 0,92 – в Брестской и 0,96 – в Гродненской области. Таким образом, Минская и Могилевская области относятся к зоне допустимой устойчивости получения урожая, а Брестская и Гродненская области – к зоне нормативной устойчивости получения урожая сахарной свеклы.

Результаты исследования являются научной основой для планирования посевных площадей по областям и районам республики для формирования их оптимальной структуры.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено, что на территории республики произошло увеличение минимального показателя суммы активных температур ($CAT > 10^{\circ}C$) по административным районам и соответственно, вся территория Беларуси в настоящее время является благоприятной для возделывания сахарной свеклы.

Площадь пригодных почв под сахарную свеклу по республике составляет 35,0 % от общей площади пахотных земель, изменяясь по областям от 9,0 % в Брестской до 47,4 % в Гродненской и по районам – от 0,1 % в Лунинецком, Петриковском и Лельчицком районах до 80,1 % в Шкловском районе.

Сахарная свекла выращивается в 57 районах Беларуси: в 17 районах Гродненской области, 14 – Минской, 13 – Брестской, 10 – Могилевской, 2 – Витебской и в 1 районе Гомельской области. Сравнение возможной посевной площади (8,8 %) с учетом севооборота и фактических данных посевных площадей (1,5–1,9 %) показывает, что в республике имеется значительный резерв для расширения посевов сахарной свеклы и подбора участков для ее оптимального размещения.

Средняя урожайность сахарной свеклы за 2018–2022 гг. составила 477 ц/га. Максимальной урожайностью характеризуется Гродненская область, где средний урожай культуры составил 539 ц/га, а минимальной – Могилевская область (384 ц/га). Коэффициент устойчивости получения урожая сахарной свеклы в республике изменяется от 0,81 в Могилевской области до 0,96 в Гродненской области. Минская и Могилевская области относятся к зоне допустимой устойчивости, а Брестская и Гродненская области – к зоне нормативной устойчивости получения урожая сахарной свеклы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смеян Н. И.* Пригодность почв БССР под основные сельскохозяйственные культуры / Н. И. Смеян. – Минск: Ураджай, 1980. – 175 с.
2. Пригодность почв Республики Беларусь для возделывания отдельных сельскохозяйственных культур: (рекомендации) / В. В. Лапа [и др.]; РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2011. – 63 с.
3. *Шибут, Л. И.* Роль различных факторов в оценке плодородия пахотных земель Беларуси / Л. И. Шибут, Н. В. Радченко // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 47–54.
4. *Сушков, М. Д.* Сахарная свекла как основной источник получения сахара

в нашей стране / М. Д. Сушков // Достижения науки и техники АПК. – 2006. – № 10. – С. 54–57.

5. Кравцов, А. М. Сахарная свекла, технология выращивания и продуктивность / А. М. Кравцов, И. А. Павелко // Итоги научно-исследовательской работы за 2021 год: материалы юбил. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию Кубанского ГАУ, Краснодар, 06 апреля 2022 г.; отв. за выпуск А. Г. Кощаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2022. – С. 31–32.

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

7. Карпук, В. В. Растениеводство: учеб. пособие / В. В. Карпук, С. Г. Сидорова. – Минск: БГУ, 2011. – 351 с.

8. ТКП-2018 (33520) Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель. Технология работ. Госкомимущество. – Минск, 2018.

9. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур, технических и кормовых растений: сб. отрасл. регл. / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»; рук. разработ: Ф. И. Привалов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – 530 с.

10. 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-khozyaystvo/statisticheskie-izdaniya/index_39701/. – Дата доступа: 15.03.2023 г.

SUITABILITY OF SOILS OF ARABLE LAND IN BELARUS FOR THE CULTIVATION OF SUGAR BEET

T. N. Azaronak, O. V. Matychenkova, D. V. Matychenkau,
S. V. Dydyska, E. D. Anan'ko

Summary

The article analyzes the agro-ecological conditions for the cultivation of sugar beets, calculates the areas of suitable soils by regions and draws up a map of their distribution by administrative districts. The republic has a significant reserve for expanding sugar beet crops and selecting plots for its optimal placement. Based on harvest data for 2018–2022 the stability coefficient of sugar beet harvesting is calculated. Minsk and Mogilev regions belong to the zone of acceptable stability, and Brest and Grodno regions belong to the zone of regulatory stability of sugar beet harvesting. The obtained research results are the scientific basis for planning acreage by regions and districts of the republic to form their optimal structure.

Поступила 11.05.23

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

С. В. Дыдышко¹, Т. Н. Азаренок¹, О. В. Матыченкова¹, С. В. Шульгина²

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

*²Высшая аттестационная комиссия РБ,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Особенностью современного процесса почвообразования является превалирование антропогенного фактора в формировании компонентного состава почвенного покрова пахотных земель. Интенсивное агрогенное воздействие приводит к сильному преобразованию зональных почв, их ускоренной трансформации и, как следствие, к возникновению антропогенно-преобразованных почв [1, 4, 5, 8, 9–12, 23, 24, 28, 29].

В республике при проведении крупномасштабных почвенных исследований на почвенных картах с достаточной полнотой отражается генезис почвообразующих пород, обуславливающих исходный гранулометрический состав почв. Минералогический и химический составы, общие физические, водно-воздушные, тепловые свойства и режимы, почвообразующих пород наследуются почвами и определяют их морфологические признаки и свойства. Гранулометрический состав в условиях Беларуси является одним из важнейших показателей плодородия почв, который определяет интенсивность протекания почвообразовательных процессов, связанных с превращением, миграцией и аккумуляцией тонкодисперсной фракции (< 0,01 мм), органических и минеральных соединений не только в пахотном горизонте почв, но и метровой корнеобитаемой толще. Строение почвообразующих пород, их генезис и гранулометрический состав оказывают влияние на качество почв, находящихся в интенсивной системе земледелия, определяют их производительную способность и агроэкологический потенциал для эффективного возделывания сельскохозяйственных культур.

Вовлечение почв в длительное сельскохозяйственное использование вызывает изменение не только их наиболее динамичных (агрохимических, физико-химических) свойств, но, и как считалось ранее, консервативных (содержание и соотношение гранулометрических фракций) характеристик. С учетом региональных особенностей почвообразования в пахотных почвах происходит накопление, а затем закрепление новых признаков и свойств, ряд которых не характерен для естественного почвообразования: наблюдаются различия в соотношении содержания ила, средней и мелкой пыли, во фракции физической глины, концентрирующей основную массу органического вещества [27]. Различия в соотношении этих гранулометрических фракций в результате агрогенеза и наличие взаимосвязей

с гумусным состоянием почвы оказывают влияние на содержание, качество гумуса и, следовательно, уровень потенциального плодородия почв [2, 7, 13, 17]. Гумусовые вещества почвы, несмотря на сравнительно небольшое содержание, играют важнейшую роль в создании почвенного плодородия и в питании растений. Установлено, что с коллоидными и илистыми частицами связан гумус преимущественно фульватного типа, а с более крупными фракциями – гуматного. Таким образом, особенности гумусонакопления в почвах во многом определяются их гранулометрическим составом и генезисом [3, 7, 14, 20, 25]. С тонкодисперсной составляющей тесно связаны буферные свойства – важнейшая почвенно-химическая характеристика, являющаяся одним из основных показателей поглощательной способности почв. В условиях усиливающегося агрогенного воздействия неизбежно изменение кислотно-основных свойств, что в конечном итоге отражается на продуктивности сельскохозяйственных культур. Буферные свойства отражают способность не только противостоять резкому изменению свойств почв при внешних воздействиях, но и способность возобновлять предыдущую величину pH во времени и отвечают за реализацию буферных механизмов к подкислению.

Поэтому необходимым и важным представляется разработка таких критериев и показателей, которые позволили бы оперативно определить направленность происходящих изменений и дать объективную оценку агроэкологического состояния почв, обнаружить которые возможно при условии наличия эталона сравнения, а именно, естественных почв. Такими критериями могут являться показатели гумус-гранулометрических отношений и взаимосвязей (содержание ила, средней и мелкой пыли, насыщенность физической глины илом и пылью, содержание гумуса в почве и в физической глине, степень насыщенности физической глины гумусом) и кислотно-основной буферности (площадь буферности в кислотном и щелочном интервалах).

Цель исследования – провести оценку агроэкологического состояния дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава, находящихся в интенсивной системе земледелия.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований явились пахотные дерново-палево-подзолистые почвы, сформировавшиеся на мощных лессовидных легких суглинках, занимающих 83,7 % в составе пахотных земель ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области (балл плодородия – 72,3, индекс окультуренности – 0,92) и пахотные дерново-подзолистые почвы связно- и рыхлосупесчаного гранулометрического состава, подстилаемые с глубины до 0,5–1,0 м моренным суглинком, занимающих 52,2 и 11,5 % в составе пахотных земель ОАО «Голоцк» Пуховичского района Минской области (балл плодородия – 68,6 и 55,9 соответственно, индекс окультуренности – 0,90 и 0,88 соответственно), а также их естественные аналоги (почвы под лесом) в качестве эталона сравнения (рис. 1).

Лабораторные исследования по определению гранулометрического состава проведены методом «пипетки» по Н. А. Качинскому (ГОСТ 12536-2014) [15], общее содержание гумуса, (%) – по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91) [22].



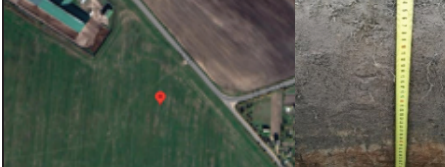



<p>Полуяма 6–22 заложена на пахотных землях ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области за д. Леонтьевичи (53°46'46,9" с.ш. 27°29'51,9" в. д.), h = 198 м (р/у № 41, э/у № 235) Культура: яровой ячмень. Удобрения: N₇₈P₆₂K₁₂₀.</p>	
<p>Полуяма 8–22 заложена на пахотных землях ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области за д. Скориничи (53°48'17,7" с. ш. 27°31'7,60" в. д.), h = 223 м (р/у № 23, э/у № 132) Культура: озимая тритикале. Удобрения: N₁₆₅P₉₁K₁₅₇</p>	
<p>Почвы: дерново-палево-подзолистые суглинистые почвы, развивающиеся на мощных лессовидных легких суглинках</p>	
<p>Полуяма 1–22 заложена на пахотных землях ОАО «Голоцк» Пуховичского района Минской области за а/г Голоцк (53°42'02,7"с. ш. 27°50'14,5" в. д.), h = 184 м Культура: многолетние травы. Удобрения: N₁₀₀.</p>	
<p>Полуяма 2–22 заложена на пахотных землях ОАО «Голоцк» Пуховичского района Минской области около д. Пески (53°42'50,1"с. ш. 27°48'59,5" в. д.), h = 183 м Культура: озимая тритикале. Удобрения: N₂₀₀₊₁₁₀.</p>	
<p>Почвы: дерново-подзолистые супесчаные почвы, развивающиеся на пылевато-песчанистых связных супесях, подстилаемых с глубины до 0,5–1,0 м моренным суглинком</p>	
<p>Полуяма 9–22 заложена на пахотных землях ОАО «Голоцк» Пуховичского района Минской области за д. Токарня (53°41'42,3"с. ш. 27°49'12,3" в. д.), h = 186 м Культура: озимая тритикале. Удобрения: N₂₀₀₊₁₁₀.</p>	
<p>Полуяма 10–22 заложена на пахотных землях ОАО «Голоцк» Пуховичского района Минской области около д Пески (53°42'33,7" с. ш. 27°49'17,2" в. д.), h = 182 м Культура: озимая тритикале. Удобрения: N₂₀₀₊₁₁₀.</p>	
<p>Почвы: дерново-подзолистые супесчаные почвы, развивающиеся на водно-ледниковых рыхлых супесях, подстилаемых с глубины до 0,5–1,0 м моренным суглинком</p>	

Рис. 1. Морфологический облик дерново-подзолистых почв-объектов исследования (фрагмент)

Показатели гумус-гранулометрических отношений и взаимосвязей рассчитаны по методике В. С. Крыщенко с соавторами [17]: базовое значение ила (a_{dt} , %) и пыли (b_{dt} , %) в физической глине, насыщенность физической глины илом (V_a , %) и пылью (V_b , %), константы динамического равновесия (K_a , K_b), содержание гумуса в физической глине (x_p , %) и насыщенность физической глины гумусом (W , %):

y – содержание физического песка в почве, %;

z – содержание физической глины в почве, %;

a_ϕ – содержание илистой фракции, %;

b_ϕ – содержание пылеватых фракций физической глины, %;

$a_{dt} = 0,01 \cdot z^2$ – базовое детерминантное расчетное содержание илистой фракции в почве как статистически наиболее вероятная величина для данного значения z , %;

$b_{dt} = z - a_{dt} = 0,01 \cdot y \cdot z$ – базовое расчетное содержание пылеватых фракций физической глины почвы, %;

$K_a = a_\phi / a_{dt}$ – константа динамического равновесия при $a_\phi > b_\phi$;

$K_b = b_\phi / a_{dt}$ – константа динамического равновесия при $b_\phi > a_\phi$;

K_a и K_b могут принимать значения $> 1,0$ (физическая глина насыщена илом (пылью)), $< 1,0$ (физическая глина не насыщена илом (пылью)) и равные 1,0 при $a_\phi = a_{dt}$;

$V_a = 100 \cdot a_\phi / z$ – степень насыщенности физической глины илом при $a_\phi > b_\phi$, %;

$V_b = 100 \cdot b_\phi / z$ – степень насыщенности физической глины пылью при $a_\phi < b_\phi$, %;

y_r – содержание гумуса в почве, %;

$x_p = y_r \cdot K$ – расчетное содержание гумуса в физической глине при $K > 1,0$, %;

$x_p = y_r / K$ – расчетное содержание гумуса в физической глине при $K < 1,0$, %;

$W = 100 \cdot x_p / z$ – степень насыщенности физической глины гумусом, %.

Определение кислотно-основной буферности проводили по методу Аррениуса [16]. Оценка показателей кислотно-основной буферности основана на определении сдвига величины pH почвенных суспензий при добавлении к ним кислот или щелочей различной концентрации. В качестве базисной кривой использована кривая титрования суспензии кварцевого песка. Показатели естественной буферной способности в кислотном и щелочном интервале рассчитывали по П. П. Надточему [18].

Коэффициент трансформации почв (КТП) определялся по формуле (1) [26]:

$$\text{КТП} = \sum \text{индексов} - (n-1), \quad (1)$$

где, $\sum \text{индексов}$ – сумма числовых выражений индексов,

n – количество используемых индексов.

Коэффициент устойчивости почв (КУП) определялся по формуле (2) [19]:

$$\text{КУП} = \frac{\sum \text{показателей классов}}{n} - (n-1) \quad (2)$$

где, n – количество используемых классов.

Алгоритм оценки агроэкологического состояния почв, находящихся в длительном сельскохозяйственном использовании, приведен на рисунке 2.

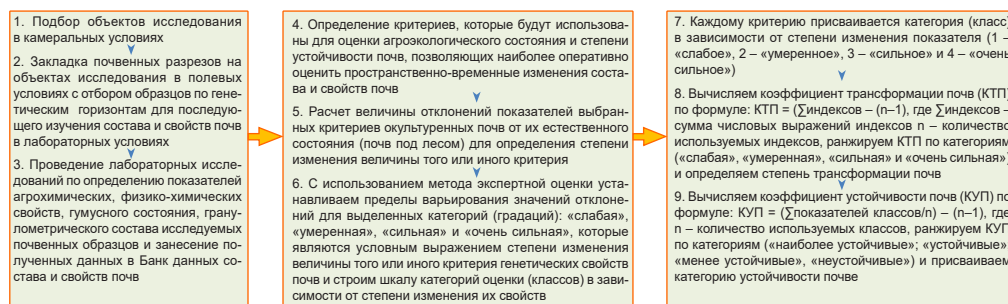


Рис. 2. Алгоритм оценки трансформации агроэкологического состояния почв в результате длительного агрогенного воздействия

Определение криволинейных коэффициентов корреляции (η) по Б. А. Доспехову [6] между показателями гумус-гранулометрических отношений и кислотно-основной буферности с производительной способностью выполнено только для пахотных горизонтов окультуренных дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава на которых проведены учеты урожайности сельскохозяйственных (зерновых) культур методом полевых мелкоделяночных учетов ($S = 1 \text{ м}^2$) в производственных посевах. Проверка выборки на нормальность распределения проводилась на основании вычисления показателей асимметрии и эксцесса с использованием программы Excel (вставка Формулы – «Статистические»). Показатель асимметрии отражает отклонение вершины реальной кривой распределения от идеальной по оси абсцисс, величина показателя эксцесса характеризует подъем или снижение вершины распределения, то есть – отклонения по оси ординат. Далее на основании формул Е.И. Пустыльника [21] вычислялись критические значения асимметрии и эксцесса с последующим их сравнением с полученными значениями асимметрии (A_s) и эксцесса (E_s). Значения асимметрии (A_s) ($|0,17| - |0,80|$) и эксцесса (E_s) ($|0,03| - |1,21|$) для легкосуглинистых почв оказались меньше критических значений (0,90 и 3,00 соответственно, $n = 56$); значения A_s ($|0,03| - |0,86|$) и E_s ($|0,18| - |2,28|$) для связносупесчаных почв оказались меньше критических значений (0,96 и 2,95 соответственно, $n = 52$); значения A_s ($|0,01| - |0,63|$) и E_s ($|0,02| - |2,11|$) для рыхлосупесчаных почв оказались меньше критических значений (1,20 и 3,45 соответственно, $n = 32$), что указывает на нормальность распределения данных в выборках.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим порядок проведения оценки агроэкологического состояния почв на примере зональных дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава:

1. Подбираем объекты исследования в камеральных условиях.
2. В полевых условиях закладываем почвенные разрезы и полуямы с их морфологическим описанием, привязкой по GPS и характеристикой рабочих участков, отбором почвенных образцов по генетическим горизонтам для аналитических исследований состава и свойств почв в лабораторных условиях.
3. Результаты лабораторных исследований заносятся в Банк данных агроэкологического состояния почв (рис. 3). Систематизированные данные послужат

основой проведения статистических расчетов с целью получения развернутой характеристики трансформации состава и свойств исследуемых почв в условиях длительного сельскохозяйственного использования.

	E	F	G	H	U	V	AB	AP	AQ	AR	AS	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX
1	Oblast	Region	Plant	Hoz	N_Profil	Year	Soil_Kod_2 003	Horizon_index_o	Horizon_on_in	Horizon_Probe	Horizon_P	Includes_size	Gran_1	Gran_2	Gran_3	Gran_4	Gran_5	Gran_6	Gran_7	Silt	Clay
	Область	Район	Форма предприятия (СПК, колхоз и т.д.)	Название предприятия	Номер разреза	Год закладки и разреза	Классификационное положение почвы (на уровне равнозначия)	Обозначение горизонтов (индексировка)	Обозначение горизонтов (интервал)	Глубина отбора образца, мм	Глубина взятия образца, мм	Гран. состав (>3 мм)	Гран. состав (%), 3-1	Гран. состав (%), 1-0,5 мм	Гран. состав (%), 0,5-0,25 (0,05 мм)	Гран. состав (%), 0,25-0,05 (0,01 мм)	Гран. состав (%), 0,05-0,01 (0,005 мм)	Гран. состав (%), 0,01-0,005 (0,001 мм)	Гран. состав (%), 0,005-0,001 (0,0005 мм)	Содержание ила (%)	Содержание физической глины (%)
2	текстовый	текстовый	текстовый	текстовый	числовой	числовой	текстовый	текстовый	текстовый	числовой	числовой	текстовый	числовой	числовой	числовой	числовой	числовой	числовой	числовой	числовой	числовой
3	Минская	Пухович	ОАО	Голоцк	11УР-	2021	дерново-	A ₁	P	5 – 15	10	0,5	2,9	12,3	4	28,5	35,5	5,4	6	4,9	16,3
4	Минская	Пухович	ОАО	Голоцк	11УР-	2021	дерново-	A ₁ B ₁	BE	20 – 30	25	0,8	3,4	12	3,7	23,5	40,7	5,5	5,4	5	15,9
5	Минская	Пухович	ОАО	Голоцк	11УР-	2021	дерново-	B ₁	B ₂	35 – 45	40	0,2	2,8	7,4	1,8	20,2	44,2	3,7	2,4	17,3	23,4
6	Минская	Пухович	ОАО	Голоцк	11УР-	2021	дерново-	A ₁	P	5 – 15	10	0,3	3,5	11,2	3,5	26,3	39,4	5,8	6,1	3,9	15,8
7	Минская	Пухович	ОАО	Голоцк	11УР-	2021	дерново-	A ₁ B ₁	BE	20 – 30	25	0,8	3,4	9,6	3,2	25,3	41,3	6	5,4	5	16,4
8	Минская	Пухович	ОАО	Голоцк	11УР-	2021	дерново-	B ₁	B ₂	35 – 45	40	0	2,9	8	2,5	21,9	42	4,1	3,4	15,2	22,7
9	Минская	Пухович	ОАО	Голоцк	12УР-	2021	дерново-	A ₁	P	5 – 15	10	0	2,8	5,7	2,1	31,2	38,4	7,8	7	5	19,8
10	Минская	Пухович	ОАО	Голоцк	12УР-	2021	дерново-	A ₁ B ₁	BE	35 – 45	40	0,1	2,3	13,8	4	27,7	35,9	5,7	4,5	6	16,2
11	Минская	Минский	ОАО	Голоцк	12УР-	2021	дерново-	A ₁	P	5 – 15	10	0	3,1	6,2	2,4	31	37,6	8	6,6	5,1	19,7
12	Минская	Минский	ОАО	Голоцк	12УР-	2021	дерново-	A ₂	E	30 – 40	35	0	2,6	10,4	2,9	22,3	44,7	8,4	6,3	2,4	17,1
13	Минская	Минский	ОАО	Голоцк	12УР-	2021	дерново-	A ₁ B ₁	BE	35 – 45	40	0,1	2	13,4	3,7	28,1	36,3	5,9	4,3	6,2	16,4

Рис. 3. Фото фрагмента Банка данных состава и свойств дерново-подзолистых почв Беларуси

4. В условиях Беларуси именно гранулометрический состав принимается за один из главных критериев качества почв. Наибольшее значение имеет наиболее подвижная составляющая – фракция физической глины, определяющая почвенное плодородие. Содержание физической глины в естественных и окультуренных почвах различной степени агрогенной трансформации одинакового гранулометрического состава находится на одном уровне, но распределение ила и пылеватых фракций в них различается, существенно изменяя ее качественный состав. Тонкодисперсная составляющая тесно связана с другими элементами почвенной системы, в частности с гумусом почвы: количественное содержание и качественный состав фракции физической глины влияет на содержание гумуса и его качество, и, следовательно, на уровень потенциального почвенного плодородия. Поэтому в качестве критериев для оценки агроэкологического состояния почв нами использованы показатели гумус-гранулометрических отношений (a_f , b_f , V_a , V_b , y_r , x_r , W) (табл. 1), имеющие связи с производительной способностью сельскохозяйственных (зерновых) культур (корреляционное отношение η изменяется от 0,47 до 0,93).

При исследовании гумус-гранулометрических отношений показатели условно разделяются на два блока [17]. Первый блок характеризует гранулометрические фракции почвенных образцов (z – содержание физической глины, a_f – ила, b_f – средней и мелкой пыли), базовые значения ила (a_{dt}) и пыли (b_{dt}), степень насыщенности физической глины илом (V_a) или пылью (V_b), а также константы динамического равновесия (K_a , K_b) по преобладающей фракции. Термин «константа» введен в связи с тем, что данный показатель состояния почвы всегда зависит от базового значения ила (a_{dt}), которое для каждого содержания физической глины является величиной постоянной и используется в качестве эталона сравнения. Второй блок характеризует гумусированность почвенных образцов по двум показателям – содержанию гумуса в почве (y_r) и в физической глине (x_r). Гумусированность фракций физической глины предопределяет величину содержания гумуса в почве, которую можно рассматривать как содержание гумуса в физической глине, механически

разбавленной массой, которая мало или вовсе не содержит гумуса, т. е. физическим песком. В данном случае играет роль не только количество физического песка (частицы $> 0,01$ мм), но и отношение ила и пыли в физической глине. Избыток ила или пыли в физической глине, по отношению к базовому значению ила, усиливает разбавляющий эффект. В этом случае значение x_p намного превышает y_p , а константы имеют наибольшие значения. Показатель x_p несет информацию о дисперсности почвенного образца, где концентрация гумуса в физической глине изменена («разбавлена») через константу равновесия (K) до значения y_p .

Константы ($K_{a,b}$) сводятся к тому, чтобы привести к единому масштабу показатели содержания гумуса в почве, и сопоставить друг с другом, так как они приводятся к общему знаменателю, т. е. выполняют функцию универсального коэффициента пропорциональности между гранулометрическим составом, гумусностью почв и ее физической глиной.

Важное теоретическое и практическое значение имеет показатель степени насыщенности физической глины гумусом (W), совокупно выражающий общий принцип связи гранулометрического состава и гумусности почв, учитывая все многообразие отношений гранулометрических фракций ($K_{a,b}$) во взаимосвязи с гумусностью физической глины (x_p) и содержанием гумуса в почве (y_p).

Установлено, что естественные почвы (под лесом) различного гранулометрического состава и их окультуренные аналоги относятся к группе почв с пылевой физической глиной – фактическое содержание пылевых фракций (b_{ϕ}) в гумусовых (гумусово-элювиальных) и пахотных горизонтах превышает фактическое содержание илистой фракции (a_{ϕ}). Причем физическая глина насыщена пылью – фактическое содержание b_{ϕ} больше базового содержания ила (a_{dt}). Исследуемые почвы характеризуются «средней» степенью насыщенности физической глины пылью, за исключением окультуренных рыхлосупесчаных, для которых характерна «сильная» степень насыщенности пылью.

Содержание гумуса в физической глине (x_p) значительно превышает его содержание в почве (y_p), поскольку константы динамического равновесия (K_b) $> 1,0$, что свидетельствует об избытке пыли в физической глине относительно базового содержания ила (a_{dt}) в рассматриваемых горизонтах. Насыщенность физической глины гумусом (W) изменяется в почвах под лесом от 40,97 % в связносупесчаных до 54,96 % – в рыхлосупесчаных; в пахотных аналогах – от 33,20 % в легкосуглинистых до 98,93 % в рыхлосупесчаных почвах.

Важное значение имеют и буферные свойства, тесно связанные с тонкодисперсной составляющей, отражающие физико-химический аспект плодородия почв. Буферность почвы обусловлена присутствием в ней коллоидов, содержащих способные к обмену ионы: ионы водорода определяют буферность по отношению к щелочам, а ионы основания – к кислотам. Таким образом, буферные свойства отражают способность почв противостоять резкому изменению ее свойств при внешних воздействиях и отвечают за реализацию буферных механизмов к подкислению. Поэтому для оценки агроэкологического состояния почв нами также использованы и показатели площадей буферности в кислотном (S_K) и щелочном ($S_{щ}$) интервалах (табл. 2), имеющие связи с производительной способностью сельскохозяйственных (зерновых) культур (корреляционное отношение η изменяется от 0,41 до 0,86). Установлено, что почвы под лесом независимо от гранулометрического состава характеризуются «средней» буферностью к подщелачиванию и «очень низкой» – к подкислению; окультуренные аналоги – «низкой» буферностью к подщелачиванию и «средней» – к подкислению.

Таблица 1

Количественное содержание фракций физической глины по профилю дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава и их взаимосвязь с содержанием гумуса в почве

Горизонт, глубина отбора образца, см	Фактическое содержание фракций, %			Базовое содержание фракций, %			Насы- щенность физической глины илом, %	Насы- щенность физической глины пы- лью, %	Константы динамиче- ского равно- весия	Гумус, %		Насы- щенность физической глины гуму- сом, %
										в почве	в глине	
	$< 0,01 \text{ мм}$	$< 0,001 \text{ мм}$	$0,001-0,01 \text{ мм}$	a_{dt}	b_{dt}	V_a	V_b	$K_{a,b}$	y_r			x_p
	z	a_{ϕ}	b_{ϕ}									
Естественные легкосуглинистые почвы, б*												
$A_1, 4-9$	21,5±1,5	7,6±1,9	13,9±2,0	4,63±0,64	16,83±0,88	35,27±7,84	64,73±7,84*	3,03±0,43	3,15±1,45	9,46±4,60	43,68±20,79	
Окультуренные легкосуглинистые почвы, б												
$A_n, 5-25$	22,4±1,6	8,0±2,0	14,4±2,0	5,04±0,71	17,36±0,88	35,51±8,65	64,49±8,65	2,91±0,48	2,55±0,24	7,33±1,82	33,20±9,99	
Естественные связносупесчаные почвы, б												
$A_1A_2, 3-7$	17,1±0,5	7,2±0,4	9,9±0,1	2,94±0,15	14,20±0,30	42,16±1,28	57,84±1,28	3,38±0,16	2,08±0,14	7,02±0,38	40,97±2,67	
Окультуренные связносупесчаные почвы, б												
$A_n, 5-15$	17,8±0,7	6,3±1,0	11,5±1,2	3,17±0,24	14,62±0,42	35,20±5,86	64,80±5,86	3,65±0,31	2,46±0,17	8,97±0,72	50,48±4,43	
Естественные рыхлосупесчаные почвы, б												
$A_1A_2, 5-10$	13,3±1,1	4,9±0,5	8,4±0,6	1,78±0,28	11,52±0,78	36,82±0,67	63,18±0,67	4,77±0,43	1,55±0,35	7,33±2,89	54,96±20,26	
Окультуренные рыхлосупесчаные почвы, в												
$A_n, 5-15$	13,3±1,0	3,8±0,2	9,6±1,0	1,79±0,27	11,54±0,76	28,40±2,23	71,60±2,23	5,37±0,33	2,44±0,14	13,11±1,10	98,93±15,37	

* а) 50,0–54,9 % – слабая степень насыщенности физической глины илом или пылью; б) 55,0–64,9 % – средняя; в) 65,0–74,9 % – сильная; г) > 75,0 % – очень сильная.

Таблица 2

**Площади буферности в щелочном и кислотном интервале относительно кривой
буферности кварцевого песка**

Генетический горизонт, глубина отбора образца, см		Площадь буферности		Естественная буферность	
		в щелочном интервале ($S_{щ}$), см ²	в кислотном интервале ($S_{к}$), см ²	в щелочном интервале ($S_{щ}$), %	в кислотном интервале ($S_{к}$), %
Легкосуглинистые	A_1 , 4–9	22,8±1,0	2,3±0,1	45,0±2,1	15,6±0,6
	$A_{п1}$, 5–25	10,7±2,4	11,3±2,9	20,9±4,7	47,3±6,9
Связносупесчаные	A_1A_2 , 3–7	17,7±1,4	2,0±0,3	34,4±2,8	14,1±1,2
	$A_{п1}$, 5–15	11,9±1,4	7,7±1,5	23,0±2,7	38,2±4,3
Рыхлосупесчаные	A_1A_2 , 5–10	16,4±1,2	1,9±0,2	31,8±2,3	13,5±1,2
	$A_{п1}$, 5–15	7,8±0,8	10,9±2,2	15,1±0,2	46,6±5,2

5. Для отражения изменения количественных показателей гумус-гранулометрических отношений и буферности в верхнем корнеобитаемом слое производим расчет величин отклонений показателей гумус-гранулометрических отношений и буферности почв пахотных земель от таковых в исходном (естественном) состоянии.

6. Оценка степени изменения свойств почв во времени под влиянием антропогенного фактора требует создания соответствующей шкалы, позволяющей дифференцировать изменения почвенных критериев по степени проявления. На основе величин отклонений, с использованием метода экспертной оценки, устанавливаем пределы варьирования значений отклонений для выделенных категорий (градаций), которые являются условным выражением степени изменения величины того или иного критерия генетических свойств почв (табл. 3).

Таблица 3

**Шкала степени изменения критериев генетических свойств почв в результате
длительного сельскохозяйственного использования**

№	Критерий	Степень изменения величины критерия:			
		1 – «слабая»	2 – «умеренная»	3 – «сильная»	4 – «очень сильная»
1	Содержание ила, $a_{ф}$, %	≤ 5	5,1–15	15,1–30	> 30
2	Содержание пыли в ф/г, $b_{ф}$, %	≤ 5	5,1–15	15,1–30	> 30
3	Насыщенность ф/г илом, V_a , %	≤ 5	5,1–15	15,1–30	> 30
4	Насыщенность ф/г пылью, V_b , %	≤ 5	5,1–15	15,1–30	> 30
5	Содержание гумуса в почве, u_n , %	≤ 5	5,1–20	20,1–40	> 40
6	Содержание гумуса в ф/г, x_p , %	≤ 20	20,1–50	50,1–100	> 100
7	Насыщенность ф/г гумусом, W , %	≤ 20	20,1–50	50,1–100	> 100
8	Буферности в кислотном интервале, S_k , см ²	≤ 20	20,1–50	50,1–100	> 100
9	Буферности в щелочном интервале, $S_{щ}$, см ²	≤ 5	5,1–30	30,1–60	> 60

7. Каждому критерию присваиваем категорию (класс) в зависимости от степени изменения показателя (1 – «слабое» изменение, 2 – «умеренное», 3 – «сильное» и 4 – «очень сильное») как со знаком «+» так и «–», то есть имеет двойственный характер (табл. 4).

8. Рассчитываем коэффициент трансформации почв (КТП) по формуле 1, ранжируем КТП по категориям с одинаковым шагом и определяем степень трансформации почв: в данном случае для легкосуглинистых почв КТП = 10, что соответствует «умеренной» степени трансформации; для связносупесчаных почв КТП = 15 («умеренная» степень трансформации); для рыхлосупесчаных почв КТП = 19 («сильная» степень трансформации).

Таблица 4

Оценка агроэкологического состояния дерново-подзолистых почв

Критерий	Естественная почва	Величина отклонения, %	Категория (класс) изменения*	КТП и степень трансформации почв**	КУП и категория устойчивости почв***
	A ₁ (A ₂)	A _n			
Легкосуглинистые почвы					
a _ф , %	7,6	+5,3	2	10 («умеренная»)	1,50 («устойчивые»)
b _ф , %	13,9	+3,6	1		
V _а , %	35,27	+0,7	1		
V _б , %	64,73	−0,4	1		
y _г , %	3,15	−19,3	2		
x _р , %	9,46	−22,5	2		
W, %	43,68	−24,0	2		
S _щ , см ²	22,8	−53,1	3		
S _к , см ²	2,3	+391,3	4		
Связносупесчаные почвы					
a _ф , %	7,2	−12,5	2	15 («умеренная»)	2,75 («менее устойчивые»)
b _ф , %	9,9	+16,2	3		
V _а , %	42,16	−16,5	3		
V _б , %	57,84	+12,0	2		
y _г , %	2,08	+18,3	2		
x _р , %	7,02	+27,8	2		
W, %	40,97	+23,2	2		
S _щ , см ²	17,7	−32,8	3		
S _к , см ²	2,0	+285,0	4		
Рыхлосупесчаные почвы					
a _ф , %	4,9	−22,4	3	19 («сильная»)	3,75 («неустойчивые»)
b _ф , %	8,4	+14,3	2		
V _а , %	36,82	−22,9	3		
V _б , %	63,18	+13,3	2		
y _г , %	1,55	+57,4	4		
x _р , %	7,33	+79,4	3		
W, %	54,96	+81,4	3		
S _щ , см ²	16,4	−52,4	3		
S _к , см ²	1,9	+473,7	4		

* 1 – «слабое» изменение, 2 – «умеренное», 3 – «сильное» и 4 – «очень сильное»;

** Коэффициент трансформации почв (КТП) и степень трансформации: 1–8 – «слабая» степень трансформации, 9–16 – «умеренная», 17–24 – «сильная» и > 24 – «очень сильная»;

*** Коэффициент устойчивости почв (КУП) и категория устойчивости: КУП ≤ 1,00 – «наиболее устойчивые»; 1,01–2,00 – «устойчивые»; 2,01–3,00 – «менее устойчивые»; > 3,00 – «неустойчивые».

9. Рассчитываем коэффициент устойчивости почв (КУП) по формуле 2, ранжируем КУП по категориям с одинаковым шагом и определяем категорию устойчивости почв: в данном случае для легкосуглинистых почв КУП = 1,50 (соответствует категории «устойчивые»); для связносупесчаных почв КУП = 2,75 («менее устойчивые»); для рыхлосупесчаных почв КУП = 3,75 («неустойчивые»).

Таким образом, критерии, основанные на показателях гумус-гранулометрических отношений и буферности, могут быть использованы для усовершенствования системы показателей оценки агроэкологического состояния почв при проведении научных, мониторинговых исследований, учебном процессе, разработке мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв. Следовательно, оценка устойчивости дерново-подзолистых почв к агрогенным воздействиям, находящихся в условиях длительного сельскохозяйственного использования, имеет комплексный подход и актуальный характер в условиях государственной экологической политики рационального использования почв.

ВЫВОДЫ

В статье приведены методические аспекты оценки агроэкологического состояния зональных дерново-подзолистых почв легкосуглинистого, связно- и рыхлосупесчаного гранулометрического состава, находящихся в условиях длительного сельскохозяйственного использования, по отдельным критериям их генетических свойств.

В качестве критериев использованы показатели гумус-гранулометрических отношений и буферности в кислотном и щелочном интервалах, имеющих связи с производительной способностью сельскохозяйственных (зерновых) культур – корреляционное отношение η изменяется от 0,41 до 0,93. В основе оценки применены расчетные величины отклонений вышеперечисленных показателей почв пахотных земель от исходного (естественного) состояния с последующим определением степени изменения величины того или иного критерия («слабая», «умеренная», «сильная» и «очень сильная») и вычислением коэффициента трансформации почв (КТП) и коэффициента устойчивости почв (КУП).

Согласно полученным данным установлено, что почвы легкосуглинистого и связносупесчаного гранулометрического состава характеризуются «умеренной» степенью трансформации (КТП составили 10 и 15 соответственно), а рыхлосупесчаные – «сильной» (КТП составил 19). По категории устойчивости к агрогенным воздействиям почвы легкосуглинистого гранулометрического состава характеризуются как «устойчивые» (КУП составил 1,50), связносупесчаные – «менее устойчивые» (2,75), а рыхлосупесчаные – «неустойчивые» (КУП составил 3,75). Таким образом, результаты вышеизложенных исследований указывают на четкую зависимость степени трансформации изученных разновидностей почв от их гранулометрического состава: почвы более легкого гранулометрического состава сильнее подвержены трансформации, и, следовательно, характеризуются более низкой устойчивостью к агрогенным воздействиям.

Полученные данные могут быть использованы для усовершенствования системы показателей оценки и контроля агроэкологического состояния зональных дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава в учебном процессе, при проведении научных, мониторинговых исследований, разработке мероприятий по сохранению плодородия почв и их рациональному использованию, построении моделей плодородия почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрогенная трансформация гранулометрического состава агродерново-подзолистых почв / С. В. Шульгина [и др.] // Антропогенная трансформация природной среды: сб. ст. междунар. конф; [отв. ред. С. А. Кулакова] / Пермс. гос. ун-т. – Пермь, 2010. – Т. 1. – Ч. 2. – С. 322–329.
2. *Артемьева, З. С.* Органическое вещество и гранулометрическая система почвы / З. С. Артемьева. М.: ГЕОС, 2010. – 240 с.
3. Ахтырцев, Б. П. Зависимость состава гумуса от гранулометрического состава в почвах лесостепи / Б. П. Ахтырцев, Л. А. Яблонских // Почвоведение. – 1986. – № 7. – С. 114–121.
4. *Гаргарина, О. С.* Влияние генезиса и гранулометрического состава суглинистых почвообразующих пород на производительную способность дерново-подзолистых почв при выращивании зерновых культур: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03. / О. С. Гаргарина; Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Горки, 2002. – 117 с.
5. *Градусов, Б. П.* Факторы и процессы увеличения ила в пахотных горизонтах дерново-подзолистых суглинистых почв / Б. П. Градусов // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 1(34). – С. 93–95.
6. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
7. *Дьяконова, К. В.* Оценка почв по содержанию и качеству гумуса для производственных моделей почвенного плодородия / К. В. Дьяконова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 32 с.
8. *Иванов, И. А.* Изменение свойств подзолистых и дерново-подзолистых почв на песчаных породах при окультуривании / И. А. Иванов, А. И. Иванов, Н. А. Цыганова // Почвоведение. – 2004. – № 4. – С. 487–499.
9. К проблеме облегчения гранулометрического состава дерново-подзолистых почв пахотных земель Беларуси / С. В. Шульгина [и др.] // Почва – удобрение – урожай: материалы Международной научно-практической конференции; редкол.: И. Р. Вильдфлуш (отв. ред.) [и др.]. – Горки: БГСХА, 2017. – С. 238–240.
10. *Канев, В. В.* Трансформация свойств подзолистых почв подзоны средней тайги при освоении и окультуривании / В. В. Канев, В. В. Мокиев // Почвоведение. – 2008. – № 3. – С. 349–359.
11. *Караваева, Н. А.* Агрогенные почвы, условия среды, свойства и процессы / Н. А. Караваева // Почвоведение. – 2005. – № 12. – С. 1518–1529.
12. *Коротков, А. А.* Характер почвообразовательного процесса и свойства дерново-подзолистых почв при интенсивном их окультуривании / А. А. Коротков // Окультуривание почв нечерноземной зоны в условиях ускоренной интенсификации сельского хозяйства. – Л., 1977. – С. 12–16.
13. *Крыщенко, В. С.* Матричные черты гумус-гранулометрических отношений в полидисперсной системе почв / В. С. Крыщенко [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки – 2003. – № 4. – Ч. 2. – С. 102–110.
14. *Лебедь, В. В.* Генезис и диагностика черноземных почв однолессовых террас рек Левобережной Лесостепи Украины: автореф. дис. ... канд. биологических наук.

наук: 03.00.18 / В. В. Лебедь; Институт почвоведения и агрохимии им. А. Н. Соколовского. – Харьков, 2021. – 24 с.

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

16. Методические указания по химическому анализу почв для студентов IV курса специальности «Почвоведение» (Определение катионнообменной способности почв) / сост. О. А. Йонко. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2000. – С. 16–18.

17. Моделирование отношений элементов полидисперсной системы почв с использованием эталона сравнения / В. С. Крыщенко [и др.] // Живые и биокосные системы. – 2013 – № 2. – 15 с.

18. *Надточий, П. П.* Определение кислотно-основной буферности почв / П. П. Надточий // Почвоведение. – 1993. – № 4. – С. 34–39.

19. Оценка степени устойчивости дерново-подзолистых почв Беларуси к агрогенным воздействиям / С. В. Шульгина [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 2(51). – С. 43–55.

20. *Полупан, Н. И.* Почвы Украины и повышение их плодородия. Экология, режимы и процессы, классификация и генетико-производственные аспекты / Н. И. Полупан. – К.: Урожай, 1988. – Том 1. – 296 с.

21. Подготовка данных к дисперсионному анализу [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://studfile.net/preview/9113829/page:34/>. Дата доступа: 15.03.2023.

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

23. *Самодуров, П. С.* Об изменениях минеральной основы почвенного поглощающего комплекса дерново-подзолистых почв под влиянием процессов окультуривания / П. С. Самодуров // Почвенные условия и применение удобрений: Труды ин-та почвоведения. – М., 1968. – Вып. 5. – С. 56–82.

24. *Самофалова, И. А.* Изменения стабильного свойства почвы (гранулометрического состава) в результате длительного применения различных систем удобрения / И. А. Самофалова / Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России: материалы междунар. науч. конф.; под ред. Б. Ф. Апарина. – СПб., 2011. – С. 97–99.

25. Состав и активные формы гумуса дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почв и их связь с урожаем сельскохозяйственных культур: отчет о НИР (промеж.) / БГСХА; рук. темы А.И. Горбылева. – Горки, 1985. – 13 с. – № ГР 84010948.

26. Специфика антропогенной трансформации свойств отдельных типов почв пахотных земель Беларуси / С. В. Шульгина [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 42–48.

27. *Травникова, Л. С.* Закономерности гумусонакопления: новые данные и их интерпретация / Л. С. Травникова // Почвоведение. – 2002. – № 7. – С. 832–843.

28. *Цытрон, Е. В.* Влияние строения почвообразующих пород на производительную способность дерново-подзолистых почв: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Е. В. Цытрон; Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2003. – 113 с.

29. *Чижикова, Н. П.* Изменение минералогического состава тонкодисперсных фракций почв под влиянием агротехногенеза / Н. П. Чижикова // Почвоведение. – 2002. – № 7. – С. 867–875.

**METHODOLOGICAL ASPECTS OF ASSESSING THE
AGROECOLOGICAL STATE OF SOILS UNDER CONDITIONS
OF LONG-TERM AGRICULTURAL USE**

S. V. Dydyshka, T. N. Azaronak, O. V. Matychenkova, S. V. Shul'gina

Summary

Methodological aspects of assessing the agroecological state of zonal soddy-podzolic soils of various granulometric composition under conditions of long-term agricultural use are presented. The assessment is based on the calculated deviations of the indicators of humus-granulometric ratios and buffer capacity in the acidic and alkaline range of arable land soils from the initial (natural) state, followed by determining the degree of change in the value of one or another criterion ("weak", "moderate", "strong" and "very strong") and the calculation of transformation coefficients and soil stability. The obtained criteria can be used to improve the system of indicators for assessing and monitoring the agroecological state of soils in the educational process, when conducting scientific and monitoring studies, developing measures to preserve soil fertility and their rational use, and building models of soil fertility.

Поступила 20.04.23

УСТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ К ЗАСУХАМ И СОСТАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ КАРТ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫЯВЛЕННЫХ ФАКТОРОВ (на примере Каменецкого района)

**В. Б. Цырибко, А. М. Устинова, И. А. Логачев, А. В. Юхновец,
А. А. Митькова, Н. А. Карабец**

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

ВВЕДЕНИЕ

Рациональное использование почвенно-земельных ресурсов – приоритетное направление устойчивого развития и обеспечения продовольственной и экологической безопасности Республики Беларусь. Последствия изменения климата за последние несколько десятков лет (теплые зимы, увеличение продолжительности и теплообеспеченности вегетационного периода, увеличение повторяемости засух, высоких температур воздуха и др.) оказывают существенное влияние на земледельческую отрасль сельского хозяйства нашей республики.

Наибольший ущерб аграрному производству наносит засуха. В засушливые и сухие годы урожайность зерновых и зернобобовых культур может снижаться на 20 % и более. Увеличение повторяемости засух и высоких температур воздуха, особенно в южных и восточных районах страны, приводит к ухудшению водного режима почв (пересыханию пахотного слоя) и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур.

Территория Беларуси расположена в зоне достаточного увлажнения, однако за последние десятилетия вероятность возникновения засух и их продолжительность увеличились как за счет глобального изменения (потепления) климата, так и за счет антропогенного воздействия на природную среду (мелиорация земель, нарушение естественного растительного покрова, водоотведение, урбанизация и др.) [1].

По данным Белгидромета за период с 1968 г. по 2016 г. наибольшее число засух (около 90 %), отмеченных хотя бы в одной области и занявших более 30 % ее площади, наблюдалось в мае-июле. В половине лет из 20 (1989–2010 гг.) в республике отмечались засушливые условия на протяжении 2-х и более месяцев в период активной вегетации растений.

Засушливые условия, отразившиеся на сельскохозяйственном производстве, отмечены в ряде областей республики в 1992–1996, 1999, 2002, 2004, 2006, 2009, 2010, 2012–2016 гг. Повторяемость засух увеличивается с северо-запада на юго-восток. В Гомельской области, например, повторяемость засух с площадью охвата не менее 30 % области составляет 50 %, то есть примерно 1 раз в 2 года, в Брестской области – 1 раз в 2–3 года [2].

Актуальность предлагаемых исследований обусловлена тем, что Стратегия адаптации сельского хозяйства Республики Беларусь к изменениям климата предусматривает разработку системы мер, направленных на минимизацию негативного воздействия засух и засушливых явлений в первую очередь в растениеводческой отрасли аграрного производства. В связи с этим требуется углубленное изучение влияния климатических изменений на протекание почвенных процессов, водный режим и влагообеспеченность сельскохозяйственных культур в период их вегетации.

Цель исследований заключалась в выявлении параметров устойчивости почв сельскохозяйственных земель к засухам и составление цифровых карт пространственного распределения данных факторов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований является почвенный покров Гомельского, Добрушского и Лоевского районов Гомельской области, Брестского и Каменецкого районов Брестской области, а также Волковысский район Гродненской области.

В процессе исследований использовался комплекс методов: цифровое почвенное картографирование, абстрактно-логический, аналитический, расчетно-конструктивный, статистических группировок, экспертных оценок. Картографический материал создавался в программной среде QGIS.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Параметры устойчивости почв сельскохозяйственных земель к засухам и засушливым явлениям. Почва как природное образование в зависимости от ее, прежде всего, водно-физических свойств, обладает свойством смягчения отрицательных воздействий климатических изменений, в частности проявления засух из засушливых явлений. Успешное выполнение подобной функции во многом зависит от степени устойчивости почв, которая трактуется как «склонность и предрасположенность к неблагоприятным климатическим воздействиям». При этом следует иметь в виду, что на устойчивость почв оказывают влияние не только их внутренние свойства, особенности и структурный состав, но имеют существенное значение внешние социально-экономические и экологические факторы, которые во многом определяют способность почв противостоять изменяющимся климатическим условиям.

В настоящее время актуальным является определение системы индикаторов и установление определенного набора показателей, необходимых для оценки устойчивости почв, что даст возможность определить приоритетные действия по проведению адаптационных мероприятий к таким изменениям.

В качестве ключевых характеристик, определяющих степень устойчивости почв, предлагается использовать показатели запасов почвенной влаги. В отличие от климатических условий, которые отличаются определенным своим фоновым проявлением, водный режим почв формируется, помимо климата, под влиянием положения в рельефе, а также обуславливается строением почвообразующих пород, гранулометрическим составом, генетическими особенностями почвообразования и др. Данные факторы определяют степень устойчивости почв к засухам и засушливым явлениям [2].

Поскольку частота засушливых явлений наибольшая в южных частях республики, был проанализирован почвенный покров данных территорий. В результате было установлено, что в Полесском регионе широкое распространение имеют автоморфные по степени увлажнения и легкие по гранулометрическому составу почвы.

В Беларуси почвы в зависимости от степени увлажнения подразделяются на:

– автоморфные – почвы, которые на протяжении вегетационного периода практически не испытывают переувлажнения и не содержат в своем профиле цветковых признаков оглеения;

– полугидроморфные – почвы, находящиеся в состоянии избыточного увлажнения такое количество дней, при котором в их профиле образуются глеевые пятна или сплошные глеевые горизонты;

– гидроморфные – почвы, находящиеся в состоянии полной влагоемкости почти полный год [3, 4].

В Институте почвоведения и агрохимии под руководством профессора Т. А. Романовой выполнен анализ многолетних данных (28 лет) республиканской гидрометеорологической службы по динамике влажности почв разного генезиса (более 500 тыс. проб определений влажности на 84 участках). Это позволило типизировать характеристики увлажнения почв и определять их гидрологические особенности и режимы (табл. 1) [5].

Таблица 1

**Предельная полевая влагоемкость почв (наименьшая влагоемкость)
минеральных почв Беларуси, % [5]**

Почвообразующие породы	Части профиля	Автоморфные почвы	Полугидроморфные почвы					
			временно избыточно увлажняемые		глееватые		глеевые	
		ДП*	ДПБ	ДБ	ДПБ	ДБ	ДПБ	ДБ
Суглинки тяжелые и средние	верхняя	–	35	38	36	37	39	41
	средняя	–	30	37	33	35	35	38
Суглинки легкие	верхняя	24	28	–	30	–	37	–
	средняя	22	20	–	33	–	30	–
Супеси, подстилаемые мореной	верхняя	25	28	–	–	25	–	32
	средняя	16	16	–	–	17	–	26
Пески, супеси, смешаемые песками	верхняя	21	21	–	–	31	–	35
	средняя	13	19	–	–	27	–	31
Суглинки легкие лессовидные	верхняя	44	45	–	37	–	47	–
	средняя	29	26	–	28	–	33	–

* ДП – дерново-подзолистые, ДПБ – дерново-подзолистые заболоченные, ДБ – дерновые заболоченные.

Таким образом, влагообеспеченность почвы является ключевой переменной в системе классификации засух. С одной стороны – она может рассматриваться как индикатор почвенной засухи, так как она в значительной мере контролирует транспирацию и рост растений. С другой – влагообеспеченность почвы является показателем метеорологической и гидрологической засух, поскольку она обеспечивает агрегированную оценку количества доступной влаги, обусловленную

балансом количества осадков, испарения и разных видов стока. В то же время, данный фактор зависит, в первую очередь, от гранулометрического состава и степени гидроморфизма почв, что позволяет определить данные факторы как ключевые при оценке устойчивости почв к проявлению засух и засушливых явлений.

Гранулометрический состав почвы имеет большое агрономическое значение и является одним из важнейших признаков для ее качественной оценки. От гранулометрического состава почв и почвообразующих пород в значительной степени зависит интенсивность многих почвообразовательных процессов, связанных с превращением, перемещением и накоплением органических и минеральных соединений в почве. В результате в одних и тех же природных условиях на породах разного гранулометрического состава формируются почвы с различными свойствами.

Гранулометрический состав оказывает существенное влияние на все свойства почвы: тепловые, водные, воздушные, физико-химические, биохимические, окислительно-восстановительные условия, поглотительную способность; накопление в почве гумуса, зольных элементов и азота – на уровень плодородия в целом.

Коэффициент фильтрации – это скорость фильтрации при гидравлическом градиенте, равном единице. Он характеризует водопроницаемость почв и зависит от гранулометрического состава, плотности и пористости. Чем выше коэффициент, тем выше скорость фильтрации и, следовательно, ниже устойчивость к засухам.

Средние ориентировочные значения коэффициента фильтрации для основных видов грунтов приведены в табл. 2

Таблица 2

Ориентировочные значения коэффициента фильтрации почв и степень устойчивости к засухам и засушливым явлениям в зависимости от их гранулометрического состава

Гранулометрический состав	Коэффициент фильтрации, м/сут.	Степень устойчивости
Песок	2,00–100,00	наименее устойчивые
Супесь рыхлая	1,00–0,70	
Супесь связная	0,10–0,40	слабоустойчивые
Суглинок	0,005–0,40	наиболее устойчивые
Глина	0,005	
Торф слаборазложившийся	1,00–4,00	
Торф среднеразложившийся	0,15–1,00	среднеустойчивые
Торф сильноразложившийся	0,01–0,15	

На основе почвенно-гидрологических констант выполнена группировка почв по степени устойчивости к засухам и засушливым явлениям. Используются два почвенно-гидрологических параметра: среднее количество дней с содержанием влаги в 0–20-сантиметровом слое почвы ниже влажности разрыва капиллярной связи ($ВРК_1$) и максимальное количество дней с содержанием влаги в 0–20-сантиметровом слое почвы ниже влажности разрыва капиллярной связи ($ВРК_2$). Учитывался также гранулометрический состав почв и подстилающая порода (табл. 3).

Как следует из данных, представленных в таблице 3, наименее устойчивым к засухам и засушливым явлениям являются дерново-подзолистые автоморфные песчаные и рыхлосупесчаные почвы, подстилаемые песками, а также деградированные достаточно торфяные и постторфяные песчаные и супесчаные.

* 1 – наименее устойчивые, 2 – слабоустойчивые, 3 – среднеустойчивые, 4 – наиболее устойчивые.

Среднеустойчивые почвы обладают более коротким периодом иссушения. К ним относится большая группа почв, распространенных на территории республики, включая: дерново-подзолистые автоморфные легко- и среднесуглинистые; дерново-подзолистые слабоглееватые легко- и среднесуглинистые, песчаные и рыхло-супесчаные, подстилаемые связными породами; дерновые глееватые и глеевые песчаные и супесчаные, дерново-подзолистые глееватые и глеевые песчаные и супесчаные, дегроторфяные торфяно-минеральные, подстилаемые песком; дегроторфяные остаточные торфяные и постторфяные суглинистые; аллювиальные дерновые и дерновые заболоченные на песчаном и супесчаном аллювии.

42

дерновыми глееватыми и глеевыми суглинистыми; дерново-подзолистыми глееватыми и глеевыми суглинистыми; торфяными с разной мощностью торфа; торфяно-болотными, торфяно-глеевыми, торфяно-минеральными, подстилаемыми суглинком; дегроторфяными торфяно-минеральными, подстилаемыми суглинком; аллювиальным дерновыми и дерновыми заболоченными на суглинистом аллювии; аллювиальные заболоченные, аллювиальными (пойменными) иловато-торфяными почвами.

Предлагаемая группировка позволяет определить степень устойчивости наиболее распространенных типов почв республики к проявлению засух и засушливых явлений и создавать картографический материал, отражающий распределение почв по группам устойчивости к засухам и засушливым явлениям в программной среде QGIS.

Составление цифровых карт пространственного распределения факторов устойчивости почв сельскохозяйственных земель к засухам и засушливым явлениям. На рисунке 1 представлена разработанная цифровая карта пространственного распространения почв различной степени увлажнения (по основной почвенной разновидности) на территории Каменецкого района.

Для территории Каменецкого района характерно доминирование автоморфных почвенных разновидностей (49,9 %), что в сумме со значительной долей временно избыточно увлажненных (17,2 %) создает условия для активного развития и распространения засушливых процессов практически на всей его территории. Исключение составляет северная часть – территория ГПУ «НП Беловежская пуца».

На сельскохозяйственных землях Каменецкого района по параметру «степень увлажнения» 32,4 % занимают почвы, устойчивые к засухам и засушливым явлениям (глееватые, глеевые и гидроморфные). Слабоустойчивые к засухам (временно избыточно увлажненные) составляют 17,3 %, а наименее устойчивые (автоморфные) почвы – 50,3 % (рис. 2).

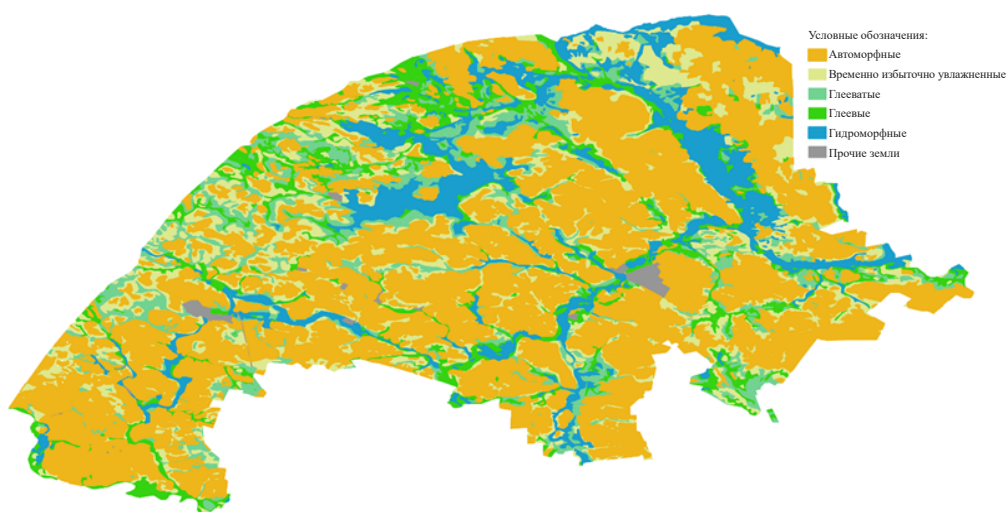


Рис. 1. Распространение почв различной степени увлажнения на территории Каменецкого района (по основной почвенной разновидности)

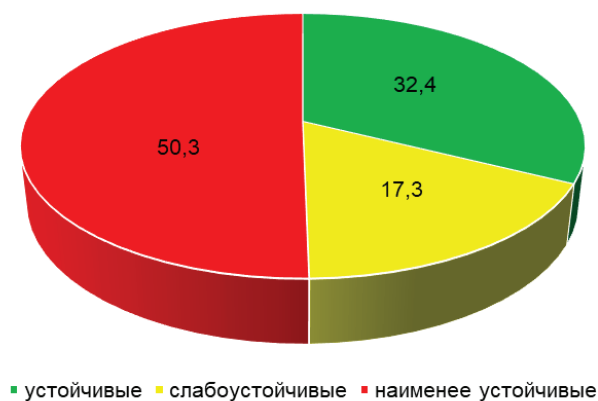


Рис. 2. Распределение почв по устойчивости к засухам и засушливым явлениям на территории Каменецкого района по степени увлажнения, %

На рисунке 3 представлена цифровая карта пространственного распространения почв различного гранулометрического состава на территории Каменецкого района.

Рыхлосупесчаные и связнопесчаные разновидности составляют более 75,0 % почвенного покрова Каменецкого района, что способствует увеличению потенциальных рисков проявления засух. Наибольшие риски по фактору гранулометрического состава – на юго-западной и юго-восточной частях территории района.

По параметру «гранулометрический состав почв» на сельскохозяйственных землях Каменецкого района 45,8 % занимают почвы, наименее устойчивые к засухам и засушливым явлениям. Это связно- и рыхлопесчаные по гранулометрическому составу почвы. Слабоустойчивые к засухам (рыхлосупесчаные по гранулометрическому составу) почвы составляют 35,5 % и устойчивые (легкосуглинистые, связносупесчаные, органогенные) – 18,7 % (рис. 4).

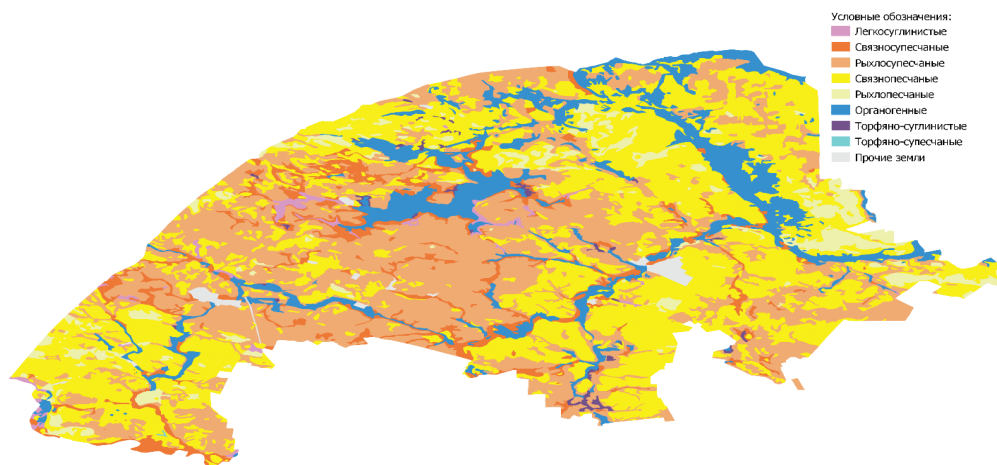


Рис. 3. Распространение почв различного гранулометрического состава на территории Каменецкого района (по основной почвенной разновидности)

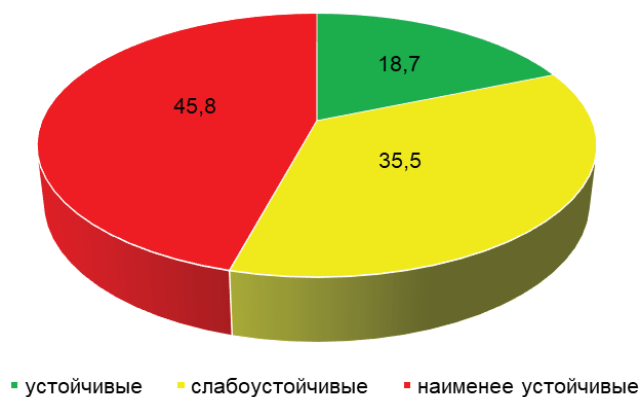


Рис. 4. Распределение почв по устойчивости к засухам и засушливым явлениям на территории Каменецкого района по гранулометрическому составу, %

В целом, основываясь на распределении основных факторов устойчивости к засухам, наиболее вероятно проявление данных явлений в южной части Каменецкого района.

В ходе исследований составлены также цифровые карты пространственного распределения параметров (гранулометрический состав почвенного покрова и степень увлажнения) устойчивости почв сельскохозяйственных земель к засухам Гомельского, Добрушского и Лоевского, Брестского и Волковысского районов.

На основании ранее созданных цифровых карт параметров устойчивости, а также разработанной шкалы устойчивости почв, в программной среде QGIS был создан картографический материал, отражающий распределение почв по группам устойчивости к засухам и засушливым явлениям (рис. 5).

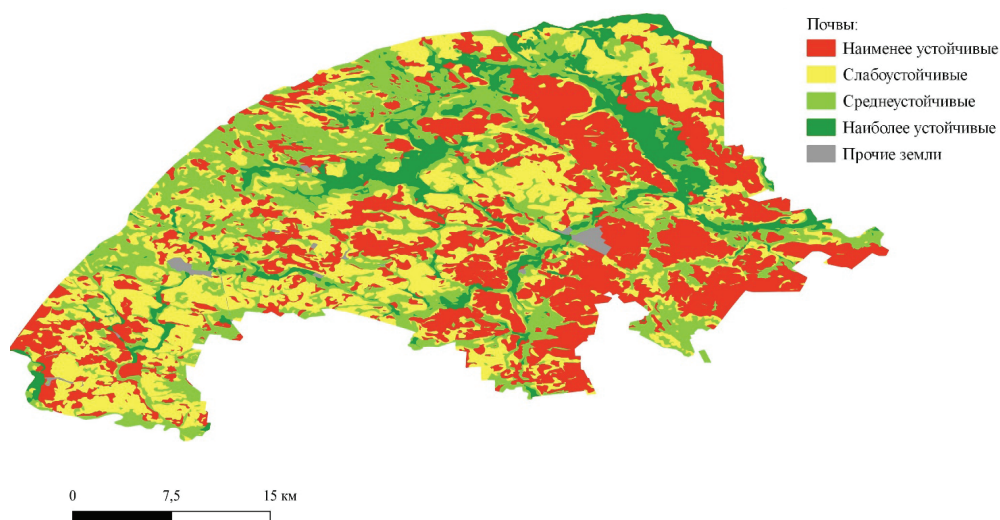


Рис. 5. Распределение почв Каменецкого района по степени их устойчивости к засухам и засушливым явлениям (по основной почвенной разновидности)

На территории Каменецкого района почвенный покров всех земель распределяется приблизительно равномерно по трем группам устойчивости: наименее устойчивые – 32,6 %, слабоустойчивые – 30,3, среднеустойчивые – 26,7 %. Наиболее устойчивых почв обнаружено всего 10,4 % (табл. 4).

Таблица 4

Распределение почв Каменецкого района по степени устойчивости к засухам и засушливым явлениям (по основной разновидности)

Почвы	Удельный вес, %	
	все земли	сельскохозяйственные земли
Наименее устойчивые	32,6	9,2
Слабоустойчивые	30,3	31,8
Среднеустойчивые	26,7	50,3
Наиболее устойчивые	10,4	8,7

Однако распределение по группам устойчивости почв сельскохозяйственных земель кардинально отличается. Так, доля наименее устойчивых более чем в три раза ниже – 9,2 % против 32,6 %, а среднеустойчивых – примерно в два раза выше (50,3 % против 26,7 %).

Такое изменение в распределении по группам устойчивости связано с размещением на севере района НП «Беловежская пуща», в котором широко распространены почвы, неустойчивые к засухам и засушливым явлениям.

ВЫВОДЫ

Влагообеспеченность почвы является ключевой переменной в системе классификации засух. С одной стороны, она может рассматриваться как индикатор почвенной засухи, так как она в значительной мере контролирует транспирацию и рост растений. С другой – влагообеспеченность почвы является показателем и метеорологической, и гидрологической засух, поскольку она обеспечивает агрегированную оценку количества доступной влаги, обусловленную балансом количества осадков, испарения и разных видов стока. В то же время, данный фактор зависит, в первую очередь, от гранулометрического состава и степени гидроморфизма почв, что позволяет определить эти параметры как ключевые при оценке устойчивости почв к проявлению засух и засушливых явлений.

Почвенный покров выбранных репрезентативных районов (Гомельского, Каменецкого, Добрушского, Волковысского, Брестского и Лоевского) подвержен высоким потенциальным рискам проявления засушливых явлений. Основные факторы риска – преобладание почв легкого гранулометрического состава автоморфной степени увлажнения.

Доля автоморфных почв в почвенном покрове Гомельского района составляет 36,8 %, Каменецкого – 49,9 %, Добрушского – 35,9 %, Волковысского – 60,7 %, Брестского – 31,3 %, Лоевского – 35,2 %.

Почвы легкого гранулометрического состава (песчаные и рыхлосупесчаные) преобладают во всех изученных районах и занимают в Гомельском районе 75,7 % территории, Каменецком – 85,1 %, Добрушском – 69,6 %, Волковысском – 65,4 %, Брестском – 86,8 %, Лоевском районе – 86,0 %.

Согласно цифровым картам, наименее устойчивы к засухам и засушливым явлениям почвы сельскохозяйственных земель расположены следующим образом: Гомельский и Каменецкий район – южная часть, Добрушский – северная и южная, Лоевский – центральная и южная часть, Брестский – на большей части района, за исключением пойм реки Западный Буг и ее притоков, Волковысский – вся территория.

На основании созданных цифровых карт параметров устойчивости, а также разработанной шкалы устойчивости почв, в программной среде QGIS создан картографический материал, отражающий распределение почв Каменецкого района по группам устойчивости к засухам и засушливым явлениям. Установлено, что почвенный покров Каменецкого района характеризуется высоким потенциальным риском проявления засух и засушливых явлений. Так удельный вес наименее устойчивых и слабоустойчивых почв в общей площади района составляет 62,9 % и 41,0 % от сельскохозяйственных земель. Стоит отметить, что наименее устойчивые к засухам и засушливым явлениям почвы относятся к категории земель несельскохозяйственного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мееровский, А. С.* Уязвимость почв сельскохозяйственных земель к засухам в условиях потепления климата Белорусского Полесья / А. С. Мееровский, В. И. Мельник, В. М. Яцухно // Мелиорация. – 2021. – № 2(96). – С. 29–36.
2. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата [Электронный ресурс] / В. Мельник [и др.]. – Минск-Женева, 2017. – 54 с. – Режим доступа : <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/Agroklimaticheskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus.pdf> – Дата доступа : 21.03.2023.
3. 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.
4. Почвы Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 632 с.
5. *Романова, Т. А.* Водный режим почв Беларуси / Т. А. Романова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 144 с.

DETERMINATION OF RESISTANCE PARAMETERS FOR SOIL OF AGRICULTURAL LANDS TO DROUGHTS AND COMPILATION OF DIGITAL MAPS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF THE IDENTIFIED FACTORS (for example of the Kamenetsk region)

V. B. Tsyrybka, H. M. Ustsinava, I. A. Lahachou,
A. V. Yukhnovets, A. A. Mit'kova, N. A. Karabets

Summary

The developed scale for grouping the main types of Belarus soils according to the degree of resistance to droughts and arid phenomena, depending on soil-hydrological constants, granulometric composition of soils and underlying rock (resistance

parameters) presents at the article. Based on the created digital maps of resistance parameters, as well as the developed scale of soil resistance, a cartographic material was created in the QGIS software environment reflecting the distribution of soils of the Kamenetsk region by groups of resistance to droughts and drought events. It has been established that the soil cover of the Kamenetsk region is characterized by a high potential risk of droughts and arid phenomena. The proportion of the least and weakly resistant soils in the total area of the region is 62,9 % and 41,0 % of agricultural land. It has been established that the soils least resistant to droughts and arid phenomena belong to the non-agricultural land.

Поступила 13.04.23

УДК 631.445.54

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОЛДОВЫ ПУТЕМ КОМБИНИРОВАНИЯ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ И ФИТОМЕЛИОРАТИВНЫХ ПРИЕМОВ

В. В. Чербарь, Т. Г. Лях

*Институт почвоведения, агрохимии и охраны почв им. Н. Димо,
г. Кишинев, Молдова*

ВВЕДЕНИЕ

В условиях практически полного отсутствия севооборотов с участием многолетних и однолетних бобовых трав и неприменения органических удобрений, в пахотных почвах Молдовы установился отрицательный баланс гумуса ($-0,72$ т/га в год), что привело к сокращению валового сбора сельскохозяйственной продукции почти в 2 раза. К недобору урожайности сельскохозяйственных культур приводит и отсутствие правильного соотношения между внесенными в почву минеральными и органическими удобрениями [9, 10].

Черноземы в результате распашки потеряли 35–40 % первоначальных запасов гумуса с негативными последствиями для их качественного состояния [1]. Пахотный слой черноземов стал бесструктурным и потерял способность сопротивляться уплотнению [3]. В результате уменьшения глубины основной обработки почв с 30–35 см до 12–20 см, под нынешним обрабатываемым слоем образовался уплотненный (слитой) горизонт, существенно снижающий плодородие почв (рис. 1, 2).

Главной причиной деградации свойств пахотного слоя черноземов стало уменьшение поступления в них органического вещества. На протяжении последних 25–30 лет органические удобрения в почву практически не вносили. До аграрной реформы ежегодно в почву поступало 6–7 т навоза, сейчас – 5–10 кг и только на частные участки, остальной массив пашни не удобряется. Исчез огромный клин люцерны и однолетних бобовых трав, а ведь устойчивое земледелие невозможно без правильного соотношения между земледелием и животноводством [8, 18, 19].



Рис. 1. Профиль и структурное состояние чернозема целинного



Рис. 2. Профиль и структурное состояние чернозема пахотного

Цель исследований состоит в восстановлении утраченных свойств пахотного слоя черноземов выщелоченных путем комбинированного использования агротехнических и фитомелиоративных приемов и формирования положительного баланса гумуса и азота в почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – черноземы выщелоченные Центральной Молдовы. Эти почвы полигенетического происхождения и распространены в периферийной части возвышенности Кодры в интервале высот 150–200 м. Черноземы выщелоченные сформировались в условиях теплого аридно-гумидного климата [14, 20, 21].

Исследованные почвы прошли через несколько фаз почвообразования [5, 13, 15, 16]:

- под широколиственными лесами – почвы бурые целинные с иллювиально-камбиковым горизонтом (профиль 1);
 - под пахотные земли – почвы бурые пахотные (профиль 2);
 - под степной растительностью на протяжении многих столетий – почвы эволюционировали в черноземы выщелоченные целинные (профиль 3);
 - снова под пашню – почвы черноземы выщелоченные пахотные (профиль 4).
- Почвы перечисленных фаз почвообразования приведены на рисунке 3.



Профиль 1

Профиль 2

Профиль 3

Профиль 4

Рис. 3. Спектр почв Молдовы разных фаз почвообразования

В фазу лесного почвообразования под элювиальным горизонтом бурых лесных почв образовался иллювиально-камбиновый (оглиненный «in situ») сильно уплотненный горизонт тяжелосуглинистого или легкосуглинистого гранулометрического состава с большим содержанием коллоидной фракции в иле (от 50 до 70 % от общего его содержания). Черноземы выщелоченные унаследовали этот горизонт от бурых целинных почв [2, 4].

Картосхема полевого опыта по улучшению свойств пахотного слоя чернозема выщелоченного пахотного путем внесения в почву одного и двух урожаев зеленой массы озимой и яровой вики в качестве органического удобрения (занятый пар) приведена на рисунке 4.



Рис. 4. Картосхема опытного участка

Возможности восстановления положительного баланса гумуса и утраченных свойств черноземов Молдовы, следующие [3, 7, 11, 12]:

Вывод на 10–15 лет из сельскохозяйственного оборота деградированных пахотных почв и восстановление на них целинной степной растительности. Исследования показали, что за 15 лет пребывания под степной растительностью содержание гумуса в бывшем пахотном слое чернозема выросло на 0,8 %, структура восстановилась на 80 %. Из-за отсутствия свободных земель (0,4 га пашни на 1 человека) этот способ восстановления почв в Молдове не приемлем.

Ежегодное внесение в почву не менее 10–15 т/га подстильного навоза для создания в них положительного баланса гумуса. Мера хорошая, но неосуществимая. Количество производимого в стране навоза, даже если удалось бы его собрать из всех крестьянских хозяйств, хватило бы только для удобрения 10 % площадей пахотных земель.

Внедрение севооборотов, где одно поле засеяно смесью люцерны и райграса. Мероприятие дало бы возможность восстановить деградированные почвы еще

на 10 % площади пашни, но для этого необходимо параллельно восстановить индустриальные животноводческие комплексы.

Использование в качестве органического удобрения зеленой массы вики (80 %) + пшеницы (20 %). В климатических условиях Молдовы возможны 2 варианта использования вики на зеленое удобрение:

а) озимая вика как промежуточная культура, посеянная в сентябре и заделанная в почву на зеленое удобрение в конце апреля;

в) в севообороте из 5 полей, где одно поле используется как занятый пар, засеваемый 2 раза в одном сельскохозяйственном году озимой и яровой вики на зеленое удобрение.

Данные о первоначальных свойствах черноземов выщелоченных опытного участка приведены в таблицах 1–3.

Таблица 1

Гранулометрический состав чернозема выщелоченного пахотного опытного участка

Горизонты и их глубина		Размер фракций в мм; содержание фракций в %							
		1,0–0,25	1,0–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	<0,01	Ка*
Ap 1	0–10	0,7	5,1	34,0	7,5	13,5	39,2	60,2	1,08
Ap 1	10–20	0,7	6,9	32,2	7,6	13,6	39,0	60,2	1,08
Ap 2	20–35	0,8	6,8	32,0	7,8	13,4	39,2	60,4	1,08
Ah	35–50	0,5	6,7	32,8	7,1	13,2	39,7	60,0	1,10
Bhw1	50–71	0,4	7,4	32,1	8,4	11,9	39,8	60,1	1,10
Bhw2	71–95	0,6	5,6	33,6	8,3	12,4	39,5	60,2	1,09
BC	95–117	0,5	5,1	36,0	7,7	12,0	38,7	58,4	1,06
BCk	117–130	0,5	5,0	38,1	7,4	12,4	36,6	56,4	1,01
Ck	130–150	0,5	5,1	38,3	7,5	12,5	36,1	56,1	1,00

* Ка – коэффициент оглеения [17].

Таблица 2

Физические свойства чернозема выщелоченного пахотного опытного поля (данные исследований почвы до посева вики)

Мощность горизонтов, см	Гигроскопическая влага, %	Максимальная гигроскопичность, %	Плотность твердой фазы, г/см ³	Плотность, г/см ³	Пористость общая, %	Сопротивление проникновению, кгс/см ²
10	5,8	11,9	2,60	1,24	52,3	9
10	5,5	11,4	2,61	1,42	45,6	22
15	5,4	11,3	2,63	1,52	42,2	28
15	5,6	12,0	2,65	1,54	41,3	26
21	5,5	11,8	2,66	–	–	–
24	5,5	11,4	2,69	–	–	–
22	5,2	10,9	2,71	–	–	–
13	4,5	10,5	2,72	–	–	–
20	4,5	10,5	2,72	–	–	–

Таблица 3

**Химические свойства чернозема выщелоченного пахотного опытного поля
(данные исследований почвы до посева вики)**

Горизонты и глубина, см		pH _{H₂O}	CaCO ₃ , %	Гумус, %	Подвижные формы, мг/кг почвы				Обменные катионы, мг-экв./100 г почвы		
					P ₂ O ₅	K ₂ O	NH ₄	NO ₃	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺
Ap 1	0–10	6,9	0	3,47	19	310	39	3,2	28,6	3,8	32,4
Ap 1	10–20	6,9	0	3,33	14	260	36	1,5	28,2	3,6	31,8
Ap 2	20–35	6,9	0	3,07	08	220	32	8,0	28,2	3,6	31,8
Ah	35–50	6,8	0	2,75	08	220	23	8,0	27,6	3,6	31,2
Bhw1	50–71	7,0	0	2,25	–	–	–	–	27,4	3,4	30,8
Bhw2	71–95	7,3	0	1,57	–	–	–	–	27,2	3,2	30,4
BC	95–117	8,1	4,0	1,00	–	–	–	–	27,2	3,1	30,3
BCk	117–130	8,1	11,6	0,76	–	–	–	–	26,8	3,0	29,8
Ck	130–150	8,1	19,8	0,61	–	–	–	–	25,8	3,0	28,8

Содержание физической глины в профиле варьирует в пределах от 60 % в горизонтах А и В до 56–58 % в горизонтах ВС и С. Содержание ила по профилю этих почв изменяется в пределах от 39–40 % в горизонтах А и В до 36 % в горизонте С (табл. 1). Исследованные почвы характеризуются тяжелым гранулометрическим составом и по причине плохого структурного состояния и высокой плотности пахотного слоя являются сложным объектом для использования в земледелии.

Осенью, в конце сентября, два урожая зеленой массой вики озимой и яровой с главной экспериментальной делянки были внесены в почву на глубину 10–12 см при помощи дисковой бороны (рис. 5, табл. 4).



Рис. 5. Состояние вики озимой на опытном поле (конец апреля)

После внесения в почву одного и двух урожаев зеленой массы вики опытное поле было подготовлено для посева основной культуры – озимой пшеницы.

В следующем году после уборки урожая озимой пшеницы в почвах опытных делянок проведены исследования по выявлению количественных изменений их свойств под влиянием внесенной в почву зеленой массы вики в качестве органического удобрения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение среднестатистических данных основных физических и химических свойств почв опытного поля, полученные до и после внесения зеленой массы в почву в качестве органического удобрения, дают возможность определить степень влияние данного фитомелиоративного мероприятия на улучшение состава и свойств пахотного слоя исследуемых почв.

Таблица 4

Урожайность и химический состав зеленой массы озимой и яровой вики, внесенной в пахотный слой чернозема выщелоченного как органическое удобрение

Показатель		Озимая вика (зеленая масса внесена в почву в мае)			Яровая вика (зеленая масса внесена в почву в сентябре)			Общая масса растительных остатков
		масса			масса			
		надземная	подземная в слое 0–30 см	общая	надземная	подземная в слое 0–30 см	общая	
Зеленая масса, т/га		27,0	–	–	9,6	–	–	–
Влажность, %		79,9	–	–	64,2	–	–	–
Абсолютно сухого вещества, т/га		5,4	2,2	7,6	3,4	1,4	4,8	12,4
Содержание, % от сухой массы	зола	9,9	14,8	11,3	10,3	15,1	11,7	11,5
	N	3,8	1,8	3,2	1,5	1,3	1,4	2,5
	P ₂ O ₅	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6
	K ₂ O	3,7	1,5	3,1	1,5	1,4	1,5	2,5
	C	41,4	41,1	41,3	40,9	41,2	41,1	41,2

Полученные результаты по сравнению свойств исследованных почв до и после внесения в них зеленой массы вики в качестве органического удобрения приведены в таблицах 5 и 6.

Данные таблицы 5 показывают, что улучшение структурного состояния наблюдается только для 0–10 см бывшего пахотного слоя почвы, в который была заделана зеленая масса вики и смешана с искусственно образованными при обработке структурными агрегатами почвы.

Интегральный показатель физического состояния пахотного слоя почв является величина их плотности. Данные таблицы 6 подтверждают значительное улучшение физического состояния почвы в слое 0–10 см, в котором была внесена зеленая масса одного и двух урожаев вики. Одновременно значительно уменьшилось на данной глубине и твердость почвы, что положительно повлияло на развитие корневой системы озимой пшеницы.

Таблица 5
Структурное состояние пахотного слоя чернозема выщелоченного (камбикового) тяжелосуглинистого до и после внесения в почву зеленой массы 2-х урожаев вики

Глубина, см	Размер агрегатов, мм								Сумма		Коэффициент структурности K = a/b	Качество структуры (сухое просеивание)	Гидростабиль- ность струк- туры (мокрое просеивание)	
	>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5– 0,25	10– 0,25 (a)	> 10+ < 0,25 (b)				
содержание структурных и водопрочных агрегатов, %														
Пахотный слой чернозема выщелоченного до внесения в почву зеленой массы 2-х урожаев вики														
0–10	38,3* 0	8,4 0	8,4 0	10,2 0,8	8,3 2,6	17,7 10,8	2,2 14,6	3,8 22,8	2,6 48,4	59,1 51,6	40,9 48,4	1,4 1,1	среднее	средняя
10–20	55,9 0	14,3 0	12,4 0	14,6 1,6	10,0 11,8	7,3 10,8	2,1 11,8	0,8 16,4	1,0 47,6	43,1 52,4	56,9 47,6	0,7 1,1	среднее	средняя
20–35	55,2 0	11,4 0	9,7 0	8,6 0,8	7,8 10,6	5,5 20,4	0,6 10,8	0,5 9,0	0,7 48,4	44,1 51,6	55,9 48,4	0,8 1,1	среднее	средняя
Пахотный слой чернозема выщелоченного после внесения в почву зеленой массы 2-х урожаев вики														
0–10 (12)	29,3 0	10,9 0	9,9 0	11,1 2,8	10,1 12,4	11,8 12,6	10,2 14,4	4,2 14,6	2,5 43,2	68,2 56,8	31,8 43,2	2,1 1,3	хорошее	хорошая
10–20	51,6 0	10,8 0	11,2 0	10,1 5,0	8,1 14,0	6,5 18,2	0,8 14,8	0,6 8,0	0,3 46,0	48,1 54,0	51,9 46,0	0,9 1,2	среднее	средняя
20–35	53,6 0	9,6 0	8,9 0	9,5 0,6	8,6 15,2	6,9 13,0	1,8 12,0	0,6 12,0	0,5 47,2	45,9 52,8	54,1 47,2	0,8 1,1	среднее	средняя

* Числитель – данные сухого просеивания почвы; знаменатель – данные мокрого просеивания почвы.

Таблица 6

**Средние показатели физических и химических свойств почв
на экспериментальных делянках до и после внесения в них зеленой массы вики
в качестве органических удобрений**

Горизонты и глубина, см	Начальное состояние свойств почв	Вариант внесения в почву 1-го урожая зеленой массой вики	Вариант внесения в почву 2-х урожаев зеленой массой вики
Плотность, г/см ³			
Ahp1 0–10	1,24	1,21	1,16
Ahp1 10–20	1,42	1,42	1,34
Ahp2 20–35	1,53	1,52	1,51
Ah 35–50	1,43	1,42	1,43
Общая пористость, объемные %			
Ahp1 0–10	52,3	53,5	55,4
Ahp1 10–20	45,6	45,6	48,7
Ahp2 20–35	41,8	42,2	42,6
Ah 35–50	46,0	46,4	46,0
Сопротивление проникновению, кгс/см ²			
Ahp1 0–10	13	11	9
Ahp1 10–20	21	20	15
Ahp2 20–35	26	26	24
Ah 35–50	20	21	21
Содержание гумуса, %			
Ahp1 0–10	3,47	3,59	3,67
Ahp1 10–20	3,33	3,30	3,37
Ahp2 20–35	3,07	3,08	3,05
Ah 35–50	2,75	2,71	2,76
Содержание подвижного фосфора, мг/кг почвы			
Ahp1 0–10	19	20	21
Ahp1 10–20	14	14	13
Ahp2 20–35	8	11	10
Ah 35–50	8	8	08
Содержание подвижного калия, мг/кг почвы			
Ahp1 0–10	310 ± 20	330	330
Ahp1 10–20	260 ± 20	230	210
Ahp2 20–35	220 ± 20	190	180
Ah 35–50	22 ± 2	18	18
Содержание нитратов (N–NO ₃), мг/100 г почвы			
Ahp1 0–10	3	6	4
Ahp1 10–20	2	2	1
Ahp2 20–35	1	1	
Ah 35–50	1	1	
Содержание подвижных форм NH ₄ , мг/100 г почвы			
Ahp1 0–10	39	48	43
Ahp1 10–20	36	28	39
Ahp2 20–35	32	24	30
Ah 35–50	23	25	22

В слое 0–10 (12) см в результате применения в качестве органического удобрения 2-х урожаев зеленой массы вики содержание лабильного органического вещества увеличилось на 0,20 %, что также является положительным моментом.

Результаты проведенных исследований показывают, что использование зеленой массы вики как органическое удобрение приводит к улучшению физического состояния пахотного слоя почвы и решает проблему формирования положительного баланса гумуса и азота в пахотных почвах и уменьшения эмиссии CO₂ в атмосферу.

Базовым критерием для оценки влияния предложенного метода на гумусовое состояние и свойства почв является величина урожая сельскохозяйственных культур. В таблице 7 приведены данные о влиянии внесенной в почву зеленой массы одного и двух урожаев вики на урожайность и качество озимой пшеницы.

Таблица 7

Влияние внесения в почву зеленой массы вики на урожайность и качество зерна озимой пшеницы

Варианты	Урожайность зерна, т/га при влажности 8 %						Прибавка урожая		Содержание глютена, %
	1	2	3	4	5	средний	т/га %	достоверность различия, %	
Контроль	3,8	3,7	3,6	3,9	4,0	3,8	–	–	22
Внесение 1 урожая зеленой массы вики	6,3	6,2	6,4	6,1	5,9	6,2	$\frac{2,4}{63}$	99,0	26
Внесение 2 урожаев зеленой массы вики	7,0	7,2	6,8	7,3	7,1	7,0	$\frac{3,2}{84}$	99,0	28

Средняя урожайность озимой пшеницы в благоприятном в климатическом отношении году составила:

на контрольной делянке – 3,8 т/га при содержании глютена в зерне 22 %;

на делянке, где в почву внесли зеленую массу одного урожая вики – 6,2 т/га при содержании глютена в зерне 26 %;

на делянке, где в почву внесли зеленую массу 2-х урожаев вики – 7,0 т/га при содержании глютена в зерне 28 %.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что при заделке в пахотный слой чернозема выщелоченного (камбикового) зеленой массы 2-х урожаев вики на поле, использованном как «занятый пар» под озимой и яровой викой, в почву были внесены 12,4 т/га сухой массы из которой смогло образоваться 4 т/га гумуса. В сухой массе органических остатков вики содержится 310 кг/га биологического азота, 60 % которого симбиотического происхождения.

В слое почвы 0–10 (12) см обработанном дисковой бороной среднее содержание органического вещества увеличилось на 0,20 %; сформировался положительный баланс гумуса и азота, существенно улучшилось физическое состояние этого слоя.

В первый год после внесения в почву зеленой массы вики производительная способность почвы увеличилась на 63–84 %, качество урожая зерна озимой пшеницы стало очень высоким.

Систематическое комбинированное использование зеленых и фосфорных удобрений в комплексное с научно обоснованными агротехническими мероприятиями, приводит к улучшению структурного состояния почвы, формированию положительного баланса гумуса и азота в почвах и увеличению производительной способности сельскохозяйственных земель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cerbari, V.* (coordonator). Monitoringul calității solurilor Republicii Moldova (baza de date, concluzii, prognoze, recomandări). Coord. V. Cerbari. Ch.: Pontos (Reclama). – 2010. – 476 p.
2. *Cerbari, M., Lungu, M.* Bruneziomurile virgine și arabile din partea colinară a Podișului Codrilor. În: Griziomurile (solurile cenușii) și bruneziomurile (solurile brune) virgine și arabile din silvostepa Republicii Moldova. MADRM, IPAPS «N. Dimo», Red. responsabil T. Leah. Chișinău: Lexon-Prim. – 2021. – P. 120–126.
3. *Cerbari, V., Leah, T.* Preventative Restoration of Ordinary Chernozem Before Implementation Zero Tillage. Regenerative Agriculture: What's Missing? What Do We Still Need to Know? Eds: D. Dent, B. Boincean. Springer. Chapter 15. – 2021. P. 21–27.
4. *Cerbari, V., Leah, T.* Factorii naturali de solificare și însușirile bruneziomurilor virgine // Griziomurile (solurile cenușii) și bruneziomurile (solurile brune) virgine și arabile din silvostepa Republicii Moldova. MADRM, IPAPS «N. Dimo», Red. responsabil T. Leah. Chișinău: Lexon-Prim. – 2021. – P. 70–79.
5. *Cerbari, M., Lungu, M.* Modificarea însușirilor fizice și chimice ale bruneziomurilor de pe colinele periferice a codrilor în rezultatul schimbării fazelor de pedogeneză // Griziomurile (solurile cenușii) și bruneziomurile (solurile brune) virgine și arabile din silvostepa Republicii Moldova. MADRM, IPAPS «N. Dimo», Red. responsabil T. Leah. Chișinău: Lexon-Prim. – 2021. – P. 95–133.
6. *Florea, N., Bălăceanu, V., Răuță, C., Munteanu, I.* Metodologia elaborării studiilor pedologice. Partea III. Indicatorii ecopedologici. București. – 1987. – 226 p.
7. *Leah, T.* Restoration of degraded soils properties by phytotechnical methods in conditions of Moldova. Електронен Сборник Научни доклади. Международна Конференция посветена международната година на почвите и 140-та годишнина от рождението на Никола Пушкиarov «Почвата и агротехнологиите в променящия се свят» // International conference, dedicated to the International Year of Soils and the 140-th anniversary of the birth of Nikola Pushkarov «Agriculture and agrotechnology in a changing world», 11–15 май 2015, София-Bulgaria. Издател ИПАЗР «Никола Пушкиarov». – 2015 – P. 421–425.
7. *Leah, T.* Cover Crops – key to storing organic matter and remediation of degraded properties of soils in the Republic of Moldova / T. Leah, V. Cerbar // Scientific Papers. Series A. Agronomy – Vol. LVIII. – 2015. – P. 73–76.
8. *Leah, T.* Evaluation of the conservative agriculture benefits on soil properties and harvests in crop rotation with legumes / T. Leah, V. Cerbar // Scientific paper. Series Agronomy. – Vol. 63, № 2. UASVM Ion I. de la Brad, Iasi. – 2020. – P. 9–14.
9. *Leah, T.* Effects of green fertilizers on the quality status and production capacity of the cambic chernozem from Moldova / T. Leah, V. Cerbari // International Journal AGROFOR. – 2020. – Vol. 5(3). – P. 28–38.
10. *Leah, T., Cerbari, V.* Modificarea proprietăților cernoziomului cambic utilizat în agricultură și restabilirea fertilității prin procedee fitoameliorative. Materialele Conferința Internațională «Direcțiile de modernizare a cercetărilor ameliorative și tehnologice la culturile cerealiere și leguminoase» (29–30 iunie 2021, ICCR «Selecția», Bălți). Chișinău: S.n. (F.E.-P Tipografia Centrală. – 2021. – P. 282–295.
11. *Wiesmeier, M.* Remediation of degraded arable steppe soils in Moldova using vetch as green manure. Published by Copernicus Publications on behalf of the European / M. Wiesmeier, M. Lungu, R. Hübner, V. Cerbari // Geosciences Union. Solid Earth. – 2015. – № 6. – P. 609–620.

12. *Александровский, А. Л.* Стадии, направления и скорость процессов эволюции почв / А. Л. Александровский // Проблемы древнего земледелия и эволюции почв в лесных и степных ландшафтах Европы. – Белгород, 2006. – С. 85–93.
13. *Балтянский, Д. М.* Почвы Центральных Кодр / Д. М. Балтянский. – Кишинев: Штиинца, 1979. – 172 с.
14. *Гедымин, А. В.* Влияние длительной распашки на некоторые свойства почв лесостепи / А. В. Гедымин, И. Г. Побединцева // Почвенно-географические и ландшафтно-геохимические исследования. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1964. – С. 77–119.
15. *Гроссет, Г. Э.* Колебания границ между лесом и степью в голоцене в свете учения о смещении зон / Г. Э. Гроссет // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – Т.66. – Вып. 2. – 1961. – С.65–84.
16. *Крупеников, И. А.* Процессы оглинивания черноземов Придунайского района / И. А. Крупеников, Э. Е. Скрыбина // Почвоведение. – № 11. – 1976. – С. 3–13.
17. *Лях, Т.* Органическое земледелие – основа восстановления плодородия и продуктивности черноземов Молдовы. / Т. Лях // Аграрний вісник Півдня. Науковий збірник сільськогосподарської науки. Одеса: Інститут сільського господарства Причорномор'я НААН України. – Випуск 1. – 2014 – С. 22–27.
18. *Лях, Т.* Динамика применения минеральных и органических удобрений в земледелии Республики Молдова / Т. Лях, Н. Лях // Роль вузовской науки в развитии агропромышленного комплекса: материалы Междунар. науч.-практич. конф. / Нижний Новгород; под общ. ред. В. И. Титовой. – Нижегородская ГСХА, 2021 – С.13–17.
19. *Хотинский, Н. А.* Взаимоотношение леса и степи по данным изучения палеогеографии голоцена / Н. А. Хотинский // Эволюция и возраст почв СССР. – Пушино. – 1986. – С.46–53.
20. *Чендев, Ю. Г.* Тренды развития ландшафтов и почв центральной лесостепи во второй половине голоцена / Ю. Г. Чендев // Проблемы эволюции почв. – Пушино. – 2003. – С.137–145.

RESTORATION OF THE QUALITATIVE STATE OF DEGRADED LEACHED CHERNOZEMS OF CENTRAL MOLDOVA THROUGH COMBINED THE AGROTECHNICAL AND PHYTOMELIORATIVE METHODS

V. V. Cherbar, T. G. Lyakh

Summary

Studies on the restoration of the qualitative state of the degraded arable layer of leached (cambic) chernozems of Central Moldova through the combined use of agrotechnical and phytomeliorative methods have shown that when in the arable layer is introduced the green mass of 2 vetch crops in the field as «busy fallow» under winter and spring vetch, 12,4 t/ha of dry mass of vetch were introduced into the soil, from which 4 t/ha of humus could be formed. This dry mass of organic vetch residue contains 310 kg/ha of biological nitrogen, 60 % of which is of symbiotic origin. In the soil layer 0–10 (12) cm treated with a disc harrow, the average content of organic matter increased by 0,20 %; a positive balance of humus and nitrogen was formed, the physical condition of this layer improved significantly.

Поступила 03.03.23

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.8:631.445

ДИНАМИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ КАЛЬЦИЕМ ПАХОТНЫХ И ЛУГОВЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Кальций – структурный элемент клеточных оболочек, жизненно необходимый для образования новых клеток. Недостаток кальция сдерживает рост всех частей растения, что может привести к усилению недостатка и нарушению баланса других элементов вследствие слабо развитой корневой системы. Недостаток кальция сильно сказывается на развитии корневой системы. На корнях перестают образовываться корневые волоски, снабжающие растения водой и минеральными веществами. Кальций играет важную физиологическую роль в развитии растений, участвуя в превращении азотистых веществ и передвижении углеводов и в повышении активности ферментов. Особая роль кальция заключается в регулировании физико-химического состояния протоплазмы растений – вязкости, проницаемости и других свойств, определяющих нормальное протекание биохимических процессов [1]. Кальций поглощают только молодые части растений, он не реутилизируется [2].

В дерново-подзолистых почвах Беларуси валовое содержание кальция в пахотном слое составляет 0,4–1,0 %, магния – 0,3–0,8 % [3]. Обменно-поглощенные почвенными коллоидами двухвалентные катионы кальция и магния являются основным, наиболее доступным источником минерального питания для растений. Вследствие гумидного климата потери этих элементов из почв в результате выщелачивания вызывают подкисление и снижение плодородия почв. Реакция почвенной среды не только влияет на рост и развитие растений, но и служит фундаментальной составляющей почвенного плодородия [4].

Насыщение поглощающего комплекса почв кальцием и магнием существенно влияет на снижение накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукции сельскохозяйственных культур на землях, загрязненных после аварии на ЧАЭС. Установлено, что на дерново-подзолистых супесчаных почвах минимум биологической доступности ^{90}Sr для зерновых культур, картофеля, ярового рапса и клевера лугового наблюдается при содержании обменного кальция (Ca) 1200–1400 мг/кг, а для люпина узколистного – 850 мг/кг почвы [5].

До начала интенсивного известкования, примерно на 80–90 % площади всех пахотных почв Беларуси недостаток обменных форм кальция лимитировал урожайность культурных растений. Определение обменного кальция в почвах сельскохозяйственных земель при крупномасштабном агрохимическом обследовании, введено в практику в Беларуси с седьмого тура (1989–1992 гг.) [6].

В научной литературе России и стран СНГ имеется ряд публикаций, подтверждающих зависимость урожайности сельскохозяйственных культур и эффективность минеральных удобрений от степени кислотности и других агрохимических свойств дерново-подзолистых почв. Однако практически нет публикаций о количественной зависимости содержания и баланса обменных оснований от факторов интенсификации земледелия в условиях производства.

Цель исследований – установить характер изменения насыщенности почв обменным кальцием от природных и хозяйственных факторов за период мониторинга, дать прогноз содержания обменных форм кальция в пахотных почвах на период до 2035 г. по областям и группам районов Беларуси. Метод исследований – систематизация и анализ результатов агрохимического обследования почв по содержанию обменного кальция в пахотных почвах в сопоставлении с уровнем внесения известковых мелиорантов, другими свойствами почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований являются почвы сельскохозяйственных земель, обследованные по степени кислотности, содержания обменных форм кальция за период до 2020 г. Материалы агрохимического обследования почв представлены областными проектно-изыскательскими станциями сельского хозяйства. Эта информация верифицирована до уровня административных районов и систематизирована в республиканской электронной базе данных. Изменения агрохимических свойств почв анализировались в сопоставлении с интенсивностью известкования кислых почв. Информация по количеству применяемых мелиорантов собрана по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь и областных проектно-изыскательских станций. Предмет исследований – зависимость показателей, характеризующих плодородие (динамика структуры земель по группам кислотности почв, средневзвешенные показатели реакции почв pH_{KCl} (далее pH), содержание Ca) от факторов интенсификации земледелия и исходной агрохимической характеристики почв. Метод исследования – системный анализ с применением общепринятых методов математической обработки данных.

Критерии оптимизации содержания обменного кальция в пахотных и луговых почвах. Содержание обменных форм кальция и других оснований в почвах, сформированных в условиях умеренного европейского климата, с промывным режимом, обусловлена многими факторами, ведущим из которых является интенсивность известкования. Потери кальция из почвы обусловлены выщелачиванием в грунтовые воды и далее в гидрографическую сеть в зависимости от количества выпадающих осадков, расходом кальция на нейтрализацию физиологически кислых удобрений и выносом кальция с отчуждаемой частью возделываемых культур. В многофакторных лизиметрических опытах на Ротамстедской опытной станции были установлены уравнения регрессии

потерь Са в зависимости от среднегодовых доз извести и показателя pH водной вытяжки почвы. Согласно расчетам J.Gasser, потери кальция и магния возрастали в геометрической прогрессии по мере повышения показателя pH. Так, при повышении pH (H_2O) с 5,0 до 8,0 ориентировочные ежегодные потери карбонатов $CaCO_3$ возрастали со 118 до 942 кг/га [7, 8]. В лизиметрических опытах Т. Н. Кулаковской и В. Ю. Агейца (1978) на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах потери кальция при известковании возрастали до 3-х раз [9]. В лизиметрических опытах А. Н. Небольсина потери кальция также возрастали до 3-х раз при повышении доз извести и изменении степени кислотности дерново-подзолистых почв от сильнокислого (pH 4,1–4,3) до близкого к нейтральному (pH 6,3–6,6) диапазона реакции [10]. В многолетних лизиметрических опытах ЦОС ВНИИА дана количественная оценка природоохранной роли травосеяния. Под многолетними травами почвы в условиях интенсивного земледелия теряют с инфильтрацией на 30–40 % меньше кальция, магния, серы, азота, чем под зерновыми и пропашными культурами [4].

Кислая реакция почвенного раствора не является главным ограничителем доступности кальция для сельскохозяйственных культур, поскольку даже на кислых почвах концентрация Ca^{2+} в почвенном растворе находится в пределах 20–150 мг/л, а нижний предел уже достаточен для удовлетворения потребности даже кальциелюбивых культур. Основными ограничителями доступности кальция растениям являются повышенные концентрации K^+ , Mn^{2+} , Al^{3+} , Mg^{2+} и особенно NH_4^+ . Хорошее обеспечение возделываемых культур кальцием наблюдается при насыщении обменного комплекса почвы 65–85 % Ca^{2+} , 6–12 % Mg^{2+} , 3–5 % K^+ [11].

Известкование, улучшая физико-химические свойства почвы, может в определенных дозах и условиях положительно влиять и на фосфатный режим, а фосфорные удобрения – на кислотность почвы. При известковании кислых почв повышается подвижность и доступность фосфатов растениям. Повышенные дозы фосфорных удобрений снижают подвижность алюминия, образуя малорастворимые алюмосиликаты, не токсичные для растений. Наибольшее улучшение физико-химических свойств дерново-подзолистых почв достигали при сочетании известкования с повышенными дозами фосфорных удобрений [12, 13]. Систематическое одностороннее применение азотных и калийных удобрений, наоборот, приводит к ухудшению физико-химических свойств дерново-подзолистых почв, особенно к повышению содержания подвижного алюминия, который в высоких концентрациях угнетает рост и развитие растений [2, 10, 14].

Таким образом, очевидно, что диапазоны оптимального содержания обменного кальция в дерново-подзолистых почвах могут существенно различаться по группам гранулометрического состава и типам севооборотов в зависимости от уровня поддерживаемого диапазона степени кислотности. В серии модельных полевых опытов в 1985–1990 гг. были установлены ориентировочные диапазоны степени кислотности и параметры оптимального насыщения основаниями дерново-подзолистых почв [15]. Кальциелюбивые культуры (рапс, кормовая и сахарная свекла, ячмень, клевер) обеспечивали наибольшую урожайность в интервале содержания обменного кальция в суглинистых почвах 900–1500, а на супесчаных – 800–1300 мг СаО на кг почвы. На песчаных почвах диапазон оптимального содержания обменного кальция был в пределах 600–800 СаО на кг почвы (табл. 1).

Интервалы оптимальных параметров реакции, содержания подвижных форм кальция в пахотных почвах Беларуси

Почвы	pH	Содержание, мг/кг почвы	
		CaO	Ca
Суглинистые	6,0–6,8	900–1500	644–1072
Супесчаные, подстилаемые суглинками	5,8–6,5	800–1300	572–930
Песчаные и рыхлосупесчаные, подстилаемые песками	5,5–5,8	600–800	430–572

Методические подходы к первичному и последующим циклам известкования едины, поскольку для получения наибольшей урожайности с высоким качеством продукции важно создание и поддержание оптимальной реакции почвенной среды.

Оптимальная реакция почв не является строго фиксированной величиной и зависит от ряда свойств почв и от видов возделываемых культур [2, 11, 15]. Экспериментально установленные диапазоны реакции почв по отдельным культурам сгруппированы по типам севооборотов, гранулометрическому составу почв и используются в качестве целевых ориентиров при известковании кислых почв. Дозы известковых мелиорантов устанавливаются с учетом гранулометрического состава почв, исходной степени кислотности pH, содержания гумуса, плотности загрязнения почв радионуклидами, типа севооборота. В зависимости от перечисленных факторов, оптимальные интервалы значений pH различаются на дерново-подзолистых почвах от 5,3–5,8 до 6,0–6,8. Оптимальные показатели кислотности для возделывания сельскохозяйственных культур на торфяных почвах соответствуют диапазону pH 5,0–5,3. Рекомендуемые дозы извести дифференцированы таким образом, чтобы сильно- и среднекислые почвы нейтрализовать до нижнего уровня оптимального диапазона. В дальнейшем, небольшие, поддерживающие дозы извести на слабокислых почвах не позволяют выйти за пределы оптимального диапазона реакции почв [16].

Средневзвешенный показатель реакции почв pH элементарного участка является основным критерием оптимизации степени кислотности почв, пригодности почвы для возделывания группы однотипных сельскохозяйственных культур. Однако средневзвешенный показатель pH пашни или луговых земель на площади целого хозяйства или района не может быть критерием оптимизации кислотности почв, так как может включать поля как с сильнокислой, так и слабощелочной реакцией. Для оценки результативности известкования по хозяйствам или административным районам, областям, используют два критерия: доля сильно- и среднекислых почв с показателем pH < 5,0 и доля почв с показателем pH > 6,5 в % от общей площади земель [17].

На почвах с показателем pH менее 5,0 наблюдаются существенные недоборы урожайности всех сельскохозяйственных культур. В условиях системного известкования доля сильно- и среднекислых пахотных и луговых почв должна быть близкой к нулю, практически менее 5 % от общей площади.

Результаты проведенных исследований, особенно в последние 30 лет, выявили исключительно важное значение известкования почв, как природоохранного и экологического фактора. В Российской Федерации выявлены сотни тысяч гектаров пахотных почв, загрязненных тяжелыми металлами, на которых

необходимо проводить специальные мероприятия, предотвращающие загрязнение растительной продукции токсичными элементами. Наиболее эффективным является известкование, снижающее накопление в растениях тяжелых металлов в 5–10 раз. Поскольку очищение почвы от тяжелых металлов процесс очень медленный, необходимо проводить периодическое известкование рекультивируемых почв многократно в течение десятков лет [18].

Важно также избегать избыточной нейтрализации почв, сопровождаемой большой потерей кальция и магния, выщелачиваемых из плодородного слоя. Почвы с нейтральной и слабощелочной реакцией в Беларуси занимают только 12,8 % от площади пашни [6]. На таких почвах наблюдается снижение доступности для растений микроэлементов, преимущественно Mn и Zn, что приводит к снижению урожайности и качества продукции культур кальцефобов: льна-долгунца, люпина и картофеля, которые должны возделываться в специализированных севооборотах, где предусмотрено ограниченное известкование до показателей pH не более 5,6–6,0. Для хозяйств и районов, где преобладают загрязненные радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr земли, минимальное накопление этих элементов в растениеводческой продукции достигается при сдвиге от оптимальной реакции почв на 0,2–0,3 единицы pH в сторону щелочного диапазона [5]. Однако снижение накопления радионуклидов в растениях в нейтральном и щелочном диапазонах незначительное. На загрязненных радионуклидами землях рекомендуемые дозы известия повышаются только на сильно- и среднекислых почвах для ускоренного сдвига реакции почв и достижения оптимальных диапазонов кислотности почв из расчета на максимальную урожайность возделываемых культур [16, 20]. Эффективность известкования следует оценивать по разнице показателей (pH) между исходным, достигнутым и оптимальным уровнями степени кислотности почвы. Важными информативными показателями являются также содержание обменных форм кальция и магния в почвах.

Динамика известкования, как базис обеспеченности обменным кальцием пахотных и луговых почв Беларуси. Мелиоративное известкование кислых почв ведется в Беларуси с 1966 г., когда на пашне преобладали ($\geq 66\%$) сильно- и среднекислые почвы с $\text{pH} < 5,0$. В данной работе исследуется период поддерживающего известкования (1997–2020 гг.). Систематизация данных показывает стабилизацию объемов поддерживающего известкования кислых почв сельскохозяйственных земель в период трех циклов с 1997 по 2008 гг. по областям и в целом по Беларуси (табл. 2).

Таблица 2

Динамика известкования кислых пахотных и луговых почв по областям Беларуси за период 1997–2020 гг.

Области	Площадь известкования, тыс. га					
	1997–2000	2001–2004	2005–2008	2009–2012	2013–2016	2017–2020
Брестская	237,0	303,6	325,6	246,9	162,0	125,3
Витебская	307,7	254,0	320,8	214,4	164,6	113,6
Гомельская	268,1	272,8	228,9	206,8	173,9	172,0
Гродненская	183,2	239,8	306,0	234,3	153,9	131,1
Минская	303,6	234,4	309,9	402,1	192,8	169,8
Могилевская	310,8	256,8	329,2	195,2	167,3	134,1
Беларусь	1580,4	1561,2	1820,4	1499,7	1014,5	845,9

Объективную оценку соответствия проведенных объемов работ потребности в известковании, можно видеть из данных таблицы 3. В последнем цикле известкования, в результате недостаточного финансирования, требуемые объемы работ снизились до 38 % от потребности по республике с различиями по областям от 31 до 55 %.

Таблица 3

Объемы известкования кислых пахотных и луговых почв в % к потребности по областям Беларуси за период 1997–2020 гг.

Области	1997–2000	2001–2004	2005–2008	2009–2012	2013–2016	2017–2020
Брестская	76	93	105	81	56	35
Витебская	93	79	113	72	50	31
Гомельская	100	101	98	93	70	55
Гродненская	84	111	137	78	50	40
Минская	108	75	106	100	43	35
Могилевская	102	85	151	80	56	37
Беларусь	99	89	117	85	52	38

По итогам мониторинга разработан «Комплекс мероприятий по повышению плодородия и защите от деградации почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь на 2021–2025 гг.», одобренный Научно-техническим советом МСХП РБ, где рекомендовано увеличение площади известкования земель в 2,2 раза при средней дозе CaCO_3 4,9 т/га [19].

До начала интенсивного известкования кислых почв недостаток обменного кальция лимитировал урожайность возделываемых культур на преобладающей части пахотных и луговых земель. Системное определение обменного кальция на интенсивно используемых сельскохозяйственных землях Беларуси проведено в седьмом туре крупномасштабного агрохимического обследования почв (1989–1992 гг.), когда уже наблюдалось равновесное состояние баланса обменного кальция в пахотных и луговых почвах (рис. 1). Средневзвешенное содержание обменного кальция в пахотных почвах Беларуси стабилизировалось на уровне Ca^{2+} 715–858 мг/кг почвы, или CaO около 1000–1200 мг/кг почвы.

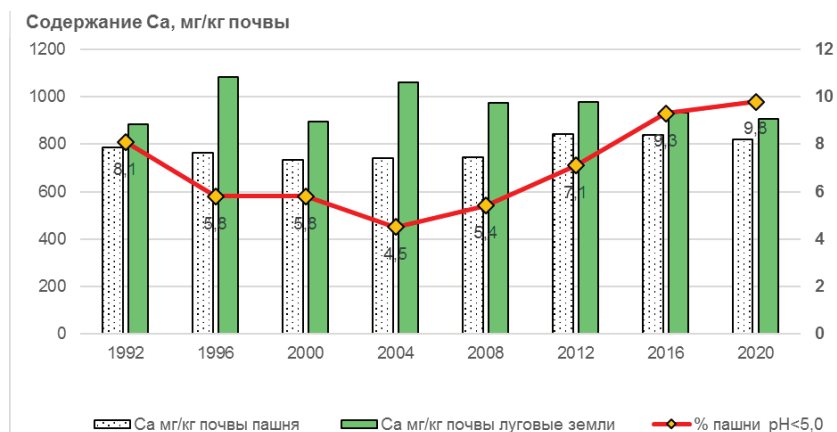


Рис. 1. Динамика средневзвешенных показателей содержания обменного кальция (Ca^{2+}) в почвах пахотных и луговых земель Беларуси за 1992–2020 гг.

На луговых землях средневзвешенное содержание обменного кальция несколько выше, в пределах Ca^{2+} 930–1000 мг/кг почвы, или СаО около 1300–1400 мг/кг почвы. В условиях системного, поддерживающего известкования уровень обеспеченности почв обменным кальцием обусловлен, в основном, емкостью катионного обмена почв. По мере утяжеления гранулометрического состава и повышения буферной способности почв возрастают запасы обменного кальция в почвах. Приведенные данные показывают необходимость анализировать причины заметных различий в накоплении или потере запасов обменного кальция по областям и районам с учетом количества вносимых мелиорантов, удобрений и других факторов интенсификации земледелия.

Систематизация данных по 14 туру обследования показывает заметные различия в обеспеченности обменным кальцием пахотных почв по областям Беларуси (табл. 4).

Таблица 4

**Распределение пахотных почв Беларуси по группам
содержания обменного кальция (2017–2020 гг.)**

Области	По группам содержания СаО (Са), мг/кг почвы						Средне- взвешенное содержание СаО (Са), мг/кг почвы
	< 400 (< 286)	401–800 (287–572)	801–1200 (573–858)	1201–1600 (859–1144)	1601–2000 (1145–1430)	> 2000 > 1430	
Брестская	0,2	20,7	35,6	12,8	8,1	22,6	1120 (801)
Витебская	0,1	3,0	21,3	32,3	22,5	20,8	1494 (1068)
Гомельская	0,6	24,5	39,7	13,3	4,7	17,2	1098 (785)
Гродненская	0,5	19,2	52,5	19,7	4,6	3,5	1087 (777)
Минская	0,3	11,2	32,8	32,3	12,5	10,9	1133 (810)
Могилевская	0,5	30,5	48,3	16,9	2,4	1,4	964 (689)
Беларусь	0,4	17,7	37,9	22,0	9,4	12,6	1149 (822)

В Витебской области средневзвешенное содержание обменного кальция достигло уровня 1068 мг/кг почвы, что в 1,5 раза выше аналогичного показателя для Могилевской. Согласно распределению по группам обеспеченности свыше 80 % площади пашни Беларуси характеризуются оптимальной и высокой степенью обеспеченности пахотных почв обменным кальцием. Только на 0,4 % площади пахотных почв сельскохозяйственные культуры испытывают острый недостаток и на 17,7 % – умеренный дефицит кальция для формирования высокой урожайности возделываемых культур. Однако доля пашни с умеренным дефицитом кальция для культурных растений различается по областям от 30,5 % в Могилевской до 3,0 % в Витебской области. Еще больше различия наблюдаются по районам и хозяйствам в республике.

Минеральные почвы луговых земель характеризуются сравнительно более высоким содержанием обменного кальция. В целом оптимальная и высокая обеспеченность почв кальцием наблюдается на 91,2 % площади минеральных улучшенных сенокосов и пастбищ с различиями по областям от 76,6 % в Могилевской до 97,0 % в Витебской области (табл. 5). Торфяные почвы при луговом использовании

характеризуются наиболее высоким содержанием обменного кальция. Средневзвешенное содержание Са в луговых торфяных почвах Беларуси составляет 6378 мг/кг почвы с различиями от 4167 мг/кг в Могилевской до 9589 мг/кг торфяных почв в Гомельской области.

Таблица 5

**Распределение минеральных почв улучшенных сенокосов и пастбищ
по содержанию кальция (2017–2020 гг.)**

Области	По группам содержания СаО, мг/кг почвы						Средневзвешенное содержание СаО (Са), мг/кг почвы
	< 400	401–800	801–1200	1201–1600	1601–2000	> 2000	
Брестская	0,2	7,0	17,5	14,8	14,4	46,1	1668 (1207)
Витебская	0,1	2,9	19,4	32,9	24,5	20,2	1524 (1090)
Гомельская	0,4	10,0	21,3	17,2	11,6	39,5	1945 (1391)
Гродненская	0,4	8,3	25,4	16,5	9,8	39,6	1976 (1413)
Минская	0,3	10,1	29,2	31,7	17,7	11,0	1398 (1000)
Могилевская	0,5	22,9	40,1	20,3	6,9	9,3	1132 (809)
Беларусь	0,3	8,5	23,7	23,4	15,9	28,3	1615 (1155)

Исследованы различия в накоплении обменного кальция в зависимости от гранулометрического состава пахотных почв и результативности известкования по районам Беларуси по материалам обследования 2017–2020 гг. Наибольшее содержание обменного Са характерно для районов с преобладающими суглинистыми и связносупесчаными, подстилаемыми суглинками, почвами, где минимально проявилось их подкисление. Минимальное содержание обменного кальция характерно для районов с преобладанием песчаных и рыхлосупесчаных почв, где доля проблемных кислых почв с pH < 5,0 достигает 20,4 % от площади пашни. Группировка районов по результативности известкования (доле кислых почв с pH < 5,0) показывает четкую зависимость содержания обменного кальция в пахотных почвах от выше названных показателей (табл. 6).

Таблица 6

**Содержание обменного кальция в пахотных почвах в зависимости
от гранулометрического состава и степени кислотности почв
по районам Беларуси (2017–2020 гг.)**

Число районов	Доля (%) связных почв (суглинков и супесей, подстилаемых суглинками)	Доля (%) площади кислых почв pH < 5,0	Средневзвешенное pH	Са мг/кг почвы	Доля (%) почв 1 + 2 групп обеспеченности Са
19	60,5	4,0	6,09	1039	5,4
52	32,0	7,5	5,83	832	15,6
29	25,6	12,5	5,71	737	26,5
18	20,1	20,4	5,56	687	32,2

По мере увеличения в группах районов доли кислых почв с $\text{pH} < 5,0$ с 4,0 до 20,4 % от площади пашни содержание обменного Са закономерно снижается от 1039 до 687 мг/кг почвы. При этом, доля слабообеспеченных кальцием почв ($\text{Ca} < 572$ мг/кг почвы) закономерно повышается от 5,4 до 32,2 % от площади пашни. Эта корреляционная связь статистически достоверна ($R^2 = 0,29$, рис. 2). В совокупности всех районов Беларуси, по мере подкисления реакции почвы и увеличения доли проблемных почв с $\text{pH} < 5,0$ от 4 до 40 %, средневзвешенное содержание обменного Са в пахотных почвах закономерно снижается от 978 до < 400 мг/кг почвы. Повышение доли кислых почв с $\text{pH} < 5,0$ на каждый последующий 1 % сопровождается потерей 15,563 мг Са в обменном комплексе почвы.

Характерно, что подкисление почв и потеря обменного кальция более заметно проявляются в группах районов по мере снижения доли плодородных суглинистых и супесчаных почв, подстилаемых суглинками. Общеизвестно, что выщелачивание Са на песчаных и рыхлосупесчаных почвах происходит весьма интенсивно. Средневзвешенные показатели содержания обменного кальция различаются более чем вдвое по районам республики в диапазоне от 531 мг Са в Климовичском районе Могилевской области до 1289 мг/кг почвы в Шарковщинском районе Витебской области.

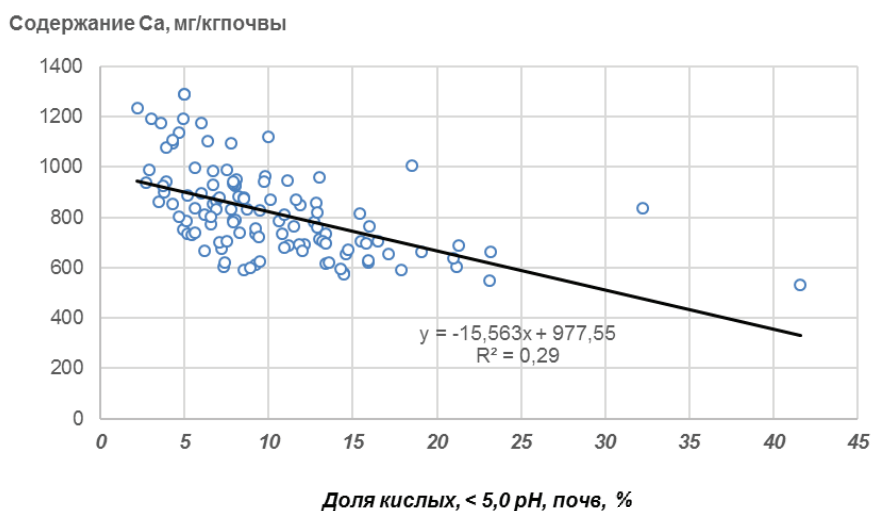


Рис. 2. Содержание обменного кальция в пахотных почвах по районам Беларуси в зависимости от доли кислых почв, $\text{pH} < 5,0$ (2017–2020 гг.)

Содержание обменного кальция по районам Беларуси достоверно коррелирует с показателями доли связных пахотных почв ($R^2 = 0,32$, рис. 3), что обусловлено более высокой емкостью катионного обмена суглинистых и супесчаных, подстилаемых суглинками почв, по сравнению с песчаными и рыхлосупесчаными почвами, подстилаемыми песками. Установлено, что в районах Беларуси, содержание обменного кальция в пахотных почвах закономерно повышается на 32 мг/кг почвы по мере увеличения доли суглинистых и супесчаных, подстилаемых суглинками, почв на каждые 10 % от площади пашни.

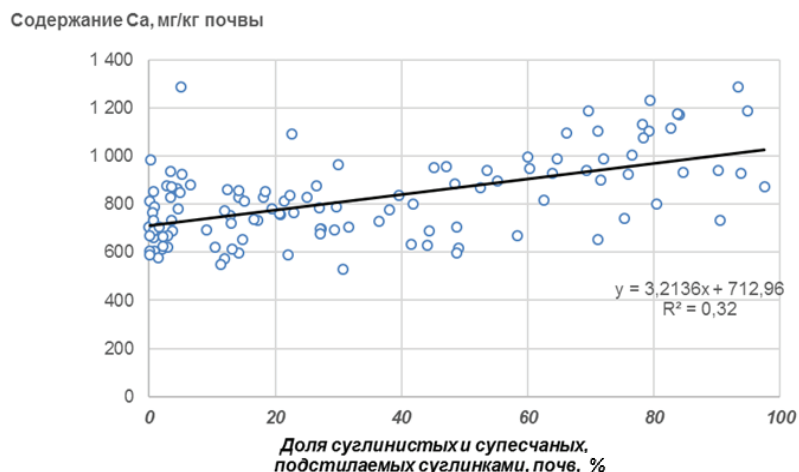


Рис. 3. Содержание обменного кальция в зависимости от доли связанных пахотных почв по районам Беларуси (2017–2020 гг.)

Информативным показателем обеспеченности почв обменным кальцием является доля (%) слабообеспеченных Са почв от общей площади пашни района, который также тесно коррелирует с долей кислых почв ($pH < 5,0$), что можно видеть на рисунке 4.

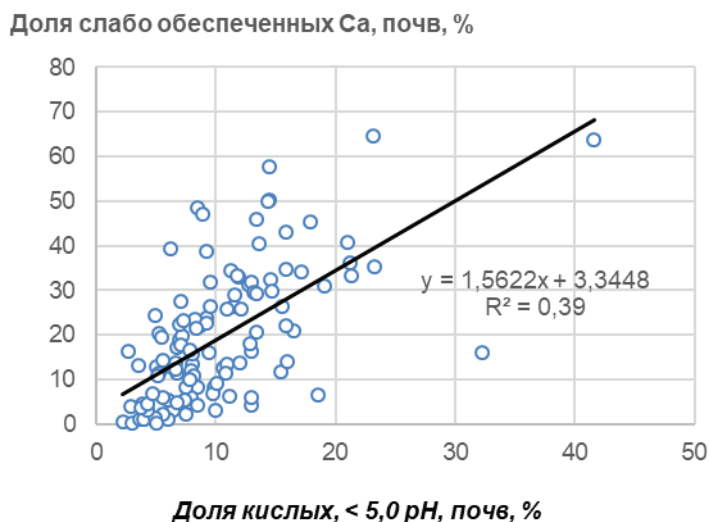


Рис. 4. Доля слабообеспеченных кальцием почв (1 + 2 группы) в зависимости от доли кислых почв, ($pH < 5,0$) по районам Беларуси (2017–2020 гг.)

Установленные производственные функции можно использовать в качестве информационно-нормативной основы для прогноза изменения содержания обменного кальция в пахотных почвах на перспективу до 2035 г. по областям и группам районов Беларуси в зависимости от природных факторов и степени интенсификации земледелия.

Прогноз содержания обменного кальция в пахотных почвах Беларуси на перспективу до 2035 г. Планомерное известкование за 50-летний период позволило исключить повышенную кислотность почв из числа факторов, лимитирующих производство растениеводческой продукции, оптимизировать реакцию почв, произвести насыщение поглощающего комплекса почв обменными формами кальция и магния в соответствии с емкостью катионного обмена почв сельскохозяйственных земель. Однако в последние годы прослеживается тенденция подкисления пахотных почв во многих районах Беларуси в связи с недостатком финансирования и соответствующим снижением требуемых объемов работ. Как было показано выше, заметное снижение содержания обменного кальция в пахотных почвах может иметь место в соответствии со значительным повышением доли сильно- и среднекислых почв ($pH < 5,0$). Подкисление пахотных почв наблюдается с 2012 г. во всех областях Беларуси (табл. 7). Наиболее контрастно возросла доля сильно- и среднекислых почв в Гродненской и Могилевской области, соответственно с 6,0 до 13,9 % и с 3,9 до 14,2 % от площади пашни.

Таблица 7

**Динамика доли площади проблемных кислых пахотных почв
по областям Республики Беларусь**

Области	2000 г.	2004 г.	2008 г.	2012 г.	2016 г.	2020 г.
	Доля (%) площади сильно- и среднекислых почв ($pH < 5,0$)					
Брестская	6,3	5,3	6,0	6,6	8,3	8,9
Витебская	5,7	4,2	3,5	4,6	6,9	6,1
Гомельская	7,4	6,6	6,2	7,8	9,6	9,4
Гродненская	5,4	5,0	6,0	8,2	9,9	13,9
Минская	3,7	2,8	3,9	7,1	8,9	7,6
Могилевская	5,8	4,0	3,9	8,6	12,1	14,2
Беларусь	5,6	4,5	4,8	7,2	9,3	9,8

На улучшенных сенокосах и пастбищах подкисление почв идет менее интенсивно. Реакция луговых почв преимущественно находится в слабокислом диапазоне, благоприятном для многолетних трав.

Снижение требуемых объемов известкования и подкисление пахотных почв характерно и для многих регионов Российской Федерации. По данным МСХ РФ, в Центральном регионе Нечерноземной зоны России за период 2000–2019 гг. доля площади сильно- и среднекислых почв с показателем $pH < 5,0$ удвоилась и составляет 24 % от площади пашни. В известковании нуждаются около 60 % площади пахотных почв [21].

Для прогноза изменения доли (%) кислых почв ($pH < 5,0$) – за период между двумя турами обследования Y_1 получено уравнение линейной регрессии:

$$Y_1 = -0,1562 \times X_1 + 14,669, \quad (1)$$

$$R^2 = 0,84,$$

где X_1 – площадь известкования в % к проектной потребности.

При известковании разной доли проектной площади использование предложенной производственной функции позволяет прогнозировать ориентировочное, вероятное изменение доли кислых почв ($\text{pH} < 5,0$) на ближайшую перспективу (табл. 8). Прогноз проведен для двух сценариев: 1 – оптимистический и 2 – инерционный.

Оптимистический сценарий предполагает, что финансирование известкования пахотных почв будет увеличено до уровня полной потребности для нейтрализации кислотности первых трех групп и поддерживающего известкования четвертой группы кислотности почв суглинистого и глинистого гранулометрического состава, согласно действующей инструкции [16]. Для реализации оптимистического сценария необходимо ежегодно известковать 572,0 тыс. га сельскохозяйственных земель, вносить 2,8 млн т известковых мелиорантов, в пересчете CaCO_3 [19]. В случае реализации оптимистического сценария доля сильно- и среднекислых почв будет за 2021–2035 гг. снижена до 6,1 %. В конечном результате во всех областях будет заметное снижение доли кислых почв на 1,5–6,3 % от площади пашни.

В случае реализации инерционного сценария будет наблюдаться дальнейшее подкисление почв. В настоящее время дозы азотных удобрений под полевые культуры снизились на 20–30 %, что несколько замедляет подкисление почв. Однако если известкование весь период будет проводиться на 40 % от потребности, то к 2035 г. доля кислых почв ($\text{pH} < 5,0$) повысится до 2–3 раз по областям Беларуси. В целом по республике доля кислых почв прогнозируется соответствующее снижение эффективности удобрений и недобор урожайности на 26,6 % площади пашни.

Таблица 8

**Прогноз изменения доли сильно- и среднекислых пахотных почв
в зависимости от интенсивности известкования на период до 2035 г.**

Области	Известкование, площадь в % к потребности 2021–2035 гг.		Доля (%) кислых почв $\text{pH} < 5,0$		
			2020 г.	2035 г.	
	сценарий 1	сценарий 2		сценарий 1	сценарий 2
Брестская	100	40	8,4	5,9	25,7
Витебская	100	30	6,1	4,6	16,1
Гомельская	100	60	9,3	6,3	19,6
Гродненская	100	40	13,9	7,6	30,7
Минская	100	40	9,2	4,5	26,0
Могилевская	100	40	14,2	8,2	31,0
Беларусь	100	40	9,8	6,1	26,6

В соответствии с вышеприведенными изменениями доли (%) проблемных почв ($\text{pH} < 5,0$) можно прогнозировать изменение средневзвешенных показателей содержания обменного Са мг/кг почвы (Y_2) по регионам Беларуси согласно уравнению:

$$Y_2 = 977,5 - 15,563 \times X, \quad (2)$$

$$R^2 = 0,29,$$

где X – доля кислых почв (pH менее 5,0), %.

А также прогнозировать долю (%) слабообеспеченных Са пахотных почв 1 + 2 группы, (Y_3)

$$Y_3 = 1,5622 * X + 3,3448, \quad (3)$$

$$R^2 = 0,39,$$

где X – доля кислых почв (рН менее 5,0), %.

Результаты прогноза обеспеченности пахотных почв обменным кальцием по областям Беларуси на период до 2035 г. представлены в таблице 9.

Таблица 9

Прогноз содержания обменного кальция в пахотных почвах Беларуси на период до 2035 г.

Области	Содержание Са, мг/ кг почвы			Доля (%) слабообеспеченных Са почв		
	2020 г.	Прогноз на 2035 г.		2020 г.	Прогноз на 2035 г.	
		сценарий 1	сценарий 2		сценарий 1	сценарий 2
Брестская	801	886	578	20,9	12,6	43,5
Витебская	1068	1079	817	3,1	10,5	28,5
Гомельская	785	879	672	25,1	13,2	34,0
Гродненская	777	859	500	19,7	15,2	51,3
Минская	810	907	573	11,5	10,4	44,0
Могилевская	690	850	495	31,0	16,2	51,8
Беларусь	821	883	564	18,1	12,9	44,9

Нетрудно видеть, что при реализации оптимистического сценария и организации известкования кислых почв по потребности будет наблюдаться небольшое повышение средневзвешенных показателей содержания обменного Са в пахотных почвах во всех областях, а доля слабообеспеченных кальцием почв снизится до приемлемого уровня в пределах 10,4–16,2 %, что будет соответствовать потребности для размещения культур кальцефобов (лен, люпин, картофель) и других культур, толерантных к невысокому содержанию обменного кальция в почве.

При реализации инерционного сценария, средневзвешенное содержание обменного кальция по Беларуси снизится на 257 мг/кг почвы, или на 31 % от нынешнего уровня. Наиболее низкое содержание Са, около 500 мг/кг почвы, ожидается в Гродненской и Могилевской областях, где доля слабообеспеченных кальцием почв прогнозируется на 51,3 и 51,8 % площади пахотных почв соответственно. В этом случае неизбежно значительное снижение окупаемости применяемых минеральных удобрений и недобор урожайности наиболее ценных культур: сахарной свеклы, рапса, кукурузы, пшеницы, овощных и плодово-ягодных культур.

ВЫВОДЫ

Исследована динамика обеспеченности пахотных и луговых почв обменным кальцием в Беларуси по материалам восьми туров обследования 1989–2020 гг. Средневзвешенное содержание мало различалось по годам и стабилизировалось на уровне Ca^{2+} 715–858 мг/кг пахотных почв и 930–1000 мг/кг луговых почв.

Только на 0,4 % площади пахотных почв сельскохозяйственные культуры испытывают острый недостаток и на 17,7 % площади – умеренный дефицит кальция для формирования высокой урожайности возделываемых культур. Однако доля пашни с умеренным дефицитом кальция для культурных растений различается по областям от 30,5 % в Могилевской до 3,0 % в Витебской области. Еще больше различия наблюдаются по районам и хозяйствам в республике в зависимости от результативности известкования и гранулометрического состава почв. Минимальное содержание обменного кальция характерно для районов с преобладанием песчаных и рыхлосупесчаных почв, где доля проблемных кислых почв с $\text{pH} < 5,0$ достигает 20,4 % от площади пашни.

Представлено два сценария прогноза содержания обменного кальция в пахотных почвах по областям Беларуси на перспективу до 2035 г., в связи с тем, что заметное подкисление почв проявилось за три последних тура обследования земель (2009–2020 гг.). Вследствие снижения объемов известкования соответственно на 15, 48 и 62 %, от проектной потребности, доля кислых пахотных почв ($\text{pH} < 5,0$) удвоилась и составила 9,8 % от обследованной площади.

Оптимистический сценарий предполагает, что известкование будет проведено по потребности. В результате, доля сильно- и среднекислых почв снизится с 9,8 до 6,1 % от площади пашни, а средневзвешенное содержание обменного Са повысится с 821 до 883 мг/кг почвы. При этом, доля слабообеспеченных кальцием почв снизится с 18,1 до 12,9 % с различиями по областям 10,4–16,2 %, что будет соответствовать потребности для размещения культур кальцефобов (лен, люпин, картофель) и других культур, толерантных к невысокому содержанию обменного кальция в почве.

При инерционном сценарии (известкования на уровне 40 % от потребности) доля проблемных сильно- и среднекислых почв повысится до уровня 26,6 % с различиями по областям 16,1–31,0 %. Средневзвешенное содержание Са в целом по Беларуси снизится на 257 мг/кг почвы, или на 31 % от нынешнего уровня. В Гродненской и Могилевской областях доля слабообеспеченных почв кальцием прогнозируется на 51,3 и 51,8 % площади соответственно. В этом варианте неизбежно снижение окупаемости минеральных удобрений и недобор урожайности наиболее ценных культур: сахарной свеклы, рапса, кукурузы, пшеницы, овощных и плодово-ягодных культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулаковская, Т. Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т. Н. Кулаковская. – Минск, 1978. – 272 с.
2. Барбер, С. А. Биологическая доступность питательных веществ в почвах / С. А. Барбер. – М., 1988. – 376 с.
3. Клебанович, Н. В. Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Васильюк. – Минск: Изд-во БГУ, 2003. – 322 с.
4. Шильников, И. А. Известкование, как фактор урожайности и почвенного плодородия / И. А. Шильников [и др.]. – М.: ВНИИА, 2008. – 340 с.
5. Путятин, Ю. В. Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию / Ю. В. Путятин. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии, 2008. – 255 с.

6. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. – 276 с.
7. Gasser, I. An assessment of the importance of some factors causing losses of lime from agricultural soils / I. Gasser. – Experimental husbandry. – 1974. – № 25. – P. 97–150.
8. Bolton, J. Liming effects on the response of potatoes and oats to phosphorus, potassium and magnesium fertilizer / J. Bolton. – Agric. Sci. J., Camb. – 1977. – № 89. – P. 87–93.
9. Кулаковская, Т. Н. Влияние известкования и минеральных удобрений на вымывание элементов питания из почвы / Т. Н. Кулаковская, В. Ю. Агеев // Химия в сельском хозяйстве. – 1978. – № 9. – С. 53–55.
10. Небольсин, А. Н. Теоретические основы известкования почв / А. Н. Небольсин, З. П. Небольсина. – СПб.: ЛНИИСХ, 2005. – С. 90–118.
11. Bergmann, W. Nutritional disorders of plants / W. Bergmann. – New York: G. Fisher, 1992. – 741 p.
12. Кирпичников, Н. А. Влияние извести на фосфатный режим слабокультурной дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений / Н. А. Кирпичников // Агрохимия. – 2016. – № 12. – С. 3–9.
13. Влияние длительного применения удобрений на показатели плодородия дерново-подзолистой почвы в зернотравяном севообороте / Р. Ф. Байбеков [и др.] // Земледелие. – 2021. – № 7. – С. 12–15.
14. Сычев, В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования / В. Г. Сычев. – М.: РАН, 2019. – С. 108–138.
15. Богдевич, И. М. Агрохимические пути повышения плодородия дерново-подзолистых почв: дис... д-ра с.-х. наук в форме науч. докл. / И. М. Богдевич; Всесоюзная Академия сельскохозяйственных наук им. В. И. Ленина, ВИУА. – М., 1992. – 73 с.
16. Инструкция по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2019. – 32 с.
17. Богдевич, И. М. Динамика степени кислотности пахотных и луговых почв в результате известкования / И. М. Богдевич, О. Л. Ломонос, О. М. Таврыкина // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1(52). – С. 159–172.
18. Овчаренко, М. М. Тяжелые металлы в системе почва–растение–удобрение / М. М. Овчаренко, И. А. Шильников, Н. И. Аканова. – М: Агроконсалт, 1998. – 380 с.
19. Комплекс мероприятий по повышению плодородия и защите от деградации почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь на 2021–2025 годы / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы, Н. Н. Цыбулько; НАН Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 148 с.
20. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Цыбулько Н. Н. [и др.]; НАН Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 144 с.
21. Некрасов, Р. В. Перспективы химической мелиорации кислых почв в Российской Федерации / Р. В. Некрасов, А. И. Аканова / Плодородие почв России:

DYNAMICS AND PERSPECTIVE OF CALCIUM SUPPLY OF ARABLE SOILS AND GRASSLAND IN BELARUS

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

Summary

The results of Agrochemical Soil Survey for 1989–2020 showed an acceptable level of exchangeable Ca-supply of arable soils and grassland in Belarus due to long term systemic liming of acidic soils. At present, 81,9 % of the area of arable and 93.1 % of improved grassland are characterized by an optimal and high content of Ca^{2+} . Due to a significant decrease in the required volumes of liming in recent years, there is a noticeable acidification of arable soils in most regions of the republic. This can lead to a loss of exchangeable calcium and degradation of soil fertility.

Two scenarios are discussed for forecasting the availability of arable soils with exchangeable calcium for the period up to 2035 in the regions of Belarus: 1 – optimistic, with liming on demand, the proportion of acidic ($\text{pH} < 5.0$) soils will decrease from 9,8 to 6,1 %, and the proportion of soils poorly supplied with calcium will decrease from 18,1 to 12,9 %; 2 – the inertial scenario is unacceptable, because with a long-term deficit of liming, 40 % of the requirement, the weighted average content of exchangeable Ca will decrease by 31 %, and the share of soils poorly supplied with calcium will increase to 44,9 %, which will lead to a decrease in the yield of the most valuable crops: sugar beet, rapeseed, wheat and corn.

Поступила 03.05.23

ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ НА СОДЕРЖАНИЕ И ЗАПАСЫ МОТРИМАССЫ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

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

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

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени наукой и практикой доказано, что органическое вещество почвы является главным фактором, определяющим почвенное плодородие. Согласно В. М. Семенову и Б. М. Когуту [1], органическое вещество почвы представляет собой «многокомпонентный, гетерогенный и полифункциональный континуум отдельных частиц и ансамблей биомолекул частично и полностью трансформировавшихся остатков биоты, которые различаются по размеру, массе, химической структуре, возрасту и защищенности, имеют разную природу и прочность внутренних и внешних химических связей, характеризуются объемной конфигурацией и пространственной неравномерностью расположения в конгломерате минеральных частиц».

По мнению некоторых авторов, при агрономической оценке органического вещества почвы наиболее целесообразно разделение его компонентов на две большие части – консервативную (инертную) и лабильную (легкоминерализуемую) [2–5].

Под лабильным органическим веществом понимают ту часть органического вещества, которая наиболее легко минерализуется, определяет скорость и емкость биологического круговорота, предохраняет от деструкции консервативную часть органического вещества почвы, является энергетическим материалом для микроорганизмов и обеспечивает растения элементами питания, и прежде всего, азотом [6, 7]. При сельскохозяйственном использовании земель именно лабильное органическое вещество представляет особый интерес как наиболее динамичная и легкотрансформирующаяся составляющая часть органического вещества почв, которая формирует их эффективное плодородие. В составе лабильного органического вещества почв можно выделить две основные группы, которые различаются между собой по составу, свойствам, методам экстрагирования – это лабильные гумусовые вещества (подвижный гумус) и легкоразлагаемое органическое вещество (ЛОВ).

Легкоразлагаемое органическое вещество состоит из разнородных фракций: живой фитомассы, свежих и полуразложившихся растительных и животных остатков, подвергшихся первичной минерализации, микроорганизмов, остатков органических удобрений и др. [6, 8]. На практике наибольшее внимание уделяют двум основным фракциям – детриту и мотримассе. Детрит в переводе с латинского означает «истертый», «продукт распада тканей» (труха), включает промежуточные продукты

разложения и гумификации источников гумуса, не связанные с минеральной частью почвы [9]. Мортмасса – свежие и полуразложившиеся остатки, не утратившие анатомического строения, отделяемые от почвы методом деконтации водой на сите с диаметром ячеек 0,25 мм [10]. К сожалению, данные о содержании и запасах этих фракций в почвах в научной литературе практически не затрагиваются. Исследования в этом направлении в странах СНГ в основном проводили российские ученые [11–18]. В Республике Беларусь данная тематика освещена недостаточно, поэтому этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Цель исследований – установление содержания и запасов мортмассы и углерода мортмассы в дерново-подзолистой супесчаной почве при традиционной и поверхностной обработке в зависимости от применяемых систем удобрения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения влияния приемов основной обработки почвы и систем удобрения на содержание и запасы мортмассы (ММ) и углерода мортмассы (C_{MM}) заложен полевой опыт с озимой пшеницей на опытном поле Института почвоведения и агрохимии, расположенном в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» на среднеоккультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве. В опыте изучали три фактора: фактор А – приемы основной обработки почвы (вспашка на глубину 20–22 см и дискование на глубину 10–12 см); фактор В – системы удобрения; фактор С – глубина отбора почвенных образцов (0–10 см и 10–20 см).

Перед закладкой опыта поделочно отобраны почвенные образцы. Агрохимическая характеристика пахотного слоя, следующая: pH_{KCl} 5,17–5,91, содержание гумуса – 1,75–2,40 %, подвижных форм фосфора – 133–186 мг/кг и калия – 146–239 мг/кг почвы, обменных соединений CaO – 882–1162 мг/кг и MgO – 128–205 мг/кг почвы.

После уборки предшественника солому измельчали и равномерно распределяли по делянкам. Под озимую пшеницу в среднем запахано 3,0 т/га соломы горохо-овсяной смеси, затем согласно схеме опыта вносили удобрение микробиологическое Жыцень в дозе 3 л/га или компенсирующую дозу азота в виде КАС (по д. в. – N_{20}) и задисковывали. Через две недели в 1-м блоке проводили вспашку, во 2-м – дискование в один след. Фосфорные и калийные удобрения внесены под основную обработку почвы, азотные – в три подкормки: в начале ранневесенней вегетации, в фазы «первый узел» и «флаг-лист» (из расчета $N_{70+40+40}$). В варианте с внесением 40 т/га подстильного навоза КРС дозы внесения азота в первые две подкормки были на 10 кг/га ниже и составили $N_{60+30+40}$.

В течение вегетации растений озимой пшеницы поделочно отбирали почвенные образцы: в период возобновления ранневесенней вегетации (1-й отбор), в фазу выхода флаг-листа перед подкормкой азотными удобрениями посевов (2-й отбор) и перед ее уборкой (3-й отбор).

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

Мортмассу отделяли от почвы по следующей методике: навеску почвы 200 г, пропущенную через сито с диаметром ячейки 2 мм, заливали в колбе 400 мл воды, настаивали 30 мин. Затем содержимое колбы интенсивно перемешивали и быстро выливали на сито с диаметром ячеек 0,25 мм. С помощью промывалки почву на сите отмывали до чистой воды, всю массу с сита переносили в химический стакан, заливали водой, взбалтывали и всплывшую часть ММ переносили вновь на сито. Так делали до полного перенесения мортмассы из стакана на сито. Затем ее высушивали при температуре 60 °С [11]. Содержание углерода в мортмассе определяли по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91).

Для оценки количественных изменений содержания углерода мортмассы под влиянием приемов обработки почвы и систем удобрения дополнительно рассчитан индекс чувствительности (ИЧ) по формуле [13]:

$$\text{ИЧ} = (C_{\text{вариант}} - C_{\text{контроль}}) / C_{\text{контроль}},$$

где $C_{\text{вариант}}$ – содержание углерода мортмассы в исследуемом варианте; $C_{\text{контроль}}$ – содержание углерода в варианте без удобрений.

Плотность почвы определяли буровым методом при помощи колец Капечко (метод «режущих колец»). Независимо от приемов обработки супесчаной почвы в начале вегетации в среднем по вариантам измеренные плотности в слоях 0–10 см и 10–20 см близки друг к другу и соответствовали оптимальным показателям [19], в то время как при дисковании в верхнем слое она составила 1,31 г/см³, в нижнем – 1,41 г/см³ (табл. 1).

Таблица 1

**Плотность дерново-подзолистой супесчаной почвы
в период вегетации озимой пшеницы**

Способ обработки почвы	Глубина отбора, см	Плотность почвы, г/см ³		
		возобновление вегетации	фаза выхода флаг-листа	перед уборкой
Вспашка	0–10	1,37	1,32	1,46
	10–20	1,36	1,35	1,41
Дискование	0–10	1,31	1,31	1,26
	10–20	1,41	1,45	1,43

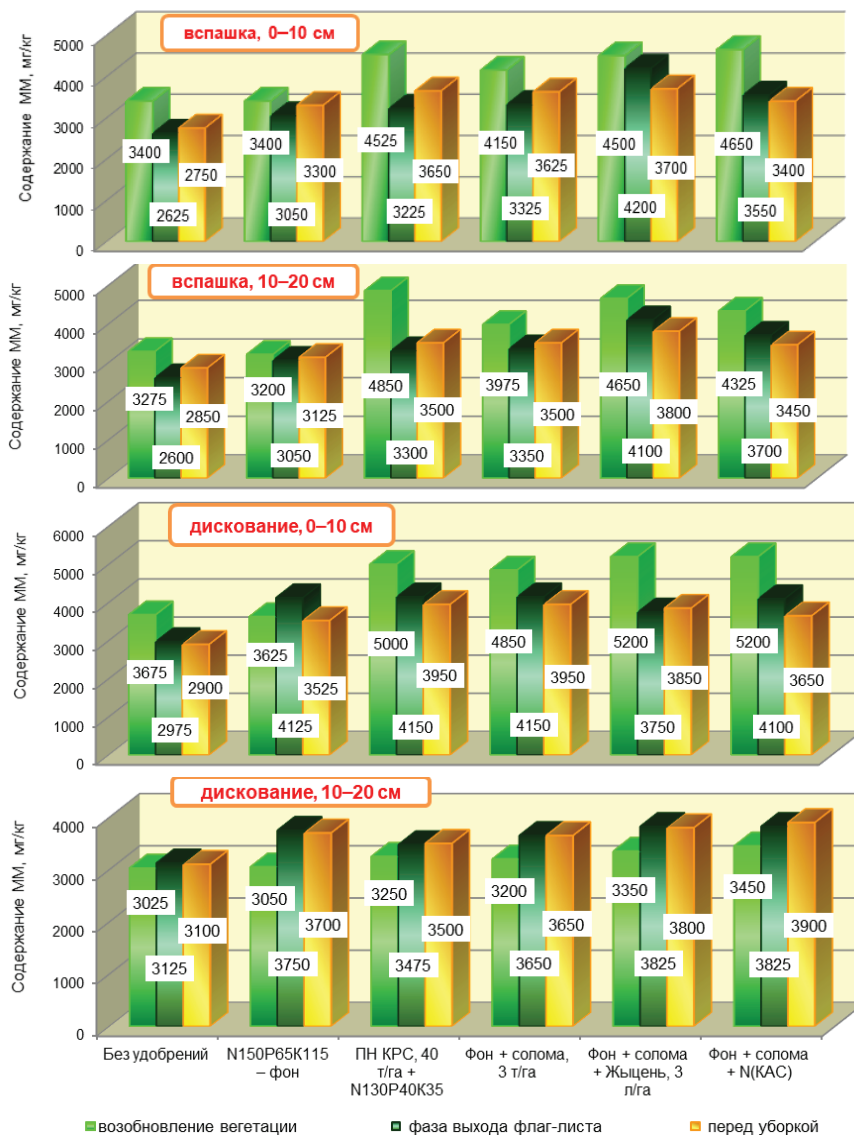
К концу вегетации наблюдалось небольшое повышение плотности в изучаемой почве по вспашке, в блоке с дискованием в слое 10–20 см изменений не наблюдалось, в слое 0–10 см – некоторое снижение.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве в период от начала активной вегетации озимой пшеницы до уборки вспашка обеспечила достаточно равномерное распределение ММ и $C_{\text{ММ}}$ в слоях 0–10 см и 10–20 см; большее влияние на эти показатели оказали применяемые системы удобрения (рис. 1, табл. 1).

Так, весной при возобновлении вегетации озимой пшеницы в варианте без удобрений при запашке только пожнивно-корневых остатков содержание ММ было

на уровне 3275–3400 мг/кг; C_{MM} – 664–697 мг/кг. На фоне применения фосфорных и калийных удобрений в дозе $P_{65}K_{115}$ осенью в основное внесение существенных различий данных показателей по сравнению с неудобренным вариантом не обнаружено. Применение подстилочного навоза в дозе 40 т/га и внесение на этом фоне $P_{40}K_{35}$ достоверно увеличило количество мортмассы на 1125–1525 мг/кг или на 33–48 % относительно варианта без удобрений. Содержание C_{MM} достигло 957–1032 мг/кг, что выше относительно контроля на 37–55 %.



HCP_{05} 1 отбор: фактор А – 330 мг/кг, фактор В – 427 мг/кг, фактор С – 340 мг/кг;
 2 отбор: фактор А – 337 мг/кг, фактор В – 265 мг/кг, фактор С – 300 мг/кг;
 3 отбор: фактор А – 350 мг/кг, фактор В – 310 мг/кг, фактор С – 310 мг/кг.

Рис. 1. Содержание мортмассы в разных слоях дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от систем удобрения и приемов обработки почвы

Запашка 3 т/га соломы горохо-овсяной смеси без компенсирующей дозы азота в блоке с традиционной обработкой почвы способствовала более высокому накоплению ММ по сравнению с осенним внесением $P_{65}K_{115}$, прирост в слоях 0–10 и 10–20 см составил 750–775 мг/кг (22–24 %). При этом полученные показатели были ниже, чем в варианте с применением навоза, что, по-видимому, обусловлено невысоким урожаем запаханной соломы и ее однократной заделкой.

Таблица 1

Содержание углерода мортмассы в разных слоях дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от систем удобрения и приемов обработки почвы

Вариант	Глу- бина отбора, см	1-й отбор			2-й отбор			3-й отбор		
		в ММ, мг/кг	% от массы почвы	ИЧ	в ММ, мг/кг	% от массы почвы	ИЧ	в ММ, мг/кг	% от массы почвы	ИЧ
Вспашка										
1. Без удобрений (контроль 1)	0–10	697	0,07	—	499	0,05	—	683	0,07	—
	10–20	664	0,07	—	477	0,05	—	740	0,07	—
2. N ₇₀₊₄₀₊₄₀ P ₆₅ K ₁₁₅ – фон	0–10	694	0,07	–0,004	655	0,07	0,31	968	0,10	0,42
	10–20	643	0,06	–0,03	617	0,06	0,29	972	0,10	0,31
3. ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₃₀₊₄₀ P ₄₀ K ₃₅	0–10	957	0,10	0,37	705	0,07	0,41	973	0,10	0,42
	10–20	1032	0,10	0,56	696	0,07	0,46	1000	0,10	0,35
4. Фон + солома, 3 т/га	0–10	992	0,10	0,42	789	0,08	0,58	879	0,09	0,29
	10–20	943	0,09	0,42	739	0,07	0,55	891	0,09	0,21
5. Фон + солома + Жыцень, 3 л/га	0–10	1100	0,11	0,58	924	0,09	0,85	1056	0,11	0,55
	10–20	1150	0,12	0,73	880	0,09	0,85	1019	0,10	0,38
6. Фон + солома + N _{20(КАС)}	0–10	1083	0,11	0,55	815	0,08	0,63	950	0,09	0,39
	10–20	1057	0,11	0,59	821	0,08	0,72	984	0,10	0,33
Дискование										
1. Без удобрений (контроль 2)	0–10	748	0,07	—	599	0,06	—	853	0,09	—
	10–20	730	0,07	—	641	0,06	—	911	0,09	—
2. N ₇₀₊₄₀₊₄₀ P ₆₅ K ₁₁₅ – фон	0–10	761	0,08	0,02	1002	0,10	0,67	1138	0,11	0,33
	10–20	713	0,07	–0,02	839	0,08	0,31	1043	0,10	0,14
3. ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₃₀₊₄₀ P ₄₀ K ₃₅	0–10	1246	0,12	0,67	836	0,08	0,40	1190	0,12	0,39
	10–20	770	0,08	0,05	837	0,08	0,31	1097	0,11	0,20
4. Фон + солома, 3 т/га	0–10	1171	0,12	0,56	922	0,09	0,54	1131	0,11	0,33
	10–20	755	0,08	0,03	759	0,08	0,18	1013	0,10	0,11
5. Фон + солома + Жыцень, 3 л/га	0–10	1322	0,13	0,77	876	0,09	0,46	1186	0,12	0,39
	10–20	793	0,08	0,09	763	0,08	0,19	1018	0,10	0,12
6. Фон + солома + N _{20(КАС)}	0–10	1298	0,13	0,74	935	0,09	0,56	1112	0,11	0,30
	10–20	805	0,08	0,10	810	0,08	0,26	1014	0,10	0,11
НСР ₀₅ фактор А		78			80			110		
НСР ₀₅ фактор В		99			94			101		
НСР ₀₅ фактор С		85			75			85		

Отмечено стимулирующее влияние обработки соломы микробиологическим удобрением Жыцень в дозе 3 л/га и компенсирующей дозы азота по соломе (N_{20}) в виде КАС на содержание ММ и углерода в ней. Установлено, что при использовании удобрения Жыцень содержание ММ в почве было значимо выше в нижнем

слое (10–20 см) по сравнению с вариантом, где солома запахана без обработки, в то время как в слое 0–10 см наблюдалась четкая выраженная тенденция роста этого показателя, однако изменения были в пределах НСР₀₅. При внесении по соломе КАС, наоборот, в верхнем слое ММ накапливалось немного больше, чем на глубине 10–20 см.

Содержание C_{MM} в этих вариантах достигло 1057–1150 мг/кг, что характеризовалось наиболее высокими значениями в блоке со вспашкой и существенно превышало показатели варианта с запаханной соломой без дополнительных обработок (отсутствие достоверных различий отмечено только для слоя 0–10 см в варианте с применением КАС).

К фазе выхода флаг-листа озимой пшеницы по сравнению с почвенными пробами, отобранными в начале ранневесенней вегетации, содержание ММ по вспашке в слоях 0–10 см и 10–20 см на минеральном фоне, достигало 3050 мг/кг и было достоверно выше на 16–17 % относительно варианта без удобрений; по C_{MM} превышение составило 29–31 %.

В этот период в вариантах с внесением минеральных удобрений из расчета $P_{40}K_{35}$ по фону 40 т/га подстилочного навоза и запашкой соломы без компенсирующей дозы азота содержание мортмассы было примерно одинаковым (3225–3350 мг/кг), прирост в изучаемых слоях почвы на фоне применения навоза составил 600–700 мг/кг относительно варианта без удобрений, за счет запаханной соломы – 275–300 мг/кг. Что касается C_{MM} , то достоверных различий в его содержании между этими вариантами также не установлено.

Обработка соломы микробиологическим удобрением Жыцень при отборе образцов почвы в фазу выхода флаг-листа озимой пшеницы точно также, как и в начале активной вегетации оказала положительное влияние на формирование ММ, что свидетельствует о его пролонгированном действии на разложение соломы. Содержание мортмассы в слоях почвы 0–10 и 10–20 см увеличилось на 22–26 % по сравнению с вариантом, где запахивали солому без обработки, C_{MM} – на 17–19 % и составило 4100–4200 мг/кг и 880–924 мг/кг соответственно, что характеризовалось максимальными значениями по опытным вариантам в блоке с традиционной обработкой почвы, как и при 1-м отборе. Меньший эффект получен при внесении компенсирующей дозы азота по соломе в виде КАС: в отличие от 1-го отбора, в котором содержание ММ и C_{MM} достигало приблизительно одного уровня с аналогичными показателями в варианте с применением удобрения Жыцень, при 2-м отборе в исследуемых слоях эти значения были меньше на 10–15 % по ММ и на 7–12 % по C_{MM} . Относительно варианта с запашкой соломы дополнительное применение КАС обеспечило тенденцию роста мортмассы и C_{MM} на 225–350 мг/кг и 26–82 мг/кг соответственно, однако полученные различия были в пределах НСР₀₅.

К моменту уборки озимой пшеницы в супесчаной почве в блоке со вспашкой в слоях 0–10 см и 10–20 см точно также, как и при 2-м отборе (в фазу выхода флаг-листа) в вариантах с внесением минеральных удобрений, подстилочного навоза и соломы без компенсирующей дозы азота наблюдалось существенное увеличение содержания мортмассы на 11–20 %, 23–33 % и 10–12 % соответственно, относительно сравниваемых вариантов (без удобрений и $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$). В конце вегетационного периода дополнительная обработка соломы удобрением Жыцень и внесение по соломе КАС значимо не влияло на образование ММ в отличие от

первых двух отборов. Несколько иная картина получена по C_{MM} : его содержание заметно повышалось (на 31–42 %) при внесении минеральных удобрений в полной дозе и по фону подстилочного навоза, в то время как при запашке соломы наблюдалась тенденция снижения по сравнению с фоновым вариантом ($N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$). При этом по опытным вариантам в блоке со вспашкой наибольшее количество C_{MM} (1019–1056 мг/кг), как и при первых 2-х отборах, отмечено в варианте с применением удобрения Жыцень, что выше на 128–177 мг/кг или 14–20 % относительно варианта, где солому запахивали без обработки. Осеннее внесение компенсирующей дозы азота по соломе в виде КАС существенно не влияло на содержание C_{MM} в почвенных образцах, отобранных перед уборкой озимой пшеницы.

В блоке с дискованием в один след в качестве основной обработки почвы, в отличие от вспашки, в начале активной вегетации озимой пшеницы наблюдалась достаточно ярко выраженная дифференциация в накоплении мортмассы и содержащегося в ней углерода в слоях 0–10 см и 10–20 см, что обусловлено большей концентрацией растительных остатков и вносимых удобрений в верхнем 10-сантиметровом слое почвы. Содержание ММ в слое 10–20 см было на 18–36 % меньше, чем в слое 0–10 см. По отношению к слою 0–10 см содержание C_{MM} в вариантах с заделкой соломы и внесением подстилочного навоза было ниже на 36–40 %, в варианте без удобрений и фоновом варианте характеризовалось примерно одинаковым количеством. К фазе выхода флаг-листа озимой пшеницы разница в содержании ММ и C_{MM} между верхним и нижним слоями почвы характеризовалась значительно меньшей разбежкой – различия либо отсутствовали, либо уменьшение по ММ не превышало 16 %, по C_{MM} – 18 %. Причина выявленных тенденций при поверхностной обработке почвы, по-видимому, заключается в том, что при достаточном количестве осадков в мае и более высокой температуре активизировались темпы разложения мортмассы в верхнем 10-сантиметровом слое, что и отразилось на ее содержании. В нижележащем слое (10–20 см) вследствие нарастания температуры и улучшения аэрации за счет развития корневой системы озимой пшеницы, наоборот, создались условия для образования мортмассы из ранее накопленных в почве органических остатков при возделывании предшествующих культур и свежих растительных остатков в отличие от 1-го отбора. К моменту уборки урожая дифференциация почвенных слоев по содержанию мортмассы и C_{MM} нивелировалась.

При дисковании под влиянием систем удобрения содержание ММ и C_{MM} в почве в слое 0–10 см изменялось по аналогии с вариантами в блоке с традиционной обработкой почвы. Минимальное количество ММ (3675 мг/кг) и C_{MM} (748 мг/кг) характерно для варианта без удобрений. Осеннее внесение $P_{65}K_{115}$ под основную обработку почвы не влияло на данные показатели. В варианте с применением подстилочного навоза и за счет заделки соломы без компенсирующей дозы азота содержание ММ в верхнем 10 см слое почвы достоверно увеличилось на 1225–1325 мг/кг, C_{MM} – на 410–498 мг/кг. Наибольшее накопление ММ (5200 мг/кг) и C_{MM} (1298–1322 мг/кг) в блоке с дискованием установлено в вариантах с обработкой соломы удобрением Жыцень и внесением компенсирующей дозы азота в виде КАС. Отмечено, что в слое 0–10 см при дисковании за счет заделки соломы как в «чистом» виде, так и при обработке удобрением Жыцень или КАС содержание ММ относительно фона увеличилось на 34–43 %, C_{MM} – на 54–74 %. В блоке

со вспашкой в аналогичных вариантах их прирост характеризовался меньшими величинами: ММ – 22–37 %, C_{MM} – 43–58 %. Применение по соломе удобрения Жыцень и КАС увеличило количество ММ на 7 %, C_{MM} – на 11–13 %.

Ранневесенняя подкормка посевов озимой пшеницы азотными удобрениями в дозе N_{70} по фону $P_{65}K_{115}$ при поверхностной обработке, как и по вспашке, оказала положительное влияние на формирование ММ в слое 0–10 см к фазе выхода флаг-листа. Ее содержание достигло 4125 мг/кг, что выше относительно варианта с заделкой только пожнивно-корневых остатков (без удобрений) на 1150 мг/кг (39 %). Концентрация C_{MM} в этом варианте характеризовалась максимальным показателем по опыту – 1002 мг/кг (+67 %). Количество ММ в варианте с внесением подстилочного навоза было на уровне ее содержания на минеральном фоне; при этом концентрация C_{MM} , достигая 836 мг/кг, существенно ниже (на 17 %), однако прирост относительно варианта без удобрений составил 237 мг/кг (+40 %). При 2-м отборе, в отличие от 1-го, не отмечено влияния заделанной в верхний слой соломы, как без компенсирующей дозы азота, так и с ней в виде КАС на содержание ММ и C_{MM} по сравнению с вариантом, где внесены только минеральные удобрения, наблюдаемые различия не превышали ошибки опыта. При этом наименьшее накопление мортмассы (3750 мг/кг) в слое 0–10 см в блоке с дискованием к фазе выхода флаг-листа озимой пшеницы обнаружено в варианте с дополнительной обработкой соломы удобрением Жыцень, что достоверно меньше на 400 мг/кг (или 10 %) относительно варианта с заделкой необработанной соломы. По содержанию C_{MM} (876 мг/кг) в этом варианте по сравнению с вариантом, где заделывали солому без обработки, наблюдалась лишь тенденция снижения.

Перед уборкой озимой пшеницы изменения в содержании ММ в верхнем слое в блоке с дискованием под действием удобрений сопоставимы с таковыми по вспашке: минеральные удобрения в дозе $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$ достоверно увеличили ее выход на 625 мг/кг (22 %), внесение $N_{60+30+40}P_{40}K_{35}$ по фону подстилочного навоза – на 1050 мг/кг (36 %), заделка соломы без обработки – на 425 мг/кг (12 %). Применение по соломе удобрения Жыцень и КАС не приводило к росту ММ, наблюдалось даже некоторое ее снижение в этих вариантах относительно варианта с необработанной соломой. Содержание C_{MM} при поверхностной обработке почвы при 3-м отборе, как и при 2-м, значимо увеличилось на минеральном фоне (+33 %) и в варианте с внесением навоза (+39 %), прибавка в вариантах как с обработкой соломы, так и без – отсутствовала.

В слое 10–20 см в блоке с дискованием содержание ММ при 1-м отборе практически не зависело от систем удобрения и варьировало в пределах 3025–3450 мг/кг; сравнительно небольшие различия по вариантам опыта установлены также для C_{MM} – 713–805 мг/кг. К фазе выхода флаг-листа наименьшее содержание ММ (3125 мг/кг) и C_{MM} (641 мг/кг) в нижнем слое получено в варианте без удобрений. В вариантах с внесением минеральных удобрений и подстилочного навоза накоплено 3475–3750 мг/кг ММ и 837–839 мг/кг углерода в ней, что существенно выше (по ММ – на 11–20 %, по C_{MM} – на 31 %), чем в неудобренном варианте. В вариантах с заделкой соломы, как без компенсирующей дозы азота, так и при ее внесении в виде КАС, а также при обработке удобрением Жыцень не установлено значимых изменений в содержании ММ и C_{MM} по сравнению с фоновым вариантом. Увеличение данных показателей в вариантах с внесением минеральных удобрений и подстилочного навоза, по-видимому, обусловлено

некоторой их миграцией в слой 10–20 см. Перед уборкой урожая по содержанию ММ и C_{MM} в слое 10–20 см отмечена такая же зависимость от систем удобрения, как и при 2-м отборе, т. е. значимый прирост на минеральном фоне и варианте с внесением навоза – 13–19 % и 14–20 % соответственно и отсутствие прибавок в вариантах с заделкой соломы.

Рассчитанные значения ИЧ показали, что в супесчаной почве в начале возобновления весенней вегетации озимой пшеницы существенным фактором, влияющим на накопление C_{MM} , является органоминеральная система удобрения по сравнению с минеральной; от фазы выхода флаг-листа до уборки урожая C_{MM} отзвучив на все применяемые системы удобрения. При этом по вспашке в пахотном слое (0–20 см) наибольшая степень отзывчивости в период исследований (в среднем ИЧ = 0,47–0,85) характерна для варианта с внесением по соломе удобрения Жыцень. При дисковании в слое 0–10 см в начале вегетации максимальные показатели (ИЧ = 0,74–0,77) получены в вариантах с обработкой соломы удобрением Жыцень и КАС, в фазу выхода флаг-листа – при минеральной системе удобрения (ИЧ = 0,67), перед уборкой урожая C_{MM} характеризовался практически одинаковой отзывчивостью на внесенные удобрения (ИЧ = 0,30–0,39).

Установлено, что характер изменения содержания и запасов ММ и C_{MM} в течение наблюдаемого периода имел практически одинаковую направленность. Поэтому в данной статье мы акцентируем внимание только на динамике их запасов. Для сезонной динамики мортмассы в блоке со вспашкой в пахотном слое (0–20 см) супесчаной почвы характерно уменьшение ее запасов от начала активной вегетации озимой пшеницы к фазе выхода флаг-листа на 5–32 % (рис. 2).

Убыль мортмассы ко 2-му отбору при запашке соломы достигла 16–22 % по сравнению с 1-м отбором, в то время как по фону навоза – 31–32 %, что обусловлено его более сильным влиянием на процессы ее трансформации. К моменту уборки урожая наблюдаемые тенденции по запасам ММ зависели от систем удобрения: при обработке соломы удобрением Жыцень и КАС они мало менялись относительно предыдущего отбора, на минеральном фоне, в вариантах с внесением подстилочного навоза и запашкой «чистой» соломы – повышались на 9–25 %. Динамика запасов C_{MM} по вспашке имела тенденцию к снижению от начала вегетации озимой пшеницы к фазе выхода флаг-листа на 5–33 % и увеличения к уборке – на 21–64 %.

В блоке с дискованием в слое 0–10 см исследуемых почв в целом отмечено постепенное уменьшение запасов ММ от начала вегетации озимой пшеницы до уборки на 15–32 %. При этом в супесчаной почве сезонные колебания по этому показателю при минеральной системе удобрения, в отличие от остальных вариантов, имели тенденцию возрастания к фазе выхода флаг-листа (+14 %) и затем снижения к уборке на 18 %.

Особенностью динамики запасов ММ в нижнем слое супесчаной почвы при дисковании являлось увеличение ее накопления в период от начала активной вегетации к фазе выхода флаг-листа в удобренных вариантах на 10–26 % (в варианте с заделкой только пожнивно-корневых остатков отмечена лишь тенденция роста) и стабилизация к уборке.

В сезонной динамике C_{MM} в слое 0–10 см супесчаной почвы при дисковании наблюдалось заметное уменьшение его запасов на 20–34 % от начала весенней вегетации к фазе выхода флаг-листа и их повышение к уборке на 14–37 % (кроме

варианта с применением минеральных удобрений, для которого установлено увеличение от 1-го отбора до 3-го на 44 %). Динамика запасов C_{MM} в нижнем слое изучаемой почвы характеризовалась довольно выраженным постоянством от начала вегетации до фазы выхода флаг-листа (только на минеральном фоне и при внесении навоза их накопление повысилось на 12–21 % и увеличением к уборке на 23–40 %.

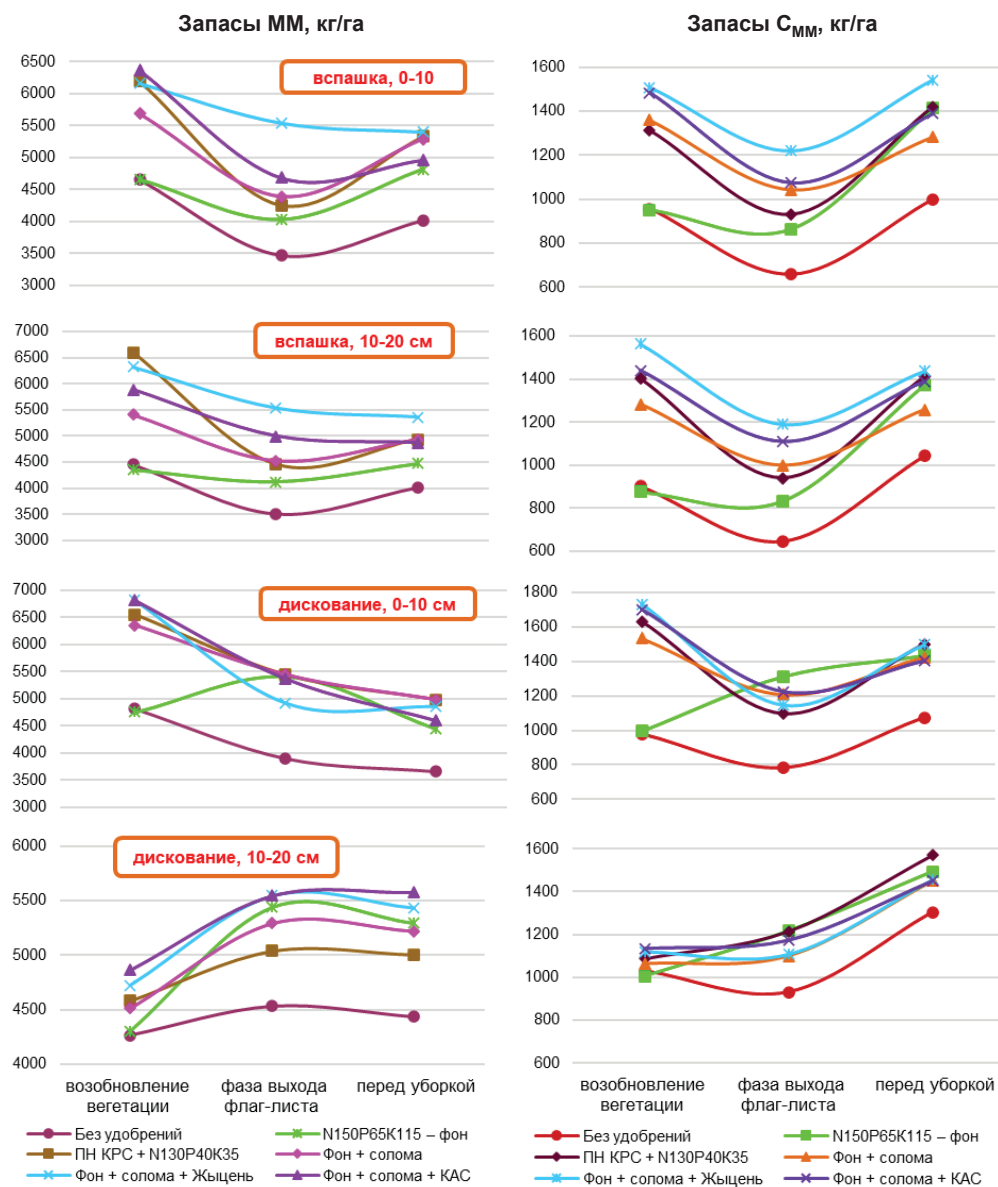


Рис. 2. Динамика запасов мортмассы и углерода мортмассы в дерново-подзолистой супесчаной почве в зависимости от систем удобрения и приемов обработки почвы, кг/га

В целом, более высокие запасы ММ в удобренных вариантах в блоке со вспашкой в изучаемых слоях среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы отмечены в начале активной вегетации озимой пшеницы; по C_{MM} четко выраженный их минимум отмечен в фазу выхода флаг-листа, в начале и конце вегетации полученные величины были приблизительно одинаковы. В блоке с дискованием в слое 0–10 см наибольшие запасы ММ и C_{MM} обнаружены весной в начале вегетации (кроме варианта с внесением минеральных удобрений); в слое 10–20 см по C_{MM} – в предуборочный период, по ММ – в фазу выхода флаг-листа при дальнейшей стабилизации до уборки.

С точки зрения накопления запасов ММ и C_{MM} наиболее благоприятным агрохимическим фоном в супесчаной почве во все сроки отбора являлась органо-минеральная система удобрения с обработкой соломы удобрением Жыцень по вспашке.

В среднем по опытным вариантам в блоке со вспашкой в почве установлено довольно равномерное распределение запасов ММ и C_{MM} в слоях 0–10 и 10–20 см, точно также, как и их содержания (рис. 3).

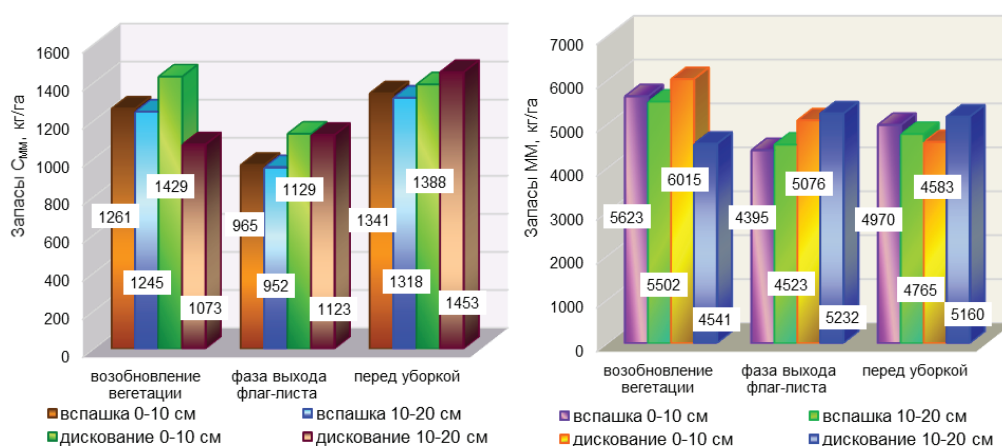


Рис. 3. Влияния приемов основной обработки почвы на запасы мортмассы и углерода мортмассы в дерново-подзолистой супесчаной почве (в среднем по блоку), кг/га

В блоке с дискованием в начале активной вегетации озимой пшеницы запасы ММ и C_{MM} в слое 0–10 см супесчаной почвы в среднем на 33 % выше, чем в слое 10–20 см, в фазу выхода флаг-листа различия практически отсутствовали; в предуборочный период – в верхнем слое накопление ММ ниже на 13 %, C_{MM} – равноценно.

В исследуемой почве при дисковании запасы ММ и C_{MM} в слое 0–10 см в начале активной вегетации в среднем на 7 и 13 % выше, чем по вспашке, в фазу выхода флаг-листа – на 15 и 17 %, к уборке, наоборот, запасы ММ снизились на 8 %, по C_{MM} – на одном уровне.

ВЫВОДЫ

В период наблюдений в среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве наиболее высокие показатели по содержанию и запасам ММ и C_{MM} в опыте отмечены в блоке с дискованием в слое 0–10 см весной в начале вегетации озимой пшеницы при органоминеральной системе удобрения с обработкой соломы микробиологическим удобрением Жыцень или внесении компенсирующей дозы азота в виде КАС (содержание ММ было на уровне 5200 мг/кг, C_{MM} – 1298–1322 мг/кг; запасы – 6812 и 1112–1186 кг/га соответственно). При этом наиболее благоприятным агрохимическим фоном в почве с точки зрения накопления запасов ММ и C_{MM} во все сроки отбора являлась органоминеральная система удобрения с обработкой соломы удобрением Жыцень по вспашке.

В блоке со вспашкой установлено довольно равномерное распределение содержания и запасов мортмассы и C_{MM} в слоях 0–10 и 10–20 см супесчаной почвы в течение наблюдаемого периода. В блоке с дискованием при возобновлении вегетации озимой пшеницы запасы ММ и C_{MM} в слое 0–10 см в среднем на 33 % выше, чем в слое 10–20 см, в фазу выхода флаг-листа – различия практически отсутствовали; перед уборкой урожая – в верхнем слое накопление ММ ниже на 13 %, C_{MM} – равноценно; по содержанию ММ и C_{MM} превышение при 1-м отборе составило 43 %, при 2-м – 7 и 11 %; к концу вегетации – различия не наблюдалось.

Запасы ММ и C_{MM} при дисковании в верхнем слое почвы в начале активной вегетации в среднем по блоку были только на 7 и 13 % выше, чем по вспашке, в фазу выхода флаг-листа – на 15 и 17 %, к уборке запасы ММ немного уменьшились (на 8 %), по C_{MM} – остались на прежнем уровне.

Для динамики мортмассы и C_{MM} в изучаемых слоях супесчаной почвы по вспашке в удобренных вариантах характерно уменьшение запасов к фазе выхода флаг-листа в среднем на 17–23 % и повышение к уборке C_{MM} на 36–37 %; по ММ в слое 0–10 см наблюдаемые тенденции зависели от систем удобрения, а в слое 10–20 см – мало менялись относительно предыдущего отбора. В блоке с дискованием в слое 0–10 см от начала вегетации к уборке запасы ММ в почве снижались в среднем на 24 %; в слое 10–20 см – повышались ко 2-му отбору на 17 % и стабилизировались к концу вегетации. При этом запасы C_{MM} в верхнем слое почвы уменьшались от начала вегетации к фазе выхода флаг-листа на 29 % (кроме минерального фона – прирост 32 %) и повышались к уборке на 21 %. Динамика запасов C_{MM} в нижнем слое в среднем по блоку в удобренных вариантах имела довольно выраженное постоянство от начала вегетации до фазы выхода флаг-листа и увеличение к уборке на 28 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов, В. М. Почвенное органическое вещество / В. М. Семенов, Б. М. Когут. – М.: ГЕОС – 2015. – 233 с.
2. Тейт, Р. Органическое вещество почв: Биологические и экологические аспекты: пер. с англ. / Р. Тейт. – М.: Мир. – 1991. – 400 с.
3. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах / В. И. Кирюшин [и др.]. – М.: МСХА. – 1994. – 99 с.
4. Ганжара, Н. Ф. Гумус, свойства почв и урожай // Почвоведение. – 1998. – № 7. – С. 812–819.

5. *Мамонтов, В. Г.* К вопросу о лабильном органическом веществе почв / В. Г. Мамонтов, Р. А. Афанасьев, Л. П. Родионова // *Плодородие*. – 2008. – № 2. – С. 20–22.
6. *Воспроизводство гумуса как составная часть системы управления плодородием почвы: методическое пособие* / И. Н. Шарков [и др.]; под ред. И. Н. Шаркова; Россельхозакадемия, СибНИИЗиХ. – Новосибирск: СибНИИЗиХ Россельхозакадемии, 2010. – 36 с.
7. *Мамонтов, В. Г.* Лабильные гумусовые вещества – особая группа органических соединений чернозема обыкновенного / В. Г. Мамонтов, Р. А. Афанасьев, Е. Л. Соколовская // *Плодородие*. – 2008. – № 5. – С. 15–19.
8. *Титлянова, А. А.* Легкоразлагаемое органическое вещество пахотных почв / А. А. Титлянова // *Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы: материалы Всероссийской конф. (с межд. участ.), С.-Петербург, 14–15 октября 2010 г.* / АФИ Россельхозакадемии, СибФТИ Россельхозакадемии. – С.-Петербург, 2010. – С. 149–153.
9. *Ганжара, Н. Ф.* Почвоведение / Н. Ф. Ганжара. – М.: Агроконсалт. – 2001. – С. 114.
10. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / В. Н. Кудеяров [и др.]. – М.: Наука. – 2007. – 315 с.
11. Влияние пожнивных остатков на состав органического вещества чернозема, выщелоченного в лесостепи Западной Сибири / И. Н. Шарков [и др.] // *Почвоведение*. – 2014. – № 4. – С. 473–479.
12. *Шарков, И. Н.* Влияние длительного антропогенного воздействия на содержание и состав органического вещества чернозема, выщелоченного в лесостепи Приобья / И. Н. Шарков, А. А. Данилова // *Сибирский экологический журнал*. – 2012. – № 5. – С. 693–701.
13. *Русакова, И. В.* Теоретические основы и методы управления плодородием почв при использовании растительных остатков в земледелии. – Владимир: ФГБ-НУ ВНИИОУ, 2016. – 131 с.
14. *Русакова, И. В.* Влияние соломы и пожнивного сидерата на запасы мортмассы и содержание в ней элементов питания / И. В. Русакова // *Владимирский земледелец*. – 2019. – № 4(90). – С. 46–50.
15. *Русакова, И. В.* Биологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном использовании соломы на удобрение / И. В. Русакова // *Почвоведение*. – 2013. – № 12. – С. 1485–1493.
16. *Балабанова, Н. Ф.* Влияние длительного применения удобрений на органическое вещество лугово-черноземной почвы и урожайность зерна яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04; СибНИИСХ. – Новосибирск, 2013. – 19 с.
18. *Власенко, О. А.* Запасы легкоминерализуемого органического вещества при возделывании пропашных кормовых культур в Красноярской лесостепи / О. А. Власенко // *Вестник КрасГАУ*. – 2017. – № 9. – С. 157–165.
19. *Данилова, А. А.* Содержание мортмассы и биодинамика пахотной почвы в условиях реальных агротехнологий в Сибири / А. А. Данилова // *Живые и биокосные системы* (Науч. электр. период. изд. ЮФУ). – 2018. – № 23.
20. 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.

THE INFLUENCE OF AGROTECHNOLOGICAL TECHNIQUES ON THE MAINTENANCE AND RESERVES OF MOTRMASS IN SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL

**E. N. Bahatyrova, T. M. Seraya, T. M. Kirdun,
Y. A. Simankova, M. M. Torchilo**

Summary

The influence of tillage methods and fertilizer systems on the content and reserves of mortmass and C_{MM} in layers of 0–10 cm and 10–20 cm of sandy loam soil was assessed, their dynamics during the growing season of winter wheat was established. During the observation period, the highest rates in the experiment were noted when disking in a layer of 0–10 cm in spring at the beginning of growing season with an organic-mineral fertilizer system with treatment of straw with Zhytsen microbiological fertilizer or applying a compensating dose of nitrogen in the form of CAS (the content of mortmass was at the level of 5200 mg/kg, carbon – 1298–1322 mg/kg; reserves – 6812 and 1112–1186 kg/ha, respectively).

Поступила 11.05.23

КАЛИЙНОЕ ПИТАНИЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ВЫСОКОКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Калий является важнейшим элементом минерального питания растений. Несмотря на то, что запасы этого элемента в почвах заметно превосходят запасы других питательных веществ, при эффективном ведении сельскохозяйственного производства оптимизация условий калийного питания растений относится к числу первоочередных задач. Обусловлено это более высоким выносом калия культурными растениями по сравнению с другими элементами, а также активной сорбцией его компонентами твердой фазы почвы [1].

Почвы Беларуси сравнительно хорошо обеспечены калием. Пахотные почвы республики характеризуются в основном средней и повышенной обеспеченностью подвижным калием. Средневзвешенное содержание K_2O в глинистых и суглинистых почвах составляет 245 мг/кг почвы, в супесчаных – 218, в песчаных – 173 мг/кг почвы. Таким образом, в группе суглинистых пахотных почв эти показатели близки к оптимальным параметрам [2].

Следует отметить, что высокое содержание калия в почве является своего рода страховым фондом продуктивности посевов и в определенной мере гарантией снижения негативного воздействия на растения засухи, избыточного увлажнения, низких температур и других факторов.

В современных условиях низкозатратного земледелия важно не допустить снижения почвенного плодородия в отношении калия. Основной способ решения данной задачи – научно обоснованное, рациональное применение калийных удобрений. По подвижности по профилю почвы данный элемент занимает промежуточное положение между азотом и фосфором. Поэтому при внесении калийных удобрений на глинистых, тяжелых по гранулометрическому составу почвах значительная часть калия переходит в недоступные формы вследствие его фиксации минералами. На легких по гранулометрическому составу почвах калий удобрений вымывается из пахотного слоя, а иногда даже за пределы слоя почвы, в котором находятся корни, в подпочвенные воды [3].

К тому же, имеются различия в протекании процессов трансформации калийного состояния даже на почвах одного гранулометрического состояния, но разного генезиса.

Таким образом, для разработки рациональной системы применения калийных удобрений важно знать природу трансформационных процессов в системе «почва – калийное удобрение – растение» с позиций как возможностей мобилизации имеющихся запасов почвенного калия, так и сохранения определенной

устойчивости калийного состояния почвы. Сложность познания этих процессов обусловлена их сильной зависимостью от многих факторов: свойств почвы, времени года, водного и теплового режимов, особенностей потребления калия сельскохозяйственными культурами и др. [4, 5].

Актуальность изучения трансформации доступных соединений калия в высококультуренной почве в зависимости от погодных условий и систем удобрения и изменений концентрации калия в растениях яровой пшеницы на протяжении периода вегетации обусловила цель данной работы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные полевые исследования с яровой пшеницей сорт Сударыня проводили в 2018–2020 гг. на опытном поле РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в ОАО «Гастелловское» Минского района на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя перед посевом: поле 1 (2018 г.) – pH_{KCl} – 5,9, содержание гумуса – 2,6 %, подвижные соединения калия – 277, фосфора – 699 мг/кг почвы, поле 2 (2019 г.) – pH_{KCl} – 6,1, содержание гумуса – 2,4 %, подвижные соединения калия – 253, фосфора – 708 мг/кг почвы, поле 3 (2020 г.) – pH_{KCl} – 5,9, содержание гумуса – 2,5 %, подвижные соединения калия – 187, фосфора – 573 мг/кг почвы.

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

Удобрения (мочевина, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) вносили согласно схеме опыта (табл. 2).

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

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

Для диагностики калийного питания осуществлялся отбор почвенных и растительных образцов в фазы 1-го узла, флаг-листа, колошения, молочной спелости и созревания яровой пшеницы и, кроме того, почвенные образцы перед посевом культуры. В почвенных образцах определяли доступные соединения калия путем экстрагирования из почвы 0,2 М раствором уксусной кислоты при отношении почвы к экстрагенту 1:20, времени взаимодействия – 18–20 часов и последующим определением калия на пламенном фотометре [6].

В сырой растительной массе экстрагированием 0,2 М раствором уксусной кислоты (соотношение массы растений и экстрагирующего раствора 1:20, время взаимодействия – 18–20 часов, определение методом пламенной фотометрии) [7] определяли свободный калий (K_2O).

Содержание общего калия в растительных образцах определяли после мокрого озоления по методу ЦИНАО на пламенном фотометре (ГОСТ 26657-85).

Дисперсионный и корреляционный анализ экспериментальных данных выполнен согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова [8] с использованием соответствующих программ пакета MSExcel.

Анализ метеорологических условий в годы исследований показал значительные их различия (табл. 1). Условия 2018 г. в период от посева и до наступления фазы флаг-листа у яровой пшеницы характеризовались повышенными температурами

воздуха (15,8–17,8 °С), сопровождавшимися значительным недостатком влаги. В этот период, продолжавшийся 47 дней, выпало всего 21,1 мм осадков (22 % от нормы), а продуктивные запасы влаги в 20 см слое почвы снизились с 48,8 до 0 мм. В дальнейшем температурный режим оставался благоприятным, условия увлажнения улучшились, но дефицит запасов влаги в почве отмечался до фазы молочной спелости яровой пшеницы.

Таблица 1

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

Показатели	Год	Межфазный период				
		посев – 1-й узел	1-й узел – флаг-лист	флаг-лист – колошение	колошение – молочная спелость	молочная спелость – созревание
Средние t за пе- риод, °С (среднее многолетнее)	2018	15,8 (11,9)	17,8 (15,1)	18,3 (16,3)	17,1 (17,6)	21,2 (18,7)
	2019	11,4 (11,0)	18,8 (15,4)	22,8 (16,2)	19,4 (17,2)	16,4 (18,6)
	2020	8,2 (10,7)	16,4 (15,5)	21,0 (16,8)	20,1 (17,7)	17,1 (18,7)
Сумма осадков, мм (среднее многолет- нее)	2018	19,1 (47)	2,0 (51)	17,7 (30)	192,1 (64)	11,0 (63)
	2019	51,6 (77)	14,8 (34)	8,1 (21)	36,4 (46)	63,0 (80)
	2020	53,3 (82)	90,7 (57)	19,9 (27)	66,6 (45)	35,4 (71)
Запасы продуктив- ной влаги в почве (слой 0–20 см) на начало/конец пери- ода, мм	2018	48,8/20,9	20,9/0	0/6,7	6,7/24,9	24,9/18,3
	2019	11,1/11,9	11,9/9,2	9,2/12,5	12,5/5,4	5,4/21,2
	2020	8,6/15,9	15,9/40,1	40,1/27,3	27,3/33,3	33,3/21,8
Длительность меж- фазного периода, дн.	2018	27	20	10	31	18
	2019	46	14	7	17	27
	2020	46	21	9	14	27

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

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

Для активности корневой системы растений, в том числе и в отношении поглощения калия идеальными термическими условиями являются температуры

в диапазоне 15–27 °С [9]. Таким образом в 2018 г. на протяжении всего периода вегетации яровой пшеницы температурный режим был благоприятным для поглощения калия растениями, в 2019 и 2020 гг. такие условия складывались от первого узла до созревания.

Также чем выше влажность почвы, тем лучше поглощается калий растениями [9]. Удовлетворительные (20–40 мм) [10] запасы продуктивной влаги в слое 0–20 см почвы в 2018 г. наблюдались в период посев – первый узел и при прохождении фазы колошения. В 2019 г. таких периодов не отмечалось, в 2020 г. от фазы флаг-листа до уборки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание доступного калия, определяемого в 0,2 М уксусной кислоте, перед посевом яровой пшеницы в зависимости от года исследования изменялось в среднем по опыту в пределах от 151 до 239 мг/кг (рис. 1), что составило 80–86 % от подвижных форм, извлекаемых 0,2 М соляной кислотой. Значительные различия, наблюдаемые по годам исследования были обусловлены в первую очередь агрохимическими особенностями полей.

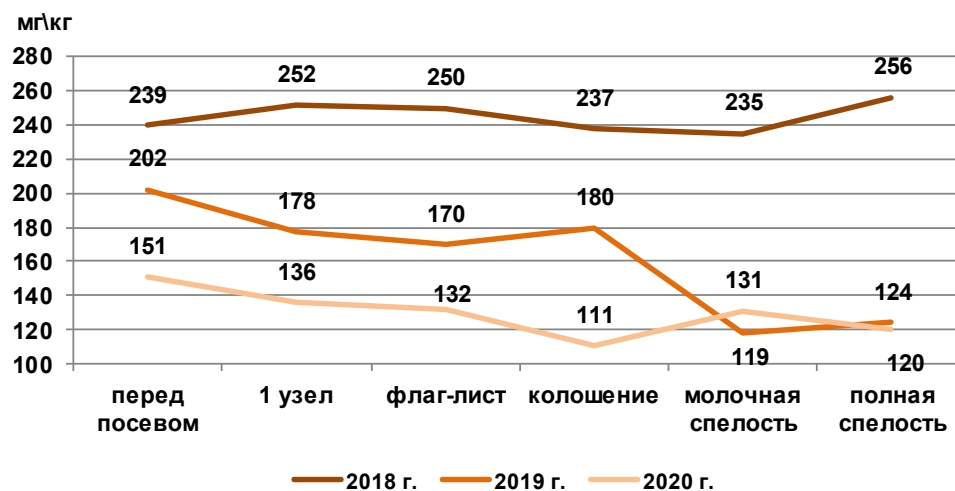


Рис. 1. Динамика содержания доступного калия в почве (мг/кг почвы) в среднем по опыту за вегетацию яровой пшеницы по годам исследования

Наибольшее содержание доступного калия наблюдалось в 2018 г. на поле 1 – 235–256 мг/кг почвы, колебания в данном показателе за период вегетации яровой пшеницы были незначительными, коэффициент вариации (V) составил 3,6 %. В 2019 г. на поле 2 количество доступного калия изменялось от 119 до 202 мг/кг, максимальные значения показателя отмечались перед посевом яровой пшеницы, наименьшие в молочную – полную спелость, в этом году установлено наибольшее варьирование содержания доступного калия за период вегетации (V – 20,5 %). В 2020 г. на поле 3 количество доступного калия было наименьшим среди годов исследования – 111–151 мг/кг почвы, в целом характер изменений показателя за вегетацию яровой пшеницы (снижение от посева к уборке) был близким к тенденциям отмечавшимся в 2019 г., при коэффициенте вариации за период 10,5 %.

При значительных различиях в содержании доступного калия по полям установить влияния данного фактора на урожайность зерна яровой пшеницы не представилось возможным в силу значительного воздействия на данный показатель погодных условий, существенно различавшихся по годам. В экстремально засушливых условиях в 2018 г. при наибольшем содержании в почве доступного калия получена наименьшая средняя по опыту урожайность (41,1 ц/га). Хорошая увлажненность на протяжении периода вегетации в 2020 г. обусловила получение наибольшей продуктивности яровой пшеницы (60,2 ц/га) при наименьшей обеспеченности посевов доступным калием среди годов исследования.

В то же время отмеченное обстоятельство позволило проанализировать динамику содержания доступного калия в почве при существенном колебании метеорологических показателей.

В работе [11], посвященной в том числе и изучению особенностей трансформации калия почвы и удобрения в зависимости от различных уровней увлажнения и температуры почвы отмечается зачастую разнонаправленное влияние данных факторов на трансформацию калия в почвах различных по химическому составу материнской породы, гранулометрическому составу и степени окультуренности.

На динамику содержания доступного калия в почве с одной стороны оказывают растения, которые в процессе роста и развития поглощают большое количество данного элемента, с другой меняющиеся гидротермические условия. Усваивая калий, растения снижают его концентрацию в почвенном растворе, которая восстанавливается за счет обменного и необменной калия. Этот процесс ускоряет попеременное подсушивание и увлажнение почвы [3].

В опыте возделывание яровой пшеницы в 2018 г. на поле с наибольшими показателями содержания доступного калия не способствовало большему, по сравнению с другими годами исследования, поглощению калия растениями (рис. 2), что было обусловлено неблагоприятными погодными условиями, наблюдавшимися в критические периоды роста.

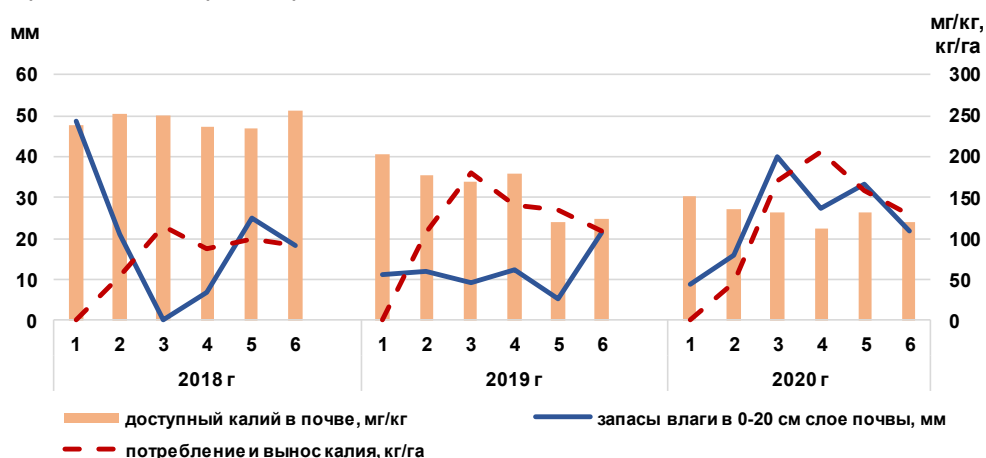


Рис. 2. Динамика содержания доступного калия (в среднем по опыту), запасов влаги в почве и потребления калия по основным фазам развития яровой пшеницы:

- 1 – перед посевом; 2 – 1-й узел; 3 – флаг-лист; 4 – колошение;
5 – молочная спелость; 6 – полная спелость

В результате не установлено снижения содержания доступного калия в почве, которое могло быть обусловлено потреблением элемента растениями яровой пшеницы. В то же время иссушение почвы, наблюдавшееся от посева до фазы флаг-листа, когда запасы влаги в 0–20 см слое почвы снизились от 48,8 до 0 мм, а в дальнейшем к молочной спелости повысились до 24,9 мм также существенно не повлияли на динамику содержания доступного калия в почве. Достоверные изменения в содержании данной формы калия отмечены в период молочная – полная спелость, когда показатель повысился на 21 мг/кг почвы ($\text{НСР}_{05} - 20$).

В 2019 и 2020 гг., когда погодные условия были более благоприятны для роста растений яровой пшеницы, прослеживаются некоторые закономерности в динамике содержания доступного калия в почве, обусловленные в первой половине вегетации потреблением калия растениями, во второй – гидротермическими условиями.

Максимальный показатель потребления калия в 2019 г. (180 кг/га) наблюдался в фазе флаг-листа яровой пшеницы, содержание доступного калия от посева к данной фазе снизилось на 32 мг/кг, при этом существенное снижение показателя на 24 мг/кг почвы ($\text{НСР}_{05} - 12$) отмечено в период посев – 1 узел, когда потребление элемента составило 60 % от максимального.

В 2020 г. неблагоприятные условия в начале вегетации обусловили более продолжительный период поглощения калия из почвы, который длился до фазы колошения. Снижение содержания доступного калия в почве за данный период составило 40 мг/кг почвы, наиболее интенсивно оно происходило в промежутке флаг-лист – колошение (достоверное снижение на 21 мг/кг ($\text{НСР}_{05} - 19$)), когда продолжающееся потребление калия растениями совпало с ухудшением условий увлажнения.

Во второй половине вегетации в 2019 и 2020 гг., когда поглощение калия растениями из почвы практически завершено, прослеживается четкая тенденция зависимости количества доступного калия в почве от гидротермических условий, в первую очередь от запасов влаги в 20-сантиметровом слое почвы. Корреляционно-регрессионный анализ данных за вегетацию позволил установить криволинейную зависимость между вышеупомянутыми показателями, для 2019 г. корреляционное отношение (η) составило 0,95, для 2020 г. – 0,90 (значимость результатов при $\eta \geq 0,80$). Для данных 2018 г. такой связи не установлено. Как правило, повышение количества влаги в почве сопровождалось увеличением содержания доступного калия, снижении – соответственно уменьшением.

Регулируемым фактором, оказывающим влияние на содержание элементов питания в почве, является внесение соответствующих удобрений. Внесение в опыте 90 кг д. в./га калия (совместно с P_{30}) в среднем за три года не оказало существенного влияния на изменение содержания доступного калия в почве по сравнению с вариантом без внесения удобрений.

Имеются сведения [12] об усилении мобилизации труднодоступного калия при применении азотных удобрений. В нашем опыте применение 120 кг д. в./га азота способствовало существенному повышению содержания доступных форм калия в фазы 1 узла, колошения и молочной спелости (рис.3). В фазе флаг-листа достоверных различий между вариантами не установлено. В данной фазе в среднем за три года установлены максимальные значения потребления калия, составившие в варианте $\text{N}_{120}\text{P}_{30}\text{K}_{90}$ 186,9 кг/га, в варианте без удобрений –

99,4 кг/га, при внесении $P_{30}K_{90}$ – 122,5 кг/га. Таким образом, количество поглощенного калия в варианте $N_{120}P_{30}K_{90}$ было на 53–88 % выше и, вероятнее всего, обусловило снижение содержания доступного калия в данном варианте до уровня, наблюдавшегося в вариантах без удобрения и при внесении РК.

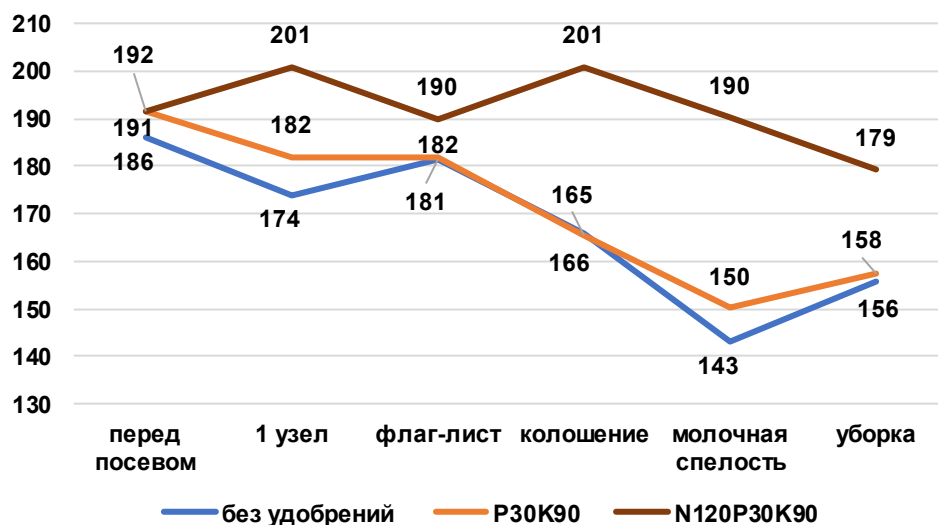


Рис. 3. Динамика содержания доступного калия в почве в зависимости от системы удобрения по основным фазам развития яровой пшеницы (в среднем за три года)

Можно отметить, что при внесении в опыте 60, 90 и 150 кг д. в./га азота на фоне $P_{30}K_{90}$ также наблюдались тенденции повышения содержания доступного калия в почве, но наиболее выраженные существенные закономерности установлены при внесении 120 кг д. в./га азота.

Способность почвы обеспечивать растения калием в большей степени характеризует содержание данного элемента в растениях в различные периоды их роста и развития. Внутриклеточная концентрация калия в растениях в 100–1000 раз превышает его концентрацию в почвенном растворе. Калия в 3–5 раз больше в молодых жизнеспособных частях и органах растений, чем в старых. Критический период в потреблении данного элемента растениями приходится на первые 15 дней после всходов, а период максимального потребления совпадает с периодом интенсивного прироста биомассы [13].

По данным опыта в среднем за три года максимальное содержание свободного (определяемого в свежих образцах в уксуснокислой вытяжке) и общего калия отмечено в растениях в фазе 1-го узла 3,61–4,38 % и 5,11–5,63 % соответственно (табл. 2). В дальнейшем концентрация калия в растениях значительно снижалась к молочной спелости в 3,8 и 3,6 раза соответственно.

В отличие от азота и фосфора калий не входит в состав органических соединений, а находится в клетках растений в ионной форме в виде растворимых солей в клеточном соке и частично в виде недолговечных комплексов с коллоидами цитоплазмы. Около 80 % калия находится в клеточном соке и может легко вымываться водой (дождями и при поливе). Поэтому при определении данного

элемента в вытяжке уксусной кислоты извлекается 65–71 % от общего калия, в то время как азота при определении данным методом извлекалось 3–7 % [14], фосфора 9–56 % [15].

Внесение калийных удобрений, совместно с фосфорными не оказало значительного влияния на повышение содержания калия в растениях, за исключением фазы колошения, когда в среднем за три года количество свободного калия увеличилось на 0,35 %, общего – на 0,27 %.

Таблица 2

Динамика содержания свободного и общего калия в надземной части растений яровой пшеницы, % в сухом веществе

Вариант	Свободный калий (K ₂ O)				Общий калий (K ₂ O)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Без удобрений	3,61	2,43	1,57	0,98	5,29	3,43	2,34	1,51
P ₃₀ K ₉₀ – фон	3,86	2,59	1,92	0,94	5,27	3,43	2,61	1,64
Фон + N ₆₀	3,89	2,80	2,24	1,01	5,11	3,47	2,88	1,41
Фон + N ₉₀	4,13	3,09	2,48	1,10	5,51	3,69	3,15	1,60
Фон + N ₁₂₀	4,38	3,27	2,29	1,10	5,63	4,23	3,20	1,68
Фон + N ₁₅₀	4,13	2,84	1,89	1,14	5,44	4,21	2,94	1,59
Фон + N ₉₀₊₃₀ * +30*	4,36	3,18	2,10	1,14	5,93	4,22	3,04	1,68
НСР ₀₅	0,37	0,37	0,35	F _ф < F ₀₅	F _ф < F ₀₅	0,60	0,23	F _ф < F ₀₅

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

* – МикроСтим-Медь, Марганец (1,0 л/га) + Экосил (0,1 л/га).

Отмечено положительное влияние внесения азотных удобрений на накопление калия в растениях яровой пшеницы, при этом, как правило, наибольших значений концентрация калия в растениях достигала при внесении 120 кг д. в./га азота. При разовом внесении 150 кг д. в./га азота наблюдалась тенденция или достоверное снижение концентрации элемента. При дробном внесении той же дозы азота данных негативных тенденций не выявлено.

В общей закономерности снижения содержания в растениях калия от первого узла к молочной спелости отмечены некоторые особенности по годам, обусловленные влиянием условий увлажнения и теплообеспеченности. Потребление калия корнями растений снижается при уменьшении влажности почвы [1]. Также при низкой температуре уменьшается интенсивность фотосинтеза, отток углеводов к корням и, как следствие, снижается их поглотительная деятельность.

В опыте динамика содержания калия в растениях наиболее отклонялась от среднего показателя в 2018 г., когда отмечались экстремально засушливые условия в период флаг-листа – колошение (рис. 4). Концентрация свободного калия в фазу флаг-листа в этом году составила 2,36 %, что в 1,6 раза ниже, чем в 2019 и 2020 гг. Величина снижения содержания общего калия была сопоставимой (1,5 раза).

В 2020 г. низкие температуры и недостаток влаги в период посев – первый узел обусловили снижение поглотительной способности растений. В результате содержание свободного калия в растениях в фазе 1 узла составило 3,81 %, что на 0,42 % ниже, чем в 2019 г. и на 1,29 % ниже, чем в 2018 г. Концентрация

общего калия была ниже на 2,11 и 0,59 % соответственно. К фазе флаг-листа не отмечалось, обычно наблюдаемое, существенное снижение данного показателя, концентрация свободного калия составила 3,70 %, общего – 4,85 %. То есть при улучшении условий поглощения растения компенсировали недостаток элемента, сформировавшийся в предыдущую фазу.

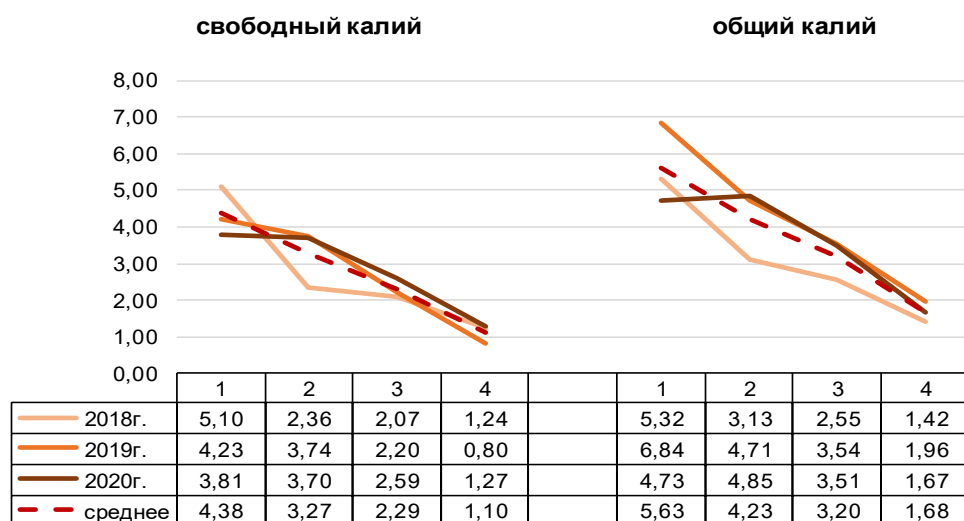


Рис. 4. Динамика содержания свободного и общего калия в надземной массе растений по основным фазам развития яровой пшеницы по годам исследования, % в сухом веществе:
1 – 1-й узел; 2 – флаг-лист; 3 – колошение; 4 – молочная спелость

В 2019 г., как отмечалось, на протяжении всей вегетации ощущался недостаток влаги, что отразилось в большей степени на приросте биомассы, содержание калия в растениях было близко к показателям 2020 г. за исключением концентрации свободного калия в фазу молочной спелости, которая снизилась до 0,80 %, что в 1,6 раза ниже, чем в 2018 и 2020 гг. Данный факт может быть связан со снижением запасов влаги в 0–20 см слое почвы до 5,4 мм, тогда как в предыдущие фазы он держался на уровне 9,2–12,5 мм. Необходимо отметить, что концентрация общего калия в данную фазу была даже несколько выше, чем в другие годы исследования.

Расчет коэффициента вариации показал, что содержание калия в растениях в большей степени изменялось в зависимости от года исследований ($V = 19\%$), то есть складывающихся на протяжении вегетации погодных условий, чем от системы удобрения ($V = 10\%$).

ВЫВОДЫ

Проведенные на высокоокультуренной почве исследования с яровой пшеницей позволили установить зависимость содержания доступного калия в почве от содержания влаги в 0–20 см слое почвы (η 0,90–0,95). Повышение

количества влаги в почве сопровождалось увеличением содержания доступного калия, снижение – уменьшением. Наиболее четко данная связь прослеживалась во второй половине вегетации (колошение – полная спелость), когда практически прекращается потребление элемента растениями.

В период от посева до флаг-листа – колошения в погодных условиях близких к оптимальным происходит достоверное снижение содержания доступного калия в почве на 16–26 %, обусловленное потреблением его растениями.

Влияния калийных удобрений в дозе 90 кг д. в./га на динамику показателя содержания доступного калия в почве, а также свободного и общего калия в растениях не отмечалось, при этом внесение азотных удобрений приводило к достоверному повышению данных показателей. Наиболее выраженные существенные закономерности установлены при внесении 120 кг д. в./га азота: повышение содержания доступного калия в почве на 8–40 мг/кг почвы, свободного калия в растениях на 0,16–0,68 %, общего калия на 0,04–0,80 % в зависимости от фазы.

Содержание калия в растениях в большей степени изменяется в зависимости от складывающихся на протяжении вегетации погодных условий (V – 19 %), чем от системы удобрения (V – 10 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокошев, В. В. Калий и калийные удобрения / В. В. Прокашев, И. П. Дерюгин. – М.: Ледум, 2000. – 185 с.
2. 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.
3. Калийный режим почв [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://studref.com/374099/agropromyshlennost/kaliynyy_rezhim_pochv – Дата доступа: 07.12.2022.
4. Пчелкин, В. У. Почвенный калий и калийные удобрения / В. У. Пчелкин. – М.: Колос, 1966. – 336 с.
5. Якименко, В. Н. Калий в агроценозах Западной Сибири / В. Н. Якименко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2003. – 231 с.
6. Методы определения содержания доступных растениям соединений азота, фосфора и калия в дерново-подзолистых почвах / Н. Н. Семененко, [и др.] – Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2019. – 16 с.
7. Методы оперативной диагностики минерального питания зерновых культур / Н. Н. Семененко [и др.] – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2019. – 16 с.
8. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд. доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
9. Калий в жизни растений [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://fitofert.ru/kaliy_v_shizni_rasteniy/ – Дата доступа: 12.01.2023.
10. Почвенно-гидрологические константы. Расчет запасов влаги. Оценка запасов влаги. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/6726476/> – Дата доступа: 22.02.2022.

11. Лямцева, Е. Г. Калийное состояние легких дерново-подзолистых почв и его трансформация в современных условиях: автореф. дис. ...канд. с/х наук: 06.01.04 / Е. Г. Лямцева; Великолукская ГСХА. – СПб – Пушкин, 2008. – 22 с.
12. Иванов, А. И. Емкостно-энергетическая оценка калийного состояния окультуренной дерново-подзолистой почвы / А. И. Иванов, В. А. Воробьев, Е. Г. Лямцева. – Плодородие. – 2009. – № 4. – С. 23–24.
13. Значение калия для растений и его содержание в почве [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://agrotest.com/ru/article/znachenie-kaliya-dlya-rastenij-i-ego-soderzhanie-v-pochve/> – Дата доступа: 18.12.2022.
14. Диагностика азотного питания яровой пшеницы на высокоокультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / О. Г. Кулеш [и др.] – Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 60–72.
15. Кулеш, О. Г. Фосфорное питание яровой пшеницы на высокообеспеченной фосфатами дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / О. Г. Кулеш, Е. Г. Меценцева, О. В. Симанков. – Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 73–85.

POTASSIUM NUTRITION OF SPRING WHEAT ON HIGHLY CULTIVATED SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL

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

Summary

The results of studies that, when cultivating spring wheat, made it possible to establish a decrease in the content of available potassium in a highly cultivated soil by 16–26 % in the period from sowing to the flag leaf-heading, due to the consumption of potassium by plants. In the second half of the growing season (heading – full ripeness), the content of available potassium in the soil to a greater extent depended on the moisture content in the 0–20 cm soil layer (η 0,90–0,95). There was an increase in the content of available potassium in the soil by 8–40 mg/kg of soil, free potassium in plants by 0,16–0,68 %, total potassium by 0,04–0,80 %, depending on the phase of growth and development of spring wheat when applying 120 kg/ha of nitrogen fertilizers against the background of $P_{30}K_{90}$. The effect of potash fertilizers on these indicators has not been established.

Поступила 07.04.23

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ КУКУРУЗЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Высокоокультуренные дерново-подзолистые почвы представляют ценность как стратегический резерв. В Беларуси такие почвы составляют основной фонд обрабатываемых земель, из них суглинистые являются наиболее благоприятными для выращивания всех сельскохозяйственных культур с высокой потенциальной продуктивностью, в том числе и кукурузы. По данным последнего тура агрохимических исследований установлено, что доля суглинистых почв, высокообеспеченных подвижным фосфором (более 400 мг/кг почвы) и калием (более 300 мг/кг почвы), составляет соответственно около 4,1 % (35,6 тыс. га) и 28,9 % (250,8 тыс. га) общей обследованной площади пахотных почв глинистого и суглинистого гранулометрического состава [1].

При возделывании сельскохозяйственных культур на почвах, высокообеспеченных фосфором и калием, в настоящее время агрохимической наукой республики рекомендуется частичная (50–60 %) компенсация выноса данных элементов [2]. В связи с неизбежным, постоянным ростом цен на минеральные удобрения и энерготехнические ресурсы возрастает необходимость еще более экономного использования, в первую очередь дорогостоящих фосфорных, а также калийных удобрений с учетом почвенных запасов и содержания данных элементов питания в органических удобрениях, применяемых в органоминеральных системах удобрения при возделывании сельскохозяйственных культур в севообороте.

Оптимизация минерального питания по этапам онтогенеза растений позволяет в большей степени реализовать генетический потенциал продуктивности возделываемых культур и снизить удельные затраты элементов питания на формирование урожайности. Кроме того, важнейшим условием повышения эффективности сельского хозяйства является усиление устойчивости возделываемых культур к погодноклиматическим изменениям, основанное на проведении адаптационных мер, направленных на предотвращение потерь урожая от негативных последствий.

Современные системы удобрения сельскохозяйственных культур, возделываемых в севооборотах на высокоокультуренных почвах, наряду со сбалансированным применением органических, минеральных удобрений и средств защиты растений, должны предусматривать более интенсивное использование микроудобрений, стимуляторов роста и т. п. Комплексное их использование в системе удобрения за счет стимуляции метаболизма и усвоения питательных веществ позволяет существенно повысить сбор продукции высокого качества [3].

Цель исследования – установление наиболее эффективных агробиотехнологических приемов возделывания кукурузы на зеленую массу на дерново-подзолистой высокоокультуренной суглинистой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2020–2021 гг. в стационарном технологическом опыте на дерново-подзолистой высокоокультуренной суглинистой почве в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области. До закладки опыта почва (Апах) опытного участка характеризовалась следующим усредненным уровнем агрохимических показателей: pH 6,35, содержание гумуса – 2,6 %, подвижные формы фосфатов – 677 мг/кг и калия – 337 мг/кг почвы. Почва характеризуется оптимальным для сельскохозяйственных культур уровнем кислотности, средним – гумуса, высоким – калия и очень высоким – фосфора.

Кукурузу Шавокс F1 (среднеранний гибрид) возделывали в двух последовательно открывающихся полях, на каждом поле – в двух блоках: в первом блоке кукурузу возделывали без применения органических удобрений, во втором блоке осенью был внесен солоmistый навоз в дозе 60 т/га. Обработка почвы включала вспашку и предпосевную культивацию на глубину 10–12 см.

Минеральные удобрения в виде карбамида, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия применяли в основное внесение, кроме того, карбамид – в подкормки в фазу 5–6 листьев культуры согласно схеме опыта. Микроэлементы бор (0,10 кг д. в./га) и цинк (0,15 кг д. в./га) вносили в виде микроудобрения Микро-Стим-Цинк, Бор (2,0 л/га) в некорневую подкормку в фазу 5–6 листьев культуры. В ту же стадию проведены подкормки стимуляторами роста растений Экогум АФ в дозе 1,0 л/га и Экосил в дозе 0,1 л/га. Кроме того, в фазу 8–10 листьев культуры согласно схеме опыта проведена подкормка стимулятором роста Экосил Плюс в дозе 0,1 л/га.

Экогум АФ – препарат стимулятор-адаптоген, устраняющий стрессовые состояния растений, активизирующий рост и развитие растений, содержит гуминовые и фульвокислоты, азот (4 %) и фосфор (9 %).

Экосил и *Экосил Плюс* – природные полифункциональные препараты, регуляторы роста и индукторы иммунитета растений с четко выраженным фунгицидным и инсектицидным (*Экосил Плюс*) эффектом. Действующим веществом препаратов являются тритерпеновые кислоты природного происхождения.

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

Агрохимический анализ почвенных образцов включал определение: pH_{KCl} – потенциометрическим методом в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26483-85); содержания гумуса – по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-84); подвижных форм P₂O₅ и K₂O в 0,2 М вытяжке HCl – по методу А. Г. Кирсанова с последующим определением фосфора фотоколориметрическим методом, калия – методом пламенной фотометрии (ГОСТ 26207-91).

С 60 т/га солоmistого навоза влажностью 76 % на 1 га пашни в среднем по 2-м полям внесено: 336 кг азота, 234 кг фосфора и 372 кг калия. Из подстилочного навоза первой культурой используется 20–25 % азота, 25–30 % фосфора и 50–60 % калия [4].

Расчет экономической эффективности внесения удобрений выполнен на прибавку урожая от применяемых агротехнологических приемов в ценах на 2021 г. [5]. Использованы нормативы затрат на удобрения, доработку прибавки урожая, стоимость к. ед. в долларовом эквиваленте. Затраты на органические удобрения под кукурузу, как первую культуру севооборота, взяты в размере 70 %.

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

На формирование урожая сельскохозяйственных культур, наряду с уровнем минерального питания, большое влияние оказывают водный и температурный режимы почвы и воздуха в течение роста и развития растений. В процессе вегетации посевы сельскохозяйственных культур часто страдают от неблагоприятных погодных условий – как избыток, так и недостаток влаги и тепла негативно сказывается на уровне получаемого урожая [6, 7]. Известно, что дерново-подзолистые суглинистые почвы обладают достаточно хорошей водоудерживающей способностью [8]. Считается, что для выращивания кукурузы на зеленую массу сумма активных температур должна составлять 1800–2400 °C [9].

Погодные условия вегетационного периода 2020 г. с несколько пониженной тепло- и хорошей влагообеспеченностью оказались достаточно благоприятными для формирования высокого урожая зеленой массы кукурузы. Обильные осадки в июле, превышающие норму в 2 раза, на фоне благоприятного температурного режима обусловили интенсивное нарастание биомассы. Сумма активных температур (выше 10 °C) за вегетацию кукурузы составила 1863 °C.

Гидротермические условия 2021 г. значительно отклонялись от нормы практически на протяжении всего вегетационного периода культуры. Выпадение обильных осадков в мае (112,7 мм) на фоне несколько пониженных температур угнетали развитие растений, поскольку требовательность кукурузы к влаге в начале вегетации невысокая (около 30 мм осадков/месяц). Во второй половине периода вегетации (июль, август) количество осадков составило 54–110 %, кукуруза не испытывала дефицита во влаге. Сумма активных температур за вегетацию кукурузы составила 2147 °C.

В целом по опыту продуктивность зеленой массы кукурузы, сформированная в менее благоприятный 2021 г., была ниже на 13 % по отношению к уровню урожая, полученного в 2020 г. В среднем за 2 года исследований за счет эффективного плодородия высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почвы урожайность кукурузы составила 644 ц/га зеленой массы. Комплексное применение полного минерального удобрения $N_{90}P_{20}K_{60}$ и однократной азотной подкормки (N_{90}) в сочетании с микроудобрением в фазу 5–6 листьев кукурузы обеспечило прирост урожайности 102 ц/га (149 ц к. ед./га), или на 16 %. Каждый килограмм минеральных удобрений окупался 44 ц/га зеленой массы (табл. 1, рис.). При дополнительном введении в подкормку в эту фазу стимуляторов роста растений Экосил и Экогум АФ прирост урожая был несущественным (4 %) (табл. 1).

При применении двукратных комплексных подкормок посевов культуры в фазы 5–6 и 8–10 листьев азотом, стимуляторами роста и микроудобрениями на фоне полного минерального удобрения получено 787 ц/га зеленой массы кукурузы, или 22 % дополнительно к фону при окупаемости 1 кг NPK 62 кг урожая (табл. 1).

Таблица 1

Эффективность комплексного использования агробиотехнологических приемов при возделывании кукурузы на дерново-подзолистой суглинистой почве (2020–2021 гг.)

Вариант	Урожайность зеленой массы кукурузы, ц/га (75 % влажность)			Прибавка к фону, ц/га	Оплата 1 кг NPK з. м., ц	Сырой белок, %	Выход, ц/га	
	2020 г.	2021 г.	Ø				сырого белка	к. ед.
Без удобрений – Фон 1	699	588	644	–	–	9,9	15,9	129
$N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{60} + м/у)'$	886	605	746	102	44	9,0	16,8	149
$N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{60}^{*})'$	913	631	772	117	51	9,2	17,8	154
$N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30}^{*})' + (N_{30}^{**})''$	887	686	787	143	62	9,2	18,1	157
$N_{90} + (N_{30}^{*})' + (N_{30}^{**})''$	822	759	791	147	98	9,2	18,2	158
Соломистый навоз – Фон 2	786	736	761	–	–	8,7	16,6	152
$N_{60} + (N_{60} + м/у)'$	924	902	913	152	127	9,0	20,5	183
$N_{60} + (N_{60}^{*})'$	996	914	955	194	162	9,0	21,5	191
$N_{60} + (N_{30}^{*})' + (N_{30}^{**})''$	960	970	965	204	170	9,4	22,7	193
$N_{60}P_{20}K_{60} + (N_{30}^{*})' + (N_{30}^{**})''$	1007	958	983	222	111	10,1	24,8	197
HCP ₀₅ (удобрения)	120	110	97	–	–	0,6	–	19
HCP ₀₅ (фон)	85	86	62	–	–	–	–	11

' – подкормка в фазу 5–6 листа;

'' – подкормка в фазу 8–10 листа;

* – комплекс ($B_{0,10}Zn_{0,15}$ + Экогум АФ + Экосил);

** – Экосил Плюс.

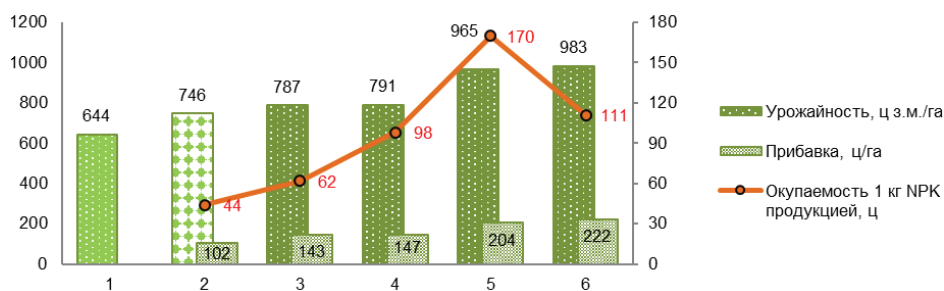


Рис. Агрономическая эффективность систем удобрения кукурузы на зеленую массу

Вариант системы удобрения:

1 – контроль (без NPK);

2 – $N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{60}B_{0,10}Zn_{0,15})'$;

3 – $N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + \text{Экогум АФ} + \text{Экосил})' + (N_{30} + \text{Экосил Плюс})''$;

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

5 – Подстилочный навоз + $N_{90} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + \text{Экогум АФ} + \text{Экосил})' + (N_{30} + \text{Экосил Плюс})''$;

6 – Подстилочный навоз + $N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + \text{Экогум АФ} + \text{Экосил})' + (N_{30} + \text{Экосил Плюс})''$.

Литературные источники свидетельствуют, что при высокой обеспеченности почвы фосфором и калием сельскохозяйственные культуры положительно реагируют лишь на азот удобрений, при почти полном отсутствии прибавок от фосфорных и калийных удобрений. При этом более эффективными считаются повышенные дозы азота (100 и более кг д. в./га), обеспечивающие существенную мобилизацию почвенных запасов фосфора и калия. В наших исследованиях при исключении из системы удобрения фосфорных и калийных удобрений сбор зеленой массы в среднем за 2 года составил 791 ц/га (158 ц к. ед./га), что на уровне показателя варианта с полной системой удобрения. Каждый килограмм азотных удобрений при этом окупался 98 кг зеленой массы кукурузы.

Применение минеральной системы удобрения при возделывании кукурузы на дерново-подзолистых высококультурных суглинистых почвах без использования органических удобрений возможно в хозяйствах с невысоким поголовьем скота, испытывающих дефицит органических удобрений. При этом следует учитывать, что такая система удобрения даже на высококультурных почвах может привести к деградации почвенного плодородия. Поэтому применять ее при возделывании кукурузы допустимо не более чем в одной ротации севооборота.

Органоминеральная система удобрения является наиболее оптимальной при возделывании кукурузы. Установлено существенное преимущество такой системы удобрения перед минеральной: урожайность зеленой массы кукурузы на органическом фоне составила в среднем 916 ц/га, что на 22 % выше, полученной на минеральном фоне (748 ц/га). Следует также отметить, что варьирование продуктивности по годам на фоне органических удобрений в удобряемых вариантах составило всего 2 %, тогда как на фоне без навоза – 13 %.

Результаты проведенных исследований показали, что эффективность различных систем удобрения в большей мере проявилась на фоне внесения 60 т/га соломенного навоза. Применение моноазотной системы удобрения (N_{60+60}) в сочетании с микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор, а также – дополнительным использованием стимуляторов роста Экогум АФ и Экосил в фазу 5–6 листьев культуры обеспечило получение 913–955 ц/га зеленой массы кукурузы, или дополнительно 20–26 % к фону. Каждый килограмм азотных удобрений окупался 127–162 кг урожая.

Наиболее эффективным в опыте оказалось комплексное применение азотных удобрений ($N_{60+30+30}$) в сочетании с микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор, стимуляторами роста Экогум АФ и Экосил – в первую подкормку в фазу 5–6 листьев и Экосил Плюс – во вторую подкормку в фазу 8–10 листьев кукурузы, что обеспечило получение 965 ц/га зеленой массы, при максимальной окупаемости 1 кг азота – на уровне 170 ц/га зеленой массы кукурузы (табл. 1, рис.).

Полная система удобрения $N_{60+30+30}P_{20}K_{60}$ на органическом фоне с аналогичными двукратными подкормками посевов кукурузы по эффективности практически была равнозначна моноазотной – сбор зеленой массы достиг максимальных 983 ц/га. При этом окупаемость 1 кг минеральных удобрений оказалась более низкая и составила 111 ц/га зеленой массы.

Важное значение при использовании удобрений имеет не только получение высокой урожайности, но и продукции высокого качества. Содержание белка в зеленой массе кукурузы зависело от содержания азота в растительной массе и уровня урожайности сухого вещества. В среднем за 2 года исследований содержание сырого белка по опыту варьировало в пределах 8,7–10,1 %.

На минеральном фоне данный показатель изменялся в пределах 9,0–9,9 % с максимальным значением в неудобренном варианте. При применении удобрений содержание сырого белка достоверно снижалось, но его выход, с учетом более высокой продуктивности, повышался на 0,9–2,3 ц/га. В лучших по продуктивности вариантах с применением $N_{90+30+30}/N_{90+30+30} P_{20}K_{60}$ и комплексом двукратных некорневых подкормок при урожайности зеленой массы 787–791 ц/га выход белка составил 18,1–18,2 ц/га, к. ед. – 157–158 т к. ед./га.

На фоне внесения навоза наблюдалась обратная тенденция. Минимальное значение содержания сырого белка (8,7 ц/га) отмечено в фоновом варианте, при внесении удобрений показатели повышались. При этом достоверное увеличение содержания сырого протеина установлено в вариантах с применением двукратных подкормок посевов как на фоне моноазотной (0,9 %), так и полной системах удобрения (+1,1 %). При урожайности 965 и 983 ц/га зеленой массы кукурузы в этих вариантах выход белка составил 22,7 и 24,8 ц/га, кормовых единиц – 193 и 197 ц/га.

При разработке агротехники возделывания кукурузы на зеленую массу важное значение имеет оценка экономической целесообразности проведения тех или иных мероприятий. Расчеты показали, что возделывание кукурузы на зеленую массу на почве с высоким содержанием подвижных соединений фосфора и калия является эффективным агроприемом (табл. 2).

Таблица 2

Экономическая эффективность применения удобрений под кукурузу на зеленую массу на дерново-подзолистой суглинистой почве

Вариант	Сбор к. ед. т/га	Прибавка, т к. ед./га	Стоимость доп. продукции	Общие затраты	Условная прибыль	Рентабельность, %	Себестоимость продукции, долл./т к. ед.
			долл./га				
Без удобрений – Фон 1	12,9	—					
$N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{60} + m/y)'$	14,9	2,0	160	139	21	16	25
$N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{60}^*)'$	15,4	2,5	200	155	45	29	26
$N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30}^*)' + (N_{30}^{**})''$	15,7	2,8	224	164	60	37	26
$N_{90} + (N_{30}^*)' + (N_{30}^{**})''$	15,8	2,9	232	149	83	56	26
Соломистый навоз – Фон 2	15,2	2,3	184	152	32	21	21
$N_{60} + (N_{60} + m/y)'$	18,3	5,4	432	279	153	55	30
$N_{60} + (N_{60}^*)'$	19,1	6,2	496	302	194	64	29
$N_{60} + (N_{30}^*)' + (N_{30}^{**})''$	19,3	6,4	512	309	203	66	28
$N_{60}P_{20}K_{60} + (N_{30}^*)' + (N_{30}^{**})''$	19,7	6,8	544	334	210	63	29

При применении полной минеральной системы удобрения в комплексе с внесением азота (N_{60}) и некорневой подкормкой посевов микроудобрением

дополнительный сбор к. ед. составил 2,0 т/га с получением прибыли на уровне 21 долл./га при 16 % рентабельности.

Применение $N_{150}P_{20}K_{60}$ с дополнительным введением в систему удобрения одно- и двукратных некорневых подкормок посевов Экогумом АФ и Экосилом позволило получить с 1 га 2,5–2,8 т. к. ед., 45–60 долл./га условной прибыли при рентабельности 29–37 %.

Исключение из системы удобрения фосфорных и калийных удобрений за счет высокого уровня дополнительного сбора к. ед. (2,9 т/га) и снижения затрат на фосфорные и калийные удобрения способствовало получению наиболее высоких по минеральному фону условной прибыли (83 долл./га) и рентабельности (56 %). Себестоимость 1 т к. ед. составила 26 долл. (табл. 2).

Применение минеральных удобрений и некорневых подкормок на фоне соломистого навоза оказалось наиболее эффективным агроприемом при возделывании кукурузы на зеленую массу. За счет высокого уровня плодородия почвы и питательных веществ, поступивших с навозом КРС, дополнительный сбор к. ед. составил 2,3 ц/га, что практически на уровне показателя, полученного при минеральной системе удобрения ($N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{60}^*)'$). Условная прибыль при этом составила 32 долл./га, рентабельность – 21 % при 30 долл. себестоимости полученной продукции.

Возделывание кукурузы при моноазотной системе удобрения на фоне навоза в сочетании с однократными азотными подкормками в комплексе с некорневыми однократными подкормками микроудобрениями отдельно и в сочетании с дополнительными применением стимуляторов роста обеспечило получение прибавки урожая на уровне 5,4–6,2 т к. ед./га, 153–194 долл./га условной прибыли при рентабельности 55–64 %. Себестоимость 1 т полученной продукции составила 29–30 долл.

Моноазотная система удобрения на фоне навоза в сочетании с двукратными азотными подкормками в комплексе с некорневыми подкормками и стимуляторами роста обеспечило дополнительное получение 6,4 т к. ед./га, 203 долл./га условной прибыли при рентабельности 66 % и 28 долл. себестоимости 1 т продукции.

Дополнительное внесение фосфорных и калийных удобрений в дозах $P_{20}K_{60}$ не оказало существенного влияния на повышение продуктивности культуры. Прибавка по отношению к моноазотной системе удобрения составила 0,4 т. к. ед./га. При такой системе удобрения условная прибыль составила 210 долл./га при 63 % рентабельности и себестоимости 1 т к. ед. 29 долл.

Для выявления наиболее эффективных систем удобрения кукурузы выполнен химический анализ растительных образцов, рассчитаны хозяйственный и удельный выносы элементов питания с урожаем и коэффициенты их возмещения (табл. 3). Установлено, что различные системы удобрения оказывают значительное влияние на потребление элементов минерального питания растениями кукурузы и их вынос с урожаем зеленой массы. Зеленая масса кукурузы накапливала больше азота и калия, меньше – фосфора. В варианте без удобрений в среднем за 2 года исследований общий вынос азота составил 259 кг/га, фосфора – 123, калия – 259 кг/га. Дополнительное внесение минеральных удобрений увеличило вынос азота на 15 % (283–299 кг/га), фосфора – на 20 % (130–161 кг/га), калия – на 47 % (297–309 кг/га).

Применение соломистого навоза способствовало увеличению хозяйственного выноса по азоту и фосфору на 5 %, калию – на 14 % по отношению к контролю.

Дополнительное внесение минеральных удобрений на этом фоне увеличило вынос азота на 39 % (329–399 кг/га), фосфора – на 35 % (161–183 кг/га), калия – на 26 % (347–405 кг/га). В варианте с максимальной урожайностью зеленой массы кукурузы среднегодовой хозяйственный вынос азота составил 399 кг/га, фосфора – 183, калия – 387 кг/га.

Таблица 3

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

Вариант	Урожайность, ц/га	Вынос с урожаем, кг/га			Удельный вынос, кг/т			Коэффициент возмещения		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без удобрений – Фон 1	644	256	123	259	4,0	1,9	4,0	–	–	–
N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₆₀ + м/у)'	746	283	147	297	3,8	2,0	4,0	0,5	0,1	0,2
N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₆₀ *)'	772	299	130	309	3,9	1,7	4,0	0,5	0,2	0,2
N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ *)' + (N ₃₀ **)''	787	299	154	306	3,8	2,0	3,9	0,5	0,1	0,2
N ₉₀ + (N ₃₀ *)' + (N ₃₀ **)''	791	295	161	303	3,7	2,0	3,8	0,5	–	–
Соломистый навоз (CH) – Фон 2	761	269	129	296	3,5	1,7	3,9	–	–	–
N ₆₀ + (N ₆₀ + м/у)'	913	329	161	354	3,6	1,8	3,9	0,4	–	–
N ₆₀ + (N ₆₀ *)'	955	344	182	405	3,6	1,9	4,2	0,4	–	–
N ₆₀ + (N ₃₀ *)' + (N ₃₀ **)''	965	365	170	347	3,8	1,8	3,6	0,3	–	–
N ₆₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ *)' + (N ₃₀ **)''	983	399	183	387	4,1	1,9	3,9	0,3	0,1	0,2

В рекомендациях производству для расчета доз удобрений используют данные усредненных нормативов удельного выноса элементов питания с основной и побочной продукцией (кг/т). Так, согласно [4] данные показатели для азота составляют 3,3 кг/т, фосфора – 1,2 кг/т, калия – 4,2 кг/т. Ранее нами были предложены уточненные нормативы удельного выноса элементов питания, основанные на ранжировании показателей в зависимости от уровня планируемой урожайности [10], в соответствии с которыми на планируемую урожайность 700–800 ц/га зеленой массы кукурузы вынос по азоту составляет 3,9 кг/т, фосфору – 2,3, калию – 5,1 кг/т. В настоящих исследованиях удельный вынос элементов питания при таком же уровне урожайности (746–791 ц/га) изменялся в пределах: азота – 3,7–3,8, фосфора – 1,7–2,0, калия – 3,8–4,0 кг/т (табл. 3). При системе удобрения, обеспечивающей получение урожайности зеленой массы кукурузы более 900 ц/га, удельный вынос азота составил в среднем 3,7 кг/т, фосфора – 1,8, калия – 3,9 кг/т.

Для расчета доз внесения удобрений на планируемую урожайность применяют метод коэффициентов возмещения выноса. Величина коэффициентов возмещения зависит от типа и гранулометрического состава почв, запасов в них элементов минерального питания, доз применяемых удобрений, биологических особенностей культур и сложившихся погодных условий. На почвах с очень высоким содержанием фосфора и калия при расчете доз минеральных удобрений компенсация выноса этих элементов с планируемой урожайностью сельскохозяйственных культур должна составлять 30–50 % (коэффициент 0,3–0,5) [2]. В наших исследованиях

по опыту коэффициенты возмещения выноса фосфора и калия составили 0,1–0,2 и 0,2 соответственно, что может свидетельствовать о возможном неблагоприятно складывающемся балансе элементов питания на перспективу.

Любые изменения в системе земледелия, видах и дозах удобрения приводят к количественным и качественным изменениям свойств почвы. Для оценки влияния агробиотехнологических приемов в посевах кукурузы на изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой суглинистой почвы определено содержание в них подвижных соединений фосфора и калия. Перед закладкой опыта содержание подвижного фосфора в среднем по двум полям, в соответствии с градацией, характеризовалось как очень высокое, изменяясь в пределах 764–842 мг/кг почвы (табл. 4).

Таблица 4

Динамика содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой суглинистой почве при возделывании кукурузы на зеленую массу (среднее по двум полям)

Вариант	Осень, до вне- сения навоза	Весна, перед посевом	Осень, после уборки	±
Без удобрений – Фон 1	764	817	737	–27
$N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30} + м/у + PP + БАВ)' + (N_{30} + PP)''$	770	820	765	–5
$N_{90} + (N_{30} + м/у + PP + БАВ)' + (N_{30} + PP)''$	780	837	772	–8
Подстилочный навоз – Фон 2	827	902	879	52
$N_{60} + (N_{30} + м/у + PP + БАВ)' + (N_{30} + PP)''$	832	921	885	53
$N_{60}P_{20}K_{60} + (N_{30} + м/у + PP + БАВ)' + (N_{30} + PP)''$	842	932	866	24
НСР ₀₅ (удобрения)	–			–
НСР ₀₅ (фон)	–	48		

К весне данный показатель существенно повысился, что может быть связано с более высокой влажностью и низкой температурой почвы в этот период [8]. При этом на минеральном фоне повышение в среднем составило 54 мг/кг, на фоне навоза – 86 (НСР₀₅ – 36).

За вегетационный период кукурузы, в связи с процессом роста и развития растений происходило снижение содержания доступных соединений фосфора в почве. В результате, к уборке на минеральном фоне потери данной формы элемента были наибольшими и достоверными, составив 67 мг/кг почвы. Тогда как на фоне навоза потери были несущественными – 42 мг/кг.

Анализ данных динамики содержания подвижных фосфатов при возделывании кукурузы свидетельствует также о том, что применение полной минеральной системы удобрения с внесением 20 кг/га д. в. фосфора не имело достоверного отличия по влиянию на фосфатное состояние почвы по сравнению с моноазотной системой на обоих фонах.

Сравнение показателей содержания подвижных фосфатов перед закладкой опыта – осенью до внесения навоза, с показателями после уборки кукурузы свидетельствует о незначительной тенденции снижения количества подвижного фосфора на минеральном фоне (–13 мг/кг почвы). При этом внесение навоза способствовало повышению количества подвижных фосфатов соответственно на 43 мг/кг почвы.

Достоверных изменений в содержании подвижного калия за зимний период на фоне без удобрений не произошло при тенденции снижения на 25 мг/кг. На фоне внесения соломистого навоза при этом отмечалось достоверное повышение количества подвижного калия на 47 мг/кг ($HCP_{05} - 35$) (табл. 5).

Таблица 5

Динамика содержания подвижного калия в дерново-подзолистой суглинистой почве при возделывании кукурузы на зеленую массу (среднее по двум полям)

Вариант	Осень, до вне- сения навоза	Весна, перед посевом	Осень, после уборки	±
Без удобрений – Фон 1	318	297	258	–60
$N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30} + м/у + РР + БАВ)' + (N_{30} + РР)'$	334	302	247	–87
$N_{90} + (N_{30} + м/у + РР + БАВ)' + (N_{30} + РР)''$	316	294	271	–45
Подстилочный навоз – Фон 2	333	380	342	9
$N_{60} + (N_{30} + м/у + РР + БАВ)' + (N_{30} + РР)''$	346	386	342	–4
$N_{60}P_{20}K_{60} + (N_{30} + м/у + РР + БАВ)' + (N_{30} + РР)''$	337	391	346	9
HCP_{05} (удобрения)	–			
HCP_{05} (фон)	24	35	40	–

За период роста и развития растений кукурузы на фонах произошло снижение содержания подвижного калия в среднем на 32–44 мг/кг почвы.

Таким образом, при возделывании кукурузы значительные изменения в содержании подвижного калия отмечены на минеральном фоне, где снижение данного показателя составило в среднем 64 мг/кг почвы. На фоне внесения навоза изменений практически не произошло, при тенденции к повышению на 5 мг/кг.

Внесение минеральных калийных удобрений в дозе 60 кг/га д. в. в полной системе удобрения не имело преимущества перед вариантами с применением моноазотной системы удобрения на изучаемых фонах.

Таким образом, при рекомендуемых дозах минеральных удобрений под кукурузу значения коэффициентов возмещения выноса фосфора и калия как на минеральном, так и органическом фонах ниже оптимальных, что может свидетельствовать об истощении почвы на перспективу. При этом на органическом фоне отмечается даже тенденция повышения в почве подвижных соединений фосфатов и калия. Данное противоречие требует дальнейшего изучения вопроса.

ВЫВОДЫ

Исследования по установлению наиболее эффективных агробиотехнологических приемов возделывания кукурузы на зеленую массу на дерново-подзолистой высокооккультуренной суглинистой почве показали, что органоминеральная система удобрения является наиболее эффективной. Применение моноазотной системы удобрения $N_{90+30+30}$ в сочетании с некорневой подкормкой посевов микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор и комплекса двукратных некорневых подкормок стимуляторами роста растений Экогум АФ и Экосил, Экосил Плюс обеспечило

получение с 1 га 19,3 т к. ед., 22,7 ц белка, 203 долл. условной прибыли при рентабельности 66 %. При такой системе удобрения 1 кг азотных удобрений окупается 170 ц зеленой массы кукурузы, себестоимость прибавки 1 т к. ед. составляет 28 долл., поддерживается в почве достигнутый уровень содержания подвижных фосфатов и калия.

Применение минеральной системы удобрения при возделывании кукурузы на дерново-подзолистых высококультурных суглинистых почвах без использования органических удобрений возможно в хозяйствах с невысоким поголовьем скота, испытывающих дефицит органических удобрений. В условиях опыта применение $N_{90+30+30}P_{20}K_{60}$ в сочетании с некорневой подкормкой посевов микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор и комплекса двукратных некорневых подкормок стимуляторами роста растений Экогум АФ и Экосил, Экосил Плюс обеспечило получение с 1 га 15,7 т к. ед. 22,7 ц белка, 60 долл. условной прибыли при рентабельности 37 %. При такой системе удобрения 1 кг минеральных удобрений окупается 62 ц зеленой массы кукурузы при 26 долл. себестоимости прибавки 1 т к. ед. Следует учитывать, что такая система удобрения даже на высококультурных почвах может привести к деградации почвенного плодородия, в связи с чем применять ее при возделывании кукурузы допустимо не более чем в одной ротации севооборота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Комплекс мероприятий по повышению плодородия и защите от деградации почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь на 2021–2025 годы / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы, Н. Н. Цыбулько; Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 148 с.
3. Регламент применения удобрений под кукурузу на дерново-подзолистых высококультурных суглинистых и супесчаных почвах / Е.Г. Мезенцева [и др.]; Нац. Акад. Наук Беларуси, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК Беларуси, 2023. – 11 с.
4. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.
5. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И. М. Богдевич [и др.]; РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2010. – 24 с.
6. Растениеводство: учеб. пособие / под общ. ред. доктора с.-х. наук, профессора К. В. Коледы и канд. с.-х. наук А. А. Дудука. – Гродно, 2007. – 400 с.
7. Мезенцева Е. Г. К вопросу повышения устойчивости кукурузы к неблагоприятным условиям / Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш // Наше сельское хозяйство. – 2021. – № 7. – С. 77–87.
8. Туренков Н. И. Палево-подзолистые почвы Белоруссии / Н. И. Туренков. – М.:

Наука и техника, 1980. – 216 с.

9. Влияние погоды при выращивании кукурузы [Электронный ресурс] // Агроном с Полтавы. – Режим доступа: <https://www.agronom.co.ua/vliyanie-pogody-pri-vyrashhivani-kukuruzy/> – Дата доступа: 14.10.2020.

10. Нормативы возмещения выноса элементов питания для расчета доз минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии, 2017. – 39 с.

EFFICIENCY OF CORN FERTILIZER SYSTEMS ON SODDY-PODZOLIC LOAM SOIL

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

Summary

The most effective technique for growing corn for green mass was the use of $N_{90+30+30}$ in combination with foliar top dressing of crops with MicroStim-Zinc, Boron microfertilizer and a complex of double foliar top dressing with plant growth stimulants Ecogum AF and Ecosil, Ecosil Plus against the background of the introduction of 60 t/ha of cattle manure In the technological experiment on soddy-podzolic loamy soil. It was ensured the receipt of 19,3 tons of feed units, 22,7 centners of protein, \$ 203 of conditional profit from 1 hectare with a profitability 66 %. Every kilogram of nitrogen fertilizer pays off 170 centners of corn green mass, the cost of adding 1 ton of feed units is \$ 28, and the achieved level of content of mobile phosphate and potassium compounds in the soil is maintained with such a fertilizer system.

The possibility of cultivating corn under conditions of deficiency of organic fertilizers has been studied. The use of the mineral fertilizer system ($N_{90+30+30}P_{20}K_{60}$) in combination with microfertilizer and two-time foliar top dressing of crops with growth stimulants provides 15.7 t/ha of fodder units, 22,7 q/ha of protein, 60 \$/ha of conditional profit at profitability 37 % and payback of 1 kg of mineral fertilizers 62 centners of corn green mass. Such a fertilizer system leads to the degradation of soil fertility, and therefore it is permissible to use it in the cultivation of corn in no more than one crop rotation It is assumed.

Поступила 14.04.23

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОУДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ВЫСОКОКУЛЬТУРЕННОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

М. В. Рак, Е. Н. Пукалова, Н. С. Гузова, Л. Н. Гук, В. В. Корсакова

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

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время остаются актуальными разработка и совершенствование основ рационального, агрохимически эффективного и экологически безопасного применения различных видов и перспективных форм и доз микроудобрений, которые обеспечивают получение оптимальных в конкретных почвенно-климатических условиях величин урожая культур с улучшенными показателями качества. Применение микроэлементов в системе удобрения позволяет создать оптимальные условия для реализации генетического потенциала сельскохозяйственных культур. Главная роль микроудобрений состоит в том, что они повышают активность различных ферментов, ускоряющих биохимические процессы в растительном организме. Некоторые микроэлементы повышают устойчивость растений к засухе и болезням. Кроме непосредственного влияния на развитие растений, микроэлементы усиливают активность микробиологических процессов в почве, при этом отмечается улучшение использования из минеральных удобрений фосфора и калия. При научно обоснованном внесении микроудобрений с учетом содержания в почве микроэлементов и отзывчивости сельскохозяйственных культур прибавка урожая от многих из них достигает 10–15 %, улучшается качество растениеводческой продукции [1–7].

Повышение урожайности ячменя и улучшение его качественных показателей невозможно без рационального применения удобрений. Ячмень хорошо отзывается на внесение микроэлементов и важнейшими из них являются медь и марганец. Недостаточное содержание подвижных форм микроэлементов в почве зачастую является фактором, лимитирующим формирование урожая ярового ячменя. Особенно это актуально для высококультуренных почв, которые отличаются оптимальной кислотностью, высоким содержанием гумуса, фосфора и калия. Так, площади пахотных почв республики с повышенным и высоким содержанием гумуса составляют 62,5 %, фосфора – 52,3 %, калия – 44,8 %. При этом доля пахотных почв с низким содержанием подвижной меди составляет 53,6 %, а площади почв 1 и 2 групп обеспеченности, где необходимо применение медных удобрений составляют 90,3 %. Недостаток доступного марганца отмечается на пахотных почвах с pH более 6,0, площади которых составляют 38,2 % [8]. На таких почвах потребность растений в микроэлементах и роль сбалансированности минерального питания возрастает и для более эффективного использования микроэлементов важно оптимизировать дозы, сочетания и сроки некорневых подкормок микроудобрениями в технологии возделывания ярового ячменя.

Цель исследований – изучить эффективность микроудобрений в технологии возделывания ярового ячменя на дерново-подзолистой высококультуренной почве, обеспечивающих оптимизацию питания растений микроэлементами.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эффективность применения микроудобрений в технологии возделывания ячменя изучали в 2021–2022 гг. на дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве в ОАО «Гастелловское» Минского района. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы опытного участка: pH_{KCl} – 6,2, гумус – 2,2 %, P_2O_5 – 756, K_2O – 296, B – 0,5, Cu – 2,4, Zn – 2,8, Mn обм. – 2,0 мг/кг почвы. Сорт Батяка. Предшественник – озимый рапс. Норма высева – 4,0 млн всхожих семян на 1 га.

Полевой опыт с яровым ячменем включал варианты с применением в некорневую подкормку возрастающих доз и сочетаний меди и марганца на фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{80}P_{45}K_{60}$. Фосфорные и калийные удобрения под ячмень внесены под культивацию в форме карбамида, суперфосфата аммонизированного и хлористого калия.

Микроэлементы внесены в некорневую подкормку в виде жидких микроудобрений МикроСтим в стадии первого узла. Расход рабочего раствора 200 л/га. Уход за посевами ячменя включал ряд химических мероприятий. Для борьбы с сорной растительностью в посевах ячменя в фазу кущения проведена химическая прополка гербицидами Секатор турбо, МД (75 мл/га) + Примадонна, СЭ (0,8 л/га). В фазу колошения проведена фунгицидная обработка препаратом Фалькон, КЭ (0,5 л/га). Против вредителей на посевах ячменя в фазу колошения применяли системный инсектицид Биская, МД (0,25 л/га). Уборку ячменя проводили в фазу полной спелости комбайном Delta, учет урожая – поделяночно. Закладка и проведение опыта, а также все сопутствующие учеты и наблюдения в течение вегетации культуры проведены по методике полевого опыта. Анализ почвенных и растительных образцов проводили в соответствии с общепринятыми методиками. Экономическая эффективность применения микроудобрений рассчитывалась по методике, разработанной Институтом почвоведения и агрохимии [9].

Погодные условия вегетационного периода являются одним из важнейших факторов, под влиянием которого формируется урожай сельскохозяйственных культур. 2021 г. по уровню влагообеспеченности характеризовался как оптимальный (ГТК–1,5). Формирование урожайности ячменя проходило в условиях неравномерного распределения атмосферных осадков при экстремально высоких температурных показателях воздуха в июне и июле. В начале вегетационного периода 2021 г. отмечался дефицит осадков в апреле, при их избытке – в мае. Вегетационный период 2022 г. по уровню влагообеспеченности характеризовался как избыточно увлажненный (ГТК за апрель–август составил 2,1) и был достаточно благоприятным для возделывания зерновых культур.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что за счет плодородия дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почвы в среднем за два года урожайность зерна ярового ячменя составила 20,0 ц/га (табл. 1). Внесение минеральных

удобрений в дозе $N_{80}P_{45}K_{60}$ способствовало повышению урожайности зерна до 42,9 ц/га. Некорневые подкормки микроудобрениями МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец в возрастающих дозах повышали урожайность зерна на 3,3–6,9 ц/га, или на 7,7–16,0 % в сравнении с фоновым вариантом. Изучая действие меди и марганца на урожайность ячменя, было установлено, что наиболее эффективно совместное внесение меди и марганца в дозах $Cu_{0,025}Mn_{0,025}$. Прибавка урожайности зерна ячменя в этом варианте составила 6,9 ц/га в сравнении с фоном.

Таблица 1

Влияние микроудобрений на урожайность и содержание белка в зерне ярового ячменя (среднее за 2021–2022 гг.)

Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка к фону, ц/га	Сырой белок, %	Сбор сырого белка, ц/га
Вариант без удобрений	20,0	–	8,8	1,8
$N_{80}P_{45}K_{60}$ – фон	42,9	–	11,1	4,8
Фон + $Cu_{0,025}$	46,7	3,8	12,8	6,0
Фон + $Cu_{0,05}$	46,4	3,5	12,4	5,7
Фон + $Cu_{0,075}$	46,2	3,3	13,1	6,1
Фон + $Mn_{0,025}$	46,8	3,9	12,7	5,9
Фон + $Mn_{0,05}$	48,0	5,1	12,8	6,1
Фон + $Mn_{0,075}$	47,1	4,2	12,2	5,7
Фон + $Cu_{0,025}Mn_{0,025}$	49,8	6,9	12,8	6,4
Фон + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	47,0	4,1	12,7	6,0
Фон + $Cu_{0,075}Mn_{0,075}$	47,7	4,8	13,1	6,2
HSP_{05}	2,1		0,57	0,43

При раздельном внесении изучаемых микроэлементов более значимое действие на урожайность зерна ярового ячменя оказывал марганец. Прибавка от некорневой подкормки марганцем в дозе 0,05 кг/га составила 5,1 ц/га, медью в дозе 0,025 кг/га – 3,8 ц/га (рис.).

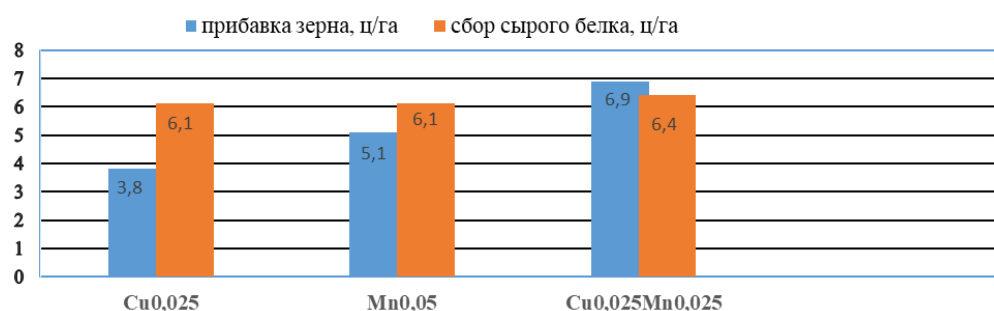


Рис. Прибавка урожайности зерна и сбор сырого белка при внесении микроэлементов в некорневую подкормку ярового ячменя

Внесение микроудобрений МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец на фоне минеральных удобрений способствует формированию зерна ячменя с более высоким содержанием белка. Некорневые подкормки ячменя медью и марганцем увеличивали содержание сырого белка в зерне в среднем за два года на 0,9–1,8 % в сравнении с фоновым вариантом. При применении микроудобрений увеличивалась урожайность зерна и, как следствие, значительно повышался сбор белка с гектара. В варианте с внесением минеральных удобрений сбор сырого белка в зерне составил 4,8 ц/га, при этом в вариантах с некорневыми подкормками ярового ячменя микроудобрениями МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец – 5,7–6,4 ц/га. Наиболее высокий сбор белка (6,4 ц/га) отмечался в варианте с применением меди и марганцем совместно в дозе $\text{Cu}_{0,025}\text{Mn}_{0,25}$. При раздельном внесении изучаемых микроэлементов более высокий показатель сбора белка (6,1 ц/га) получен при внесении меди в дозе $\text{Cu}_{0,025}$ и марганца в дозе $\text{Mn}_{0,05}$.

При оценке эффективности применения удобрений при возделывании ярового ячменя большое значение имеет химический состав основной и побочной продукции, поскольку внесенные удобрения оказывают значительное влияние на поступление элементов питания в растения, чем определяют, как уровень урожайности, так и качество получаемой продукции. Экспериментальные данные по содержанию микроэлементов показывают, что они в большей степени концентрируются в зерне, чем в соломе. Накопление микроэлементов в зерне располагается в следующем убывающем порядке: $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$, в соломе: $\text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$ (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние микроудобрений на накопление микроэлементов
в зерне и соломе ярового ячменя (среднее за 2021–2022 гг.)**

Варианты	Зерно			Солома		
	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn
Вариант без удобрений	1,8	6,0	11,8	1,3	5,0	3,3
$\text{N}_{80}\text{P}_{45}\text{K}_{60}$ – фон	2,0	6,3	13,5	1,5	5,7	3,6
Фон + $\text{Cu}_{0,025}$	2,2	6,7	15,3	2,1	7,0	3,8
Фон + $\text{Cu}_{0,05}$	2,3	6,6	15,3	1,9	7,1	3,9
Фон + $\text{Cu}_{0,075}$	2,1	6,9	15,4	2,0	5,6	3,6
Фон + $\text{Mn}_{0,025}$	2,0	7,1	14,3	1,8	7,0	4,1
Фон + $\text{Mn}_{0,05}$	2,0	7,2	15,0	1,6	5,4	3,0
Фон + $\text{Mn}_{0,075}$	2,1	7,0	14,8	1,6	5,6	3,7
Фон + $\text{Cu}_{0,025}\text{Mn}_{0,025}$	2,4	7,2	14,2	2,0	7,3	5,3
Фон + $\text{Cu}_{0,05}\text{Mn}_{0,05}$	2,2	7,1	14,1	1,8	7,2	5,4
Фон + $\text{Cu}_{0,075}\text{Mn}_{0,075}$	2,1	7,0	13,4	1,8	6,1	5,2

Некорневые подкормки растений ячменя медью и марганцем повышали содержание микроэлементов в продукции в сравнении с фоновым вариантом. Так, под влиянием некорневых подкормок ячменя марганцем его содержание в зерне и соломе увеличивалось в сравнении с фоновым вариантом на 14,3 % (с 6,3 до 7,2 мг/кг сухой массы) и 28,1 % (с 5,7 до 7,3 мг/кг сухой массы) соответственно. В тоже время при внесении меди и марганца в некорневую подкормку ячменя по

вариантам опыта отмечается увеличение цинка в зерне с 13,5 до 15,4 мг/кг (на 14 %) и соломе с 3,6 до 5,4 мг/кг сухой массы (на 50 %).

Применение микроудобрений МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец при возделывании ярового ячменя обеспечило более высокие показатели выноса микроэлементов с урожаем (табл. 3).

Таблица 3

Вынос микроэлементов с урожаем ярового ячменя (среднее за 2021–2022 гг.)

Варианты	Общий вынос, г/га			Удельный вынос, г/т		
	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn
Вариант без удобрений	9,5	34,8	36,5	4,8	17,4	18,2
N ₈₀ P ₄₅ K ₆₀ – фон	15,4	54,1	68,6	3,6	12,6	16,0
Фон + Cu _{0,025}	20,0	64,3	81,7	4,3	13,8	17,5
Фон + Cu _{0,05}	20,0	66,8	83,3	4,3	14,4	17,9
Фон + Cu _{0,075}	19,0	57,3	80,4	4,1	12,4	17,4
Фон + Mn _{0,025}	17,6	65,8	79,4	3,8	14,1	17,0
Фон + Mn _{0,05}	17,4	60,5	79,0	3,6	12,6	16,5
Фон + Mn _{0,075}	18,5	63,3	83,0	3,9	13,4	17,6
Фон + Cu _{0,025} Mn _{0,025}	21,1	70,3	89,4	4,2	14,1	18,0
Фон + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	19,3	70,2	88,1	4,1	14,9	18,7
Фон + Cu _{0,075} Mn _{0,075}	18,9	63,5	84,6	4,0	13,3	17,7

Наименьшие значения общего выноса отмечались в варианте без внесения – 15,4 г/га, при внесении меди в некорневую подкормку вынос увеличивался до 18,9–21,1 г/га. Вынос марганца продукцией ячменя в среднем по вариантам опыта в 3,4 раза больше, чем меди. В варианте без внесения удобрений вынос марганца составил 34,8 г/га, при внесении минеральных удобрений – увеличился до 54,1 г/га. Применение марганца в некорневую подкормку повышало общий вынос элемента до 63,3–70,3 г/га. Общий вынос микроэлементов урожаем ячменя был больше в варианте, где совместно применяли медь и марганец в дозе Cu_{0,025}Mn_{0,25}. Общий вынос цинка на контроле составил 36,5 г/га, на фоне – 68,6 г/га, при внесении меди и марганца – повышался до 79,0–89,4 г/га.

На основании экспериментальных данных был рассчитан удельный вынос микроэлементов на 1 т основной продукции, который является одной из характеристик, отражающих затраты элементов минерального питания на формирование единицы основной и соответствующего количества побочной продукции. Установлено, что с 1 т основной и соответствующего количества побочной продукцией ярового ячменя выносятся 3,6–4,8 г меди, 12,4–17,4 г марганца, 16,0–18,2 г цинка. В вариантах с некорневой подкормкой ярового ячменя микроудобрениями МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец удельный вынос меди возрастал на 0,7 г/т, марганца – на 2,3 г/т соответственно.

Показатели экономической эффективности применения в некорневую подкормку микроудобрений МикроСтим при возделывании ячменя варьировали в зависимости от дозы и вида вносимого микроудобрения (табл. 4). Так, при возделывании ярового ячменя в полевом опыте чистый доход от некорневой

подкормки удобрениями МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец составил 16,0–43,2 USD/га, рентабельность – 63,6–141,3 %. Уровень рентабельности снижался по мере увеличения дозы внесения удобрений. Максимальный в опыте уровень рентабельности (141,3 %) обеспечен за счет совместного применения микроудобрений МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец в дозе $\text{Cu}_{0,025}\text{Mn}_{0,025}$.

Таким образом, наиболее эффективным приемом в системе применения микроудобрений на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве является комплексное внесение меди и марганца в дозах $\text{Cu}_{0,025}\text{Mn}_{0,025}$, обеспечивающих прибавку урожайности зерна 6,9 ц/га, сбор сырого белка – 6,4 ц/га, чистый доход – 43,2 USD/га при рентабельности 141 %.

Таблица 4

Агроэкономическая эффективность применения в некорневую подкормку микроудобрений МикроСтим при возделывании ячменя на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве (среднее за 2021–2022 гг.)

Варианты	Прибавка урожая семян, ц/га	Стоимость прибавки	Общие затраты*	Условно чистый доход	Рентабель- ность, %
		USD/га			
Вариант без удобрений	—	—	—	—	—
N ₈₀ P ₄₅ K ₆₀ – фон	—	—	—	—	—
Фон + Cu _{0,025}	3,8	40,7	18,0	22,7	126
Фон + Cu _{0,05}	3,5	37,5	17,8	19,7	110
Фон + Cu _{0,075}	3,3	35,3	19,3	16,0	83
Фон + Mn _{0,025}	3,9	41,7	19,3	22,4	116
Фон + Mn _{0,05}	5,1	54,6	25,6	29,0	113
Фон + Mn _{0,075}	4,2	44,9	25,1	19,8	79
Фон + Cu _{0,025} Mn _{0,025}	6,9	73,8	30,6	43,2	141
Фон + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	4,1	43,9	24,5	19,4	79
Фон + Cu _{0,075} Mn _{0,075}	4,8	51,4	31,4	20,0	64

* Общие затраты: стоимость микроудобрений; затраты на внесение микроудобрений; затраты на уборку, доработку и реализацию прибавки урожая, полученного за счет применения микроудобрений.

ВЫВОДЫ

На дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве применение микроудобрений МикроСтим-Медь и МикроСтим-Марганец в некорневую подкормку ярового ячменя в стадии первого узла в дозах $\text{Cu}_{0,025}\text{Mn}_{0,025}$ на фоне внесения минеральных удобрений $\text{N}_{80}\text{P}_{45}\text{K}_{60}$, обеспечивает повышение урожайности на 6,9 ц/га, содержания белка в зерне – на 1,7 %, получение прибыли – 43,2 USD/га.

Микроэлементы по степени снижения их выноса урожаем ярового ячменя образуют следующий ряд: $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$. Удельный вынос меди яровым ячменем составляет 4,2 г/т, марганца – 14,0 г/т, цинка – 18,0 г/т зерна с соответствующим количеством соломы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интенсификация продукционного процесса растений. Приемы управления / В. Г. Сычев [и др.]. – М.: ВНИИА, 2009. – 520 с.
2. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.
3. *Рак, М. В.* Параметры потребления микроэлементов зерновыми культурами из дерново-подзолистой супесчаной почвы и микроудобрений / М. В. Рак, Г. М. Сафроновская // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 1(36). – С. 181–189.
4. *Вяскутонис В. В.* Влияние микроэлементов на улучшение семенных качеств ячменя / В. В. Вяскутонис, Э. Ю. Яскутонен: тез. докл. научно-практич. конференции «Использование микроудобрений в условиях интенсивного земледелия Западного региона». – Рига, 1988. – С. 32–35.
5. Применение некорневых подкормок марганцем при возделывании сельскохозяйственных культур: рекомендации / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск, 2001. – С. 16.
6. *Барбасов, Н. В.* Влияние новых форм минеральных удобрений и регуляторов роста на продукционные процессы, урожайность и качество сортов ячменя кормового назначения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве: автореф. дис... канд. с.-х. наук / Н. В. Барбасов. – Минск, 2021. – 22 с.
7. *Шакиров, Р. И.* Действие биопрепаратов и микроудобрений на коэффициенты использования микроудобрений и урожайность ярового ячменя / Р. И. Шакиров, М. Ю. Гилядов // Агрохимический вестник. – 2010. – № 4. – С. 26–27.
8. 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.
9. Методика определения агрономической и экономической эффективности удобрений и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

THE EFFECTIVENESS OF MICRO FERTILIZERS IN THE CULTIVATION OF SPRING BARLEY ON SOD-PODZOLIC HIGHLY CULTIVATED LIGHT-LOAMY SOIL

M. V. Rak, E. N. Pikalova, N. S. Guzova, L. N. Guk, V. V. Korsakova

Summary

The article presents the results of studies on the effectiveness of the use of micro-fertilizers of Microsim in the cultivation of spring barley on sod-podzolic highly cultivated light loamy soil. It was found that the most effective is the combined use of copper and manganese in the foliar fertilizing of spring barley in doses of $\text{Cu}_{0,025}\text{Mn}_{0,025}$, which provides an increase in yield by 6,9 c/ha, protein content in grain – by 1,7 %, profit – 43,2 USD/ha.

Поступила 21.04.23

ВЛИЯНИЕ ЦИНКОВОГО УДОБРЕНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЛЮЦЕРНЫ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ЦИНКОМ

М. В. Рак, Е. Н. Пукалова, Н. С. Гузова, Л. Н. Гук, В. В. Корсакова

Институт почвоведения и агрохимии,

г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

В решении проблемы дефицита растительного белка и повышения эффективности кормопроизводства многолетние бобовые травы играют существенную роль. Люцерна – основная бобовая кормовая культура с высокой кормовой ценностью и продуктивностью в земледелии Беларуси.

Цинк является одним из важных биогенных микроэлементов. Этот элемент играет большую роль в окислительно-восстановительных процессах, принимает участие в синтезе хлорофилла и витаминов, положительно влияет на белковый и углеводный обмен в растениях. Несбалансированность микроэлементного состава кормов приводит к нарушению минерального обмена, что в свою очередь является причиной возникновения многих заболеваний животных. При недостатке микроэлементов в кормах снижается продуктивность животных. При недостаточном поступлении в организм животных цинка развивается эндемическое заболевание паракератоз [1–4].

Исходя из ростостимулирующих свойств цинка, а также его положительного влияния на урожайность и качество растениеводческой продукции, важным является применение цинковых удобрений в технологии возделывания люцерны. Под влиянием удобрений повышается питательная ценность трав, улучшается их микроэлементный состав и увеличивается сбор кормовых единиц [1,5–8]. Закономерности распределения в почвах цинка и потребления его растениями люцерны в зависимости от уровней обеспеченности им почвы в республике практически не изучались. В связи с этим разработка теоретической базы для оптимизации питания растений цинком является актуальным направлением и будет способствовать повышению эффективности применения цинковых удобрений в технологии возделывания люцерны.

Цель исследований – изучить влияние цинкового удобрения на урожайность и показатели качества люцерны при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в 2021–2022 гг. в полевом опыте в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района на дерново-подзолистой

супесчаной почве, развивающейся на рыхлых водно-ледниковых супесях, смешиваемых с глубины около 0,5 м связной супесью. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH_{KCl} – 6,2, содержание гумуса – 2,48 %, P_2O_5 – 228 мг/кг, K_2O – 288 мг/кг.

Опыт с люцерной включает варианты с применением в некорневую подкормку возрастающих доз цинковых удобрений на 4-уровнях обеспеченности супесчаной почвы цинком: 1 – низкий уровень ($< 3,0$ мг/кг), 2 – средний уровень (3,1–5,0 мг/кг), 3 – высокий уровень (5,1–10,0 мг/кг), 4 – избыточный уровень ($> 12,0$ мг/кг). Исследования с люцерной проводили на фоне минеральных удобрений в дозе $P_{90}K_{180}$.

Схема опыта:

1. Контроль без удобрений;
2. $P_{90}K_{180}$ – фон;
3. Фон + Zn_{50} ;
4. Фон + Zn_{100} ;
5. Фон + Zn_{150} .

Фосфорные удобрения применялись в форме суперфосфата аммонизированного в основное внесение и в подкормку однократно за вегетацию после первого и второго года пользования травостоем. Калийные удобрения вносились перед посевом люцерны и дробно после каждого укоса в дозе 60 кг/га д. в. Уровни насыщения пахотного слоя цинком созданы внесением сернокислого цинка в виде водного раствора с учетом исходного содержания данного элемента в почве на каждом уровне и нормативов затрат для смещения содержания подвижного цинка на данной почве. В качестве микроудобрения для некорневой подкормки применялось жидкое удобрение МикроСтим-Цинк (содержание цинка 70 г/л) при высоте растений 8–10 см под каждый укос. Расход рабочего раствора 200 л/га. Предшественник – ячмень. Сорт люцерны – Пауэр. Общая площадь делянок – 36 м², повторность в опыте 4-кратная.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментальные данные по содержанию цинка по горизонтам в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы этим элементом показали, что при повышении содержания валового цинка от низкого до избыточного уровня закономерно увеличивается и доля подвижных соединений цинка (табл. 1). В начале вегетации валовое содержание цинка колебалось от 20,9 до 34,2 мг/кг. На долю подвижных соединений цинка приходилось соответственно 11,0 и 29,2 % от их общего содержания, что составляло 2,3–10,0 мг/кг почвы.

Анализ содержания подвижной формы цинка по горизонтам дерново-подзолистой супесчаной почвы указывает на то, что эти соединения цинка достаточно мобильны. Наибольшая концентрация подвижной формы цинка характерна для аккумулятивного горизонта почвы, что составляет: 34,3 % (I уровень), 42,2 % (II уровень), 62,6 % (III уровень), 66,6 % (IV уровень) к его запасам в метровом слое.

Экспериментальные данные по урожайности люцерны показали зависимость данного показателя от уровня обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижным цинком. Урожайность люцерны повышалась по мере увеличения содержания подвижного цинка в супесчаной почве до высокого уровня (табл. 2). Так, в среднем за два года на фоне внесения минеральных удобрений

в дозе $P_{90}K_{180}$ при низкой обеспеченности супесчаной почвы урожайность люцерны составляет 62,5 ц/га, средней – 76,2 ц/га, высокой – 72,8 ц/га, избыточной – 71,1 ц/га сухой массы.

Таблица 1

Содержание валового и подвижного цинка в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы этим элементом

Горизонт	Содержание цинка, мг/кг почвы			
	I уровень (низкий, 2,3 мг/кг)	II уровень (средний, 3,5 мг/кг)	III уровень (высокий, 6,7 мг/кг)	IV уровень (избыточный, 10,0 мг/кг)
Валовый				
Апах	20,9	23,8	27,9	34,2
A ₁ A ₂	9,3	12,5	10,6	12,8
A ₂ B ₁	11,4	9,2	9,2	15,7
B ₂ D	16,6	12,3	15,2	21,5
Подвижный				
Апах	2,3	3,5	6,7	10,0
A ₁ A ₂	1,1	1,7	1,4	1,4
A ₂ B ₁	1,5	1,3	1,2	1,7
B ₂ D	1,8	1,8	1,4	1,9

Таблица 2

Влияние микроудобрения МикроСтим-Цинк на урожайность люцерны при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижным цинком, ц/га сухой массы (среднее 2021–2022 гг.)

Уровни обеспеченности по- чвы цинком	Варианты	Урожайность, ц/га			Прибавка к фону, ц/га
		2021 г.	2022 г.	сред- нее	
Низкий, 2,3 мг/кг	1. Контроль	40,9	70,6	55,8	–
	2. $P_{90}K_{180}$ – фон	44,7	80,3	62,5	–
	3. Фон + Zn ₅₀	52,4	91,2	71,8	9,3
	4. Фон + Zn ₁₀₀	53,3	93,6	73,4	10,9
	5. Фон + Zn ₁₅₀	56,3	99,1	77,7	15,2
Средний, 3,5 мг/кг	2. $P_{90}K_{180}$ – фон	57,8	94,7	76,2	–
	3. Фон + Zn ₅₀	52,8	100,4	76,6	0,4
	4. Фон + Zn ₁₀₀	56,4	102,1	79,2	3,0
	5. Фон + Zn ₁₅₀	50,9	101,7	76,3	0,1
Высокий, 6,7 мг/кг	2. $P_{90}K_{180}$ – фон	54,4	91,2	72,8	–
	3. Фон + Zn ₅₀	49,4	95,7	72,6	–
	4. Фон + Zn ₁₀₀	50,5	95,5	73,0	0,2
	5. Фон + Zn ₁₅₀	47,9	94,1	71,0	–
Избыточный, 10,0 мг/кг	2. $P_{90}K_{180}$ – фон	51,7	90,4	71,1	–
	3. Фон + Zn ₅₀	50,5	92,4	71,4	0,3
	4. Фон + Zn ₁₀₀	49,5	83,9	66,7	–
	5. Фон + Zn ₁₅₀	50,6	83,6	67,1	–
НСР ₀₅ вариантов		3,3	2,5	2,8	
НСР ₀₅ уровней		4,0	3,1	2,5	

Чтобы более полно оценить действие удобрений, необходимо проанализировать их влияние на качество зеленой массы люцерны. Применение микроудобрения МикроСтим-Цинк в некорневую подкормку люцерны повышало содержание протеина в зеленой массе люцерны. Оптимальным содержанием протеина в корме считается 15–20 % при минимально допустимом 10 %. Во всех вариантах исследования в среднем его содержание было на уровне оптимального значения и колебалось от 18,8 % до 20,6 % (табл. 3). Наибольшее влияние на качество урожая люцерны оказывала обеспеченность почвы цинком. При увеличении концентрации подвижного цинка в почве от низкого до среднего уровня на фоне минеральных удобрений повышается содержание протеина в растениях люцерны. В среднем за 2 года содержание протеина в урожае люцерны на естественном уровне плодородия почвы составило – 18,8 %, при внесении $P_{90}K_{180}$ – 19,3 %. Увеличение концентрации подвижного цинка в почве от низкого до среднего уровня повышает содержание протеина в растениях люцерны на 1,3 %.

Показатели сбора сырого протеина зависели в основном от урожайности люцерны и увеличивались соответственно с повышением уровня содержания цинка в почве до второго уровня обеспеченности почвы подвижным цинком. Повышение содержания цинка в почве от низкой до средней обеспеченности способствовало увеличению сбора сырого белка в сумме за два года с 14,2 до 18,3 ц/га. Внесение цинковых удобрений в некорневую подкормку люцерны оказало положительное влияние на показатели качества только при низком уровне содержания цинка в почве. На фоне $P_{90}K_{180}$ удобрение МикроСтим-Цинк в возрастающих дозах способствовало увеличению сбора сырого белка на 1,6–2,4 ц/га.

Таблица 3

Влияние микроудобрения МикроСтим-Цинк на качество люцерны при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижным цинком (среднее 2021–2022 гг.)

Уровни обеспеченности почвы цинком	Варианты	Содержание протеина, %	Сбор сырого протеина, ц/га	Содержание цинка, мг/кг сухой массы
Низкий, 2,3 мг/кг	1. Контроль	18,8	12,5	18,7
	2. $P_{90}K_{180}$ – фон	19,3	14,2	19,3
	3. Фон + Zn_{50}	19,8	16,6	21,1
	4. Фон + Zn_{100}	19,6	15,9	23,0
	5. Фон + Zn_{150}	19,1	15,8	25,5
Средний, 3,5 мг/кг	2. $P_{90}K_{180}$ – фон	20,6	18,3	20,3
	3. Фон + Zn_{50}	20,2	18,3	21,2
	4. Фон + Zn_{100}	19,9	18,1	22,5
	5. Фон + Zn_{150}	20,0	18,2	26,2
Высокий, 6,7 мг/кг	2. $P_{90}K_{180}$ – фон	20,0	17,0	24,1
	3. Фон + Zn_{50}	19,2	17,4	25,0
	4. Фон + Zn_{100}	19,2	16,6	26,4
	5. Фон + Zn_{150}	19,4	16,8	27,8
Избыточный, 10,0 мг/кг	2. $P_{90}K_{180}$ – фон	19,5	15,9	29,3
	3. Фон + Zn_{50}	19,2	15,3	29,3
	4. Фон + Zn_{100}	18,9	14,2	32,6
	5. Фон + Zn_{150}	19,5	15,2	34,3

Анализ содержания цинка в растениях люцерны показал, что его концентрация в растениях изменялась и зависела от уровня содержания элемента в почве и доз цинкового удобрения (табл. 3). Потребность крупного рогатого скота в цинке удовлетворяется при содержании 30–50 мг в 1 кг сухого вещества корма. Минимальная потребность в цинке оценивается примерно в 20 мг/кг [9]. В исследованиях с люцерной наблюдалась хорошо выраженная тенденция увеличения количества цинка в зеленой массе с повышением его концентрации в почве. При повышении содержания в дерново-подзолистой супесчаной почве цинка от низкого (I уровень) до избыточного (IV уровень), накопление элемента в зеленой массе люцерны возросло от 19,3 до 29,3 мг/кг сухой массы, что соответствует нижней границе оптимального содержания цинка для кормов сельскохозяйственных животных.

Интенсивность накопления цинка в зеленой массе люцерны под влиянием некорневой подкормки цинковым удобрением снижалось по мере повышения концентрации подвижного цинка в почве. Повышение дозы внесения цинка способствовала увеличению его концентрации в растениях. На низком уровне обеспеченности почвы подвижным цинком, на фоне некорневой подкормки удобрением МикроСтим-Цинк концентрация элемента в зеленой массе в среднем за 2 года составила 21,1–25,5 мг/кг сухой массы, что на 9,3–32,1 % выше фонового варианта. При среднем уровне обеспеченности почвы цинком накопление его в растениях было в пределах 21,2–26,2 мг/кг сухой массы. Повышение цинка от некорневой подкормки на данном уровне составило 4,4–29,1 %. На высоком уровне обеспеченности почвы цинком внесение цинкового удобрения в некорневую подкормку люцерны способствовала повышению его концентрации в растениях до 27,8 мг/кг, или на 15,4%, на избыточном – до 34,3 мг/кг, или на 17,0 %.

Для анализа биогенности цинка и интенсивности вовлечения его из почвы в биологический круговорот агроценоза был рассчитан коэффициент биологического поглощения (КБП). Доступность цинка для растений зависит от его подвижности и содержания в почве. При этом даже небольшое изменение концентрации цинка в почве способно изменять его биологическую доступность и накопления в растениях. Установлено, что при возделывании люцерны наиболее интенсивно цинк накапливается в растениях при низком содержании его в супесчаной почве. Так, на низком уровне обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком коэффициент биологического поглощения составил 7,2–9,8 (табл. 4).

Таблица 4

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

Варианты	Уровни обеспеченности почвы подвижным цинком			
	низкий, 2,3 мг/кг	средний, 3,5 мг/кг	высокий, 6,7 мг/кг	избыточный, 10,0 мг/кг
Контроль	7,2	–	–	–
P ₉₀ K ₁₈₀ – фон	7,4	5,2	3,5	2,9
Фон + Zn ₅₀	8,1	5,4	3,7	2,9
Фон + Zn ₁₀₀	8,8	5,8	3,9	3,2
Фон + Zn ₁₅₀	9,8	6,7	4,1	3,4

При высоких концентрациях подвижного цинка в почве поглощение его растениями люцерны снижается в 2,5–2,9 раза. При внесении цинкового удобрения в некорневые подкормки люцерны коэффициент биологического поглощения увеличивается с повышением доз микроудобрения.

ВЫВОДЫ

Урожайность люцерны зависела от уровня обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком и доз внесения цинкового удобрения в некорневую подкормку. При низком содержании цинка в супесчаной почве некорневая подкормка люцерны микроудобрением МикроСтим-Цинк в дозах 50, 100 и 150 г/га д. в. повышала урожайность на 9,3, 10,9 и 15,2 ц/га сухой массы соответственно. При высокой и избыточной обеспеченности почвы цинком внесение микроудобрения в некорневую подкормку люцерны неэффективно.

Содержания белка в растениях люцерны увеличивалось при повышении содержания элемента в почве и внесении микроудобрения. Потребление цинка растениями люцерны возрастает линейно с повышением его концентрации в почве. Интенсивность накопления цинка в растениях люцерны под влиянием некорневой подкормки цинковым удобрением снижалась по мере повышения концентрации его подвижной формы в почве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сычев В. Г. Цинк в агроэкосистемах России. Мониторинг и эффективность применения / В. Г. Сычев, А. Н. Аристархов, Т. А. Яковлева. – М.: ВНИИА, 2015. – 204 с.
2. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
3. Шеуджен, А. Х. Экспериментальная агрохимия: учеб. пособие / А. Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 755 с.
4. Синдирева А. В. Критерии и параметры действия микроэлементов в системе почва–растение–животное: автореф. дис. ...д-ра биол. наук / А. В. Синдирева. – Тюмень, 2012. – 32 с.
5. Руководство по удобрению многолетних бобовых трав (люцерна, клевер, донник, эспарцет): метод. рекомендации [Электронный ресурс] / Е. И. Волошин, А. Т. Аветисян; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2017. – 31 с.
6. Пикун, П. Т. Роль микроэлементов в семеноводстве люцерны и галеги восточной / П. Т. Пикун, М. М. Коротков // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. – 2012. – № 3. – С. 39–46.
7. Сафак, Дж. Влияние цинка на урожайность и некоторые связанные с этим свойства люцерны / Турецкий журнал полевых культур. – 2009. – № 14(2). – С. 136–143.
8. Царев, А. П. Агробиологические основы формирования высокопродуктивных агрофитоценозов люцерны на корм и семена в Поволжье / А. П. Царев, М. А. Царева. – Саратов: ООО «Новый ветер», 2010. – 260 с.
9. Косолапов, В. М. Минеральные элементы в кормах и методы их анализа: монография / В. М. Косолапов, В. А. Чуйков, Х. К. Худякова. – М.: ООО «Угрешская типография», 2019. – 272 с.

**THE INFLUENCE OF ZINC FERTILIZER ON THE YIELD
AND QUALITY OF ALFALFA WITH DIFFERENT PROVISION
OF SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL WITH ZINC**

M. V. Rak, E. N. Pukalova, N. S. Guzova, L. N. Guk, V. V. Korsakova

Summary

The article presents the results of studies on the effectiveness of the use of zinc fertilizers in the cultivation of alfalfa, depending on the availability of sod-podzolic sandy loam soil with zinc. It has been established that non-root fertilizing of alfalfa with zinc fertilizer is effective only with low availability of mobile zinc in the soil. An increase in the content of protein and zinc in alfalfa plants was noted with an increase in the content of the element in the soil and the introduction of micronutrients.

Поступила 11.05.23

ВЛИЯНИЕ МАКРО-, МИКРОУДОБРЕНИЙ И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА УРОЖАЙНОСТЬ, СТРУКТУРУ УРОЖАЯ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

И. Р. Вильдфлуш, А. А. Кулешова

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

ВВЕДЕНИЕ

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур при снижении затрат на их производство относится к приоритетным направлениям деятельности сельского хозяйства. Одним из путей снижения затрат в сельскохозяйственном производстве является разработка и активное внедрение современных ресурсосберегающих технологий производства растениеводческой продукции [1].

Использование новых форм комплексных удобрений, специализированных для различных сельскохозяйственных культур, содержащих макро- и микроудобрения, дают большие возможности в этом направлении.

Под влиянием микроудобрений не только увеличивается урожайность культур и улучшается качество сельскохозяйственной продукции, но и повышается устойчивость растений к вредителям и болезням, к неблагоприятным погодным условиям. На почвах с низким содержанием микроэлементов внесение микроудобрений может повысить урожайность на 10–15 % и больше. Микроудобрения положительно влияют на накопление белков и углеводов.

Растения на протяжении всего периода роста должны быть обеспечены всеми необходимыми макро- и микроэлементами. Отсутствие одного из элементов питания нельзя заменить избытком другого. Решение проблемы: на смену тем, что используются испокон веков, должны прийти комплексные удобрения со сбалансированным соотношением с учетом биологии возделываемых культур. Реализация этого направления – решающий фактор повышения урожайности и выхода на новый уровень эффективности без увеличения потребности в минеральных удобрениях [2].

Использование регуляторов роста растений приводит к повышению урожайности и качества получаемой продукции, повышению устойчивости культурных растений к абиотическим стрессам. По мнению ряда ученых, применение регуляторов роста способствует и повышению неспецифического иммунитета сельскохозяйственных культур [3].

В исследованиях М. В. Рака и Е. Н. Пукаловой в СПК «Щомыслица» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве проведены исследования с яровой пшеницей Мунк и яровым ячменем Атаман. Внесение микроудобрения МикроСтим-Медь Л в некорневые подкормки яровой пшеницы в дозе 0,65 л/га повышало урожайность зерна на 3,7 ц/га. Некорневая подкормка ярового ячменя микроудобрением МикроСтим-Марганец в дозах 1,0 и 1,5 л/га обеспечило прибавку зерна ячменя на 3,2 и 4,7 ц/га.

В лаборатории микроэлементов РУП «Институт почвоведения и агрохимии» разработаны различные марки жидких микроудобрений с биостимулятором МикроСтим, которые в своем составе наряду с хелатами металлоэлементов содержат регулятор роста стимулирующего действия. Микроудобрения МикроСтим представляют собой водорастворимые концентраты, приготовленные на основе хелатов металлоэлементов цинка, меди, кобальта и марганца, а также бора и молибдена в органоминеральной форме с добавлением регулятора роста – гидрогумина или гидрогумата или иных гуминовых веществ. Применение МикроСтим позволит обеспечивать полную потребность растений в микроэлементах с момента прорастания семян и на протяжении вегетации, а также стимулировать рост и развитие растений, снизить заболеваемость [4].

Цель данных исследований – изучить влияние комплексных удобрений для допосевного внесения и некорневых подкормок, микроудобрений в хелатной форме, регуляторов роста и комплексных микроудобрений с регуляторами роста на линейный рост, структуру урожая и качество зерна яровой пшеницы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования со среднеспелым сортом яровой пшеницы Бомбона 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 (1,5–1,6 %), слабокислую и близкую к нейтральной реакцию почвенной среды (5,58–6,08), повышенное содержание подвижного фосфора (208,0–244,0 мг/кг), среднюю и повышенную обеспеченность подвижным калием (174,0–231,0 мг/кг), низкое и среднее содержание подвижной меди (1,46–1,76 мг/кг), низкое и среднее содержание подвижного цинка (2,75–3,43 мг/кг), высокое и избыточное содержание подвижного марганца (227,1–397,0 мг/кг, вытяжка 01M H₂SO₄).

Норма высева – 5,5 млн всхожих семян. Посев в 2018–2020 гг. производился в апреле и мае. Предшественники – горох и подсолнечник. В период вегетации проводились фенологические наблюдения за растениями, обработки гербицидами, фунгицидами и инсектицидами. Схема опыта включала 13 вариантов.

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

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 (N₆₀₊₃₀P₆₀K₉₀), 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.

Некорневые подкормки комплексными и микроудобрениями проводили согласно инструкции по применению и отраслевому регламенту. Азотная подкормка яровой пшеницы проводилась в фазу начала выхода в трубку и фазу флагового листа.

Определение высоты растений проводилось после наступления фазы выхода в трубку через 7 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 [5, 6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Интенсивность линейного роста растений является одним из морфологических показателей, от которых в значительной степени зависит величина урожая зерна, а также его качество.

В фазу кущения высота растений яровой пшеницы колебалась от 27,5 см (контроль) до 39,7 см (Нутривант на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$) и по вариантам существенно отличалась только от контрольного (табл. 1).

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 пшеницы по сравнению с контролем возросла на 11,3 и 12,5 см. Внесение микроудобрений (МикроСтим-Медь Л, Адоб Медь) и комплексных удобрений и регулятора роста (Нутривант Плюс, Кристалон, Адоб Профит, Экосил) на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ увеличило высоту растений на 4,9–8,6 см по сравнению с фоном 1. Применение комплексного удобрения АФК с Cu и Mn по сравнению с вариантом, где в эквивалентной дозе $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ вносили карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий, в фазу выхода в трубку увеличило высоту растений пшеницы на 8,0 см. В варианте, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений ($N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$), по сравнению с контрольным вариантом высота растений в фазу выхода в трубку возросла на 20,3 см. Высота растений в вариантах с применением МикроСтим-Медь Л и Нутривант Плюс на фоне повышенных доз минеральных удобрений ($N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$) в фазу выхода в трубку возросла на 1,6 и 2,1 см по сравнению с фоном 2 (стандартные удобрения).

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 пшеницы возросла на 5,5 и 7,2 см. При внесении Адоб Медь по сравнению с фоном $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ высота растений существенно не возрастала. При применении других препаратов на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ возросла на 1,7 см. При внесении комплексных удобрений и регулятора роста по сравнению с фоном $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ высота растений в фазу колошения увеличилась на 1,7–3,9 см. Применение комплексного удобрения АФК с Cu и Mn по сравнению с вариантом, где в эквивалентной дозе $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ вносили карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий, увеличило высоту растений яровой пшеницы в фазу колошения на 1,8 см. В варианте, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений, по сравнению с контрольным вариантом высота растений в фазу колошения возросла на 9,3 см. Высота растений в вариантах с применением МикроСтим-Медь Л и Нутривант Плюс на фоне повышенных доз минеральных удобрений ($N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$) в фазу колошения возросла на 1,8 и 2,0 см.

Таблица 1

Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на линейный рост растений яровой пшеницы сорта Бомбона в среднем за 2018–2020 гг.

Варианты	Высота растений, см		
	выход в трубку	колошение	молочно-восковая спелость
Без удобрений	51,1	72,3	93,8
$N_{60}P_{60}K_{90}$	62,4	77,8	104,8
$N_{60+30}P_{60}K_{90}$ – фон 1	63,6	79,5	106,9
Фон 1 + Адоб Медь 0,8 л/га	68,5	79,8	108,5
Фон 1 + МикроСтим-Медь Л 0,7 л/га	70,5	81,2	108,9
Фон 1 + Нутривант Плюс 2 + 2 кг/га	71,6	82,7	109,6
Фон 1 + Кристалон особый 2 кг/га + 2 кг/га коричневый	72,2	83,4	108,5
Фон 1 + Адоб Профит 2 + 2 кг/га	71,4	82,2	108,4
Фон 1 + Экосил 75 мл/га	69,7	81,2	108,9
АФК с Cu, Mn + N_{30}	71,6	81,3	110,7
$N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ – фон 2	71,4	81,6	109,4
Фон 2 + Микро Стим-Медь Л 0,7 л/га	73,0	83,4	111,0
Фон 2 + Нутривант Плюс 2 + 2 кг/га	73,5	83,6	111,9
НСР ₀₅	0,9	1,0	0,9

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 пшеницы возросла на 11,0 и 13,1 см. При внесении Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ высота растений возросла на 1,6–2,0 см. При внесении комплексных удобрений для некорневых подкормок и регулятора роста на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ высота растений в фазу молочно-восковой спелости увеличилась на 1,5–2,7 см. Применение комплексного удобрения АФК с Cu и Mn по сравнению с вариантом, где в эквивалентной дозе $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ вносили карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий, увеличило высоту растений в фазу молочно-восковой спелости на 3,8 см. В варианте, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ по сравнению с контрольным вариантом высота растений в фазу молочно-восковой спелости возросла на 15,6 см. Применение МикроСтим-Медь Л и Нутривант Плюс на фоне повышенных доз минеральных удобрений ($N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$) способствовало увеличению высоты растений яровой пшеницы на 1,6–2,5 см.

Важнейшее условие получения высокой урожайности зерновых культур – формирование оптимальной его структуры. Для зерновых культур большое значение имеют продуктивная кустистость, озерненность колоса, масса 1000 зерен.

Минимальное количество продуктивных стеблей яровой пшеницы отмечено в варианте без удобрений – 409 шт./м² (табл. 2). В варианте, где вносили минеральные удобрения в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ количество продуктивных стеблей возросло на 22 и 33 шт./м². В варианте, где вносили повышенные дозы

минеральных удобрений $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$, по сравнению с контрольным вариантом количество продуктивных растений возросло на 125 шт./м². При внесении Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ количество продуктивных стеблей пшеницы возросло на 40 и 47 шт./м². При внесении комплексных удобрений для некорневых подкормок и регулятора роста по сравнению с фоном $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ количество стеблей увеличилось на 19–62 шт./м². Применение комплексного удобрения АФК с Cu и Mn по сравнению с вариантом, где вносились стандартные удобрения способствовало увеличению количества продуктивных стеблей на 94 шт./м².

Таблица 2

Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на структуру урожая яровой пшеницы сорта Бомбона в среднем за 2018–2020 гг.

Варианты	Урожайность зерна, ц/га	Количество шт./м ²			Кусти- стость		Колос			Масса 1000 зерен, г
		растений	стеблей	продуктивных стеблей	общая	продуктивная	длина колоса, см	число колосков в колосе, шт.	среднее число зерен в колосе, шт.	
Без удобрений	43,9	383	498	409	1,30	1,07	8,6	16	30	32,1
$N_{60}P_{60}K_{90}$	53,5	397	517	431	1,30	1,09	9,4	18	31	34,1
$N_{60+30}P_{60}K_{90}$ – фон 1	58,0	400	549	442	1,37	1,11	9,6	18	32	34,9
Фон 1 + Адоб Медь 0,8 л/га	62,3	411	558	482	1,36	1,18	9,9	19	35	36,1
Фон 1 + МикроСтим-Медь Л 0,7 л/га	63,8	416	568	489	1,37	1,18	10,5	21	36	36,8
Фон 1 + Нутривант Плюс 2 + 2 кг/га	64,8	425	571	504	1,34	1,19	10,8	20	37	37,3
Фон 1 + Кристалон особый 2 кг/га + 2 кг/га коричневый	62,4	426	541	461	1,27	1,08	11,0	20	37	36,2
Фон 1 + Адоб Профит 2 + 2 кг/га	63,3	435	563	490	1,29	1,13	11,5	21	38	36,4
Фон 1 + Экосил 75 мл/га	61,7	420	551	480	1,31	1,14	10,8	20	37	35,8
АФК с Cu, Mn + N_{30}	66,4	428	591	536	1,38	1,26	11,8	23	39	38,7
$N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ – фон 2	62,2	446	624	534	1,40	1,20	12,2	24	39	36,0
Фон 2 + Микро Стим- Медь Л 0,7 л/га	69,7	466	645	563	1,39	1,21	12,7	24	41	39,8
Фон 2 + Нутривант Плюс 2 + 2 кг/га	70,3	486	660	583	1,36	1,35	12,9	24	41	39,9
НСР ₀₅	1,0	11,6	15,5	13,5	–	–	0,5	1,7	3,0	0,7

Наибольшее количество продуктивных стеблей отмечено в вариантах с применением МикроСтим-Медь Л и Нутривант Плюс на фоне повышенных доз минеральных

удобрений ($N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$) и составило 563 и 583 шт./м². Максимальная продуктивная кустистость отмечена в вариантах, где применяли комплексное удобрение АФК с Си и Мп и Нутривант Плюс на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ и составила 1,26 и 1,35.

Применение макро-, микро- и комплексных удобрений влияло на увеличение, как длины колоса, так и количества зерен в нем. Так, на варианте без удобрений длина колоса яровой пшеницы составила 8,6 см. Максимальная длина колоса была получена в варианте с применением минеральных удобрений $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ и комплексного удобрения Нутривант Плюс на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ – 12,7 и 12,9 см. Применение Адоб Медь на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ меньше всего повлияло на длину колоса. Наибольшее число зерен в колосе отмечено также в вариантах МикроСтим-Медь Л и Нутривант Плюс на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ – 41 и 41 шт., что и обеспечивало максимальную урожайность зерна в этих вариантах.

Наименьшая масса 1000 зерен яровой пшеницы отмечена в варианте без удобрений – 32,1 г (табл. 2). При применении минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ масса 1000 зерен возросла на 2,0 и 2,8 г. При внесении микроудобрений, комплексных удобрений и регулятора роста по сравнению с фоном $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ масса 1000 зерен возросла на 0,9–2,4 г. Применение комплексного удобрения АФК с Си и Мп по сравнению с вариантом, где вносились стандартные удобрения способствовало увеличению массы 1000 зерен пшеницы на 3,8 г. В варианте, где применяли повышенные дозы минеральных удобрений $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$, по сравнению с контрольным вариантом масса 1000 зерен возросла на 3,9 г. Максимальная масса 1000 зерен отмечена при применении МикроСтим-Медь Л и Нутривант Плюс, которая по сравнению с фоном $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ возросла на 3,8 и 3,9 г и составила 39,8 и 39,9 г, что и способствовало получению в этих вариантах наибольшей урожайности зерна.

Урожайность зерна яровой пшеницы сорта Бомбона в среднем за 3 года колебалась от 43,9 ц/га на контроле до 70,3 ц/га в варианте Нутривант Плюс на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ (табл. 2). Применение микроудобрений Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л по сравнению с фоном $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ повышало урожайность зерна пшеницы на 4,3–5,8 ц/га. При внесении ряда комплексных удобрений и регулятора роста (Нутривант Плюс, Кристалон, Адоб Профит, Экосил) урожайность зерна возросла на 3,7–6,8 ц/га. Применение комплексного АФК удобрения с Си и Мп повышало урожайность зерна пшеницы на 8,4 ц/га по сравнению с вариантом, где в эквивалентной дозе $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ вносили карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий. Максимальная урожайность была получена в вариантах, где применялся МикроСтим-Медь Л и Нутривант Плюс на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ и составила 69,7 и 70,3 ц/га.

Наряду с показателями урожайности при возделывании сельскохозяйственных культур немаловажное значение отводится качеству производимой продукции, которая используется для питания человека, в качестве корма для животных и сырья для промышленности. По таким показателям как содержание сырого белка, стекловидность, содержание клейковины оценивают хлебопекарные качества пшеницы.

Содержание сырого белка в зерне яровой пшеницы колебалось от 11,8 до 13,6 %. Значительно повлияли на содержание белка в зерне пшеницы минеральные удобрения $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{60+30}P_{60}K_{90}$, содержание белка при этом возросло на 1,0–1,3 % (13,3–13,6 %). В остальных вариантах опыта также отмечается увеличение сырого белка в зерне яровой пшеницы, но оно является несущественным (табл. 3).

Таблица 3

Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на показатели качество зерна яровой пшеницы сорта Бомбона в среднем за 2018–2020гг.

Варианты	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Сырой белок, %	Сырая клетчатка, %	Стекловидность, %	Крахмал, %	Натура зерна, г/л	Клейковина, %
Без удобрений	2,74	23,61	12,3	2,05	78,2	50,1	713,3	26,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	2,64	23,81	13,6	2,18	76,3	53,4	734,3	27,3
N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₉₀ – фон 1	2,67	23,64	13,3	1,97	75,8	53,4	718,8	27,9
Фон 1 + Адоб Медь 0,8 л/га	2,57	23,91	13,3	2,0	76,2	53,8	714,5	28,6
Фон 1 + МикроСтим-Медь Л 0,7 л/га	2,56	24,21	12,8	2,18	77,5	50,9	744,8	30,4
Фон 1 + Нутривант Плюс 2 + 2 кг/га	2,95	24,03	12,9	2,48	76,3	50,8	702,2	31,0
Фон 1 + Кристалон особый 2 кг/га + 2 кг/га коричневый	2,72	23,76	12,8	2,16	78,0	54,1	712,1	29,1
Фон 1 + Адоб Профит 2 + 2 кг/га	2,72	23,27	12,5	2,26	77,3	52,6	746,2	29,1
Фон 1 + Экосил 75 мл/га	2,68	22,95	12,7	2,11	69,7	55,1	727,6	28,6
АФК с Cu, Mn + N ₃₀	2,78	24,10	11,8	2,11	73,5	53,4	742,6	31,6
N ₆₀₊₃₀₊₃₀ P ₇₀ K ₁₂₀ – фон 2	2,81	22,85	12,9	2,23	74,2	55,9	708,8	29,9
Фон 2 + Микро Стим-Медь Л 0,7 л/га	2,88	24,86	12,5	2,49	80,0	52,9	682,5	33,2
Фон 2 + Нутривант Плюс 2 + 2 кг/га	2,81	24,22	13,4	2,47	80,8	56,2	740,5	34,4
НСР ₀₅	0,4	1,65	0,8	0,49	8,60	5,1	63,7	0,6

Стекловидность колебалась от 69,7 до 80,8 % и по вариантам достоверно не повышалась.

Содержание клейковины в вариантах, где применяли минеральные удобрения в дозах N₆₀P₆₀K₉₀ и N₆₀₊₃₀P₆₀K₉₀ по сравнению с контролем возросло на 1,3 и 1,9 %. При внесении Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л по сравнению с фоном N₆₀₊₃₀P₆₀K₉₀ содержание клейковины возросло на 0,7–2,5 %. При внесении комплексных удобрений для некорневых подкормок и регулятора роста по сравнению с фоном N₆₀₊₃₀P₆₀K₉₀ содержание клейковины возросло на 0,7–3,1 %. Применение комплексного удобрения АФК с Cu и Mn по сравнению с вариантом, где в эквивалентной дозе N₆₀₊₃₀P₆₀K₉₀ вносили карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий, увеличило содержание клейковины на 3,7 %. В варианте, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений N₆₀₊₃₀₊₃₀P₇₀K₁₂₀, по сравнению с контрольным вариантом содержание клейковины возросло на 3,9 %. Максимальное содержание клейковины отмечено в вариантах с применением МикроСтим-Медь Л и Нутривант Плюс на фоне N₆₀₊₃₀₊₃₀P₇₀K₁₂₀ – 33,2 и 34,4 %.

По полученным результатам анализа качества зерна можно сказать, что муку из пшеницы сорта Бомбона по содержанию белка можно отнести к средней группе, а по стекловидности и содержанию сырой клейковины к сильной группе. По данным показателям качества определяется класс и закупочная стоимость зерна [7].

Значение натуры зерна изменялось от 682,5 до 746,2 % и по вариантам достоверно не повышалось.

Оптимальное содержание меди в зерне 7–12 мг/кг [8]. В опыте по вариантам содержание меди колебалось от 2,57 до 2,95 мг/кг и оптимальных значений не достигло. Наибольшее содержание меди в зерне яровой пшеницы отмечено в варианте с применением комплексного удобрения АФК с Cu и Mn и составило 2,78 мг/кг. В остальных вариантах существенного увеличения отмечено не было. Оптимальное значение содержания цинка в зерне 20–40 мг/кг [9]. В данном опыте по вариантам содержание цинка колебалось от 22,85 до 24,86 мг/кг и было в оптимальных пределах. Наибольшее содержание цинка в зерне яровой пшеницы наблюдалось в вариантах, где применялся МикроСтим-Медь Л на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ – 24,86 мг/кг.

Наибольшее влияние на содержание сырой клетчатки в зерне оказал Нутривант Плюс на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ – 2,48 %. Наибольшее содержание крахмала отмечено в варианте $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ – 55,9 %.

Исследуемые в опыте макро-, микроудобрения, комплексные удобрения и регулятор влияли на содержание незаменимых аминокислот в зерне яровой пшеницы (табл. 4). На рост содержания лизина повлияло применение $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ (0,42 г/100 г зерна), на содержание триптофана – применение Адоб Медь и Адоб Профит на фоне $N_{60+30}P_{60}K_{90}$ (1,83 г/100 г зерна), на увеличение содержания лейцина и треонина – МикроСтим-Медь Л на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ (0,63 и 1,75 г/100 г зерна).

Таблица 4

Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на аминокислотный состав зерна яровой пшеницы сорта Бомбона в среднем за 2018–2020 гг.

Варианты	г/100 г зерна						
	Лизин	Метионин	Валин	Триптофан	Лейцин	Треонин	Фенилаланин
Без удобрений	0,40	0,52	1,68	1,68	0,58	1,58	0,41
$N_{60}P_{60}K_{90}$	0,42	0,55	1,78	1,77	0,61	1,68	0,45
$N_{60+30}P_{60}K_{90}$ – фон 1	0,42	0,54	1,77	1,66	0,60	1,66	0,42
Фон 1 + Адоб Медь 0,8 л/га	0,42	0,56	1,81	1,83	0,61	1,71	0,43
Фон 1 + МикроСтим-Медь Л 0,7 л/га	0,42	0,54	1,78	1,77	0,60	1,67	0,43
Фон 1 + Нутривант Плюс 2 + 2 кг/га	0,42	0,55	1,82	1,82	0,61	1,71	0,45
Фон 1 + Кристалон особый 2 кг/га + 2 кг/га коричневый	0,42	0,54	1,76	1,69	0,60	1,66	0,43
Фон 1 + Адоб Профит 2 + 2 кг/га	0,42	0,56	1,83	1,83	0,62	1,73	0,45
Фон 1 + Экосил 75 мл/га	0,41	0,53	1,72	1,66	0,59	1,62	0,40
АФК с Cu, Mn + N_{30}	0,42	0,54	1,76	1,68	0,60	1,66	0,42
$N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ – фон 2	0,42	0,53	1,72	1,73	0,59	1,62	0,41
Фон 2 + МикроСтим-Медь Л 0,7 л/га	0,42	0,57	1,86	1,77	0,63	1,75	0,44
Фон 2 + Нутривант Плюс 2 + 2 кг/га	0,43	0,51	1,64	1,73	0,57	1,54	0,41
НСР ₀₅	0,02	0,05	0,16	0,17	0,05	0,16	0,14

ВЫВОДЫ

Применение макро-, микроудобрений и регуляторов роста положительно повлияло на линейный рост растений яровой пшеницы, возделываемой на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Максимальная высота растений в фазу молочно-восковой спелости отмечена в вариантах МикроСтим-Медь Л и Нутривант Плюс на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ – 111,0 и 111,9 см.

Наибольшее количество продуктивных стеблей отмечено в вариантах с применением МикроСтим-Медь Л и Нутривант Плюс на фоне повышенных доз минеральных удобрений ($N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$) и составило 563 и 583 шт./м². Максимальная продуктивная кустистость отмечена в вариантах, где применяли комплексное удобрение АФК с Cu и Mn и Нутривант Плюс на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ и составила 1,26 и 1,35. Наибольшее число зерен в колосе отмечено в вариантах МикроСтим-Медь Л и Нутривант Плюс на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ – 41 и 41 шт. Максимальная масса 1000 зерен отмечена при применении МикроСтим-Медь Л и Нутривант Плюс, которая на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ составила 39,8 и 39,9 г, что и способствовало получению в этих вариантах наибольшей урожайности зерна.

Максимальная урожайность зерна пшеницы была получена в вариантах, где применялся МикроСтим-Медь Л и Нутривант Плюс на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ и составила 69,7 и 70,3 ц/га.

Содержание сырого белка в зерне яровой пшеницы колебалось от 11,8 до 13,6 %. Значительно повлияли на содержание белка в зерне пшеницы минеральные удобрения $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{60+30}P_{60}K_{90}$, содержание белка при этом возросло на 1,0–1,3 % (13,3–13,6 %). В остальных вариантах увеличение сырого белка в зерне яровой пшеницы есть, но является несущественным. Стекловидность колебалась от 69,7 до 80,8 % и по вариантам существенно не повышалась. Максимальное содержание клейковины отмечено в вариантах с применением МикроСтим-Медь Л и Нутривант Плюс на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ – 33,2 и 34,4 %.

Значение натуры зерна изменялось от 682,5 до 746,2 % и по вариантам достоверно не повышалось. Наибольшее содержание меди в зерне яровой пшеницы отмечено в варианте с применением комплексного удобрения АФК с Cu и Mn и составило 2,78 мг/кг. Содержание цинка в зерне яровой пшеницы по вариантам опыта составляло от 22,85 до 24,86 мг/кг (МикроСтим-Медь Л на фоне $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$) и находилось в оптимальных пределах. Наибольшее содержание крахмала отмечено в варианте $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ – 55,9 %.

Исследуемые в опыте макро-, микроудобрения, комплексные удобрения и регулятор роста существенно влияли на содержание незаменимых аминокислот в зерне яровой пшеницы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник агронома / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша, П. А. Саскевича. – Горки: БГСХА, 2017. – 315 с.
2. Эксперты обсудили методы сохранения плодородия почв и их эффективного использования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/ot-zemli-vzyat-i-zemle-otdat.html>. – Дата доступа: 08.02.2023
3. Пути повышения урожайности зерновых культур. [Электронный ресурс]. –

<https://agroportal-ziz.ru/articles/puti-povysheniya-urozhaynosti-zernovyh-kultur>

4. Рак, М. В. Эффективность микроудобрений МикроСтим при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах / М. В. Рак, Е. Н. Пукалова // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С.174–182.

5. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (С основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

6. Дзямбіцкі, М. Ф. Асаблівасці дысперсійнага аналізу вынікаў шматгадовага палявога доследу / М. Ф. Дзямбіцкі // Весці Нац. акад. навук Беларусі. – 1994. – № 3. – С. 60–64.

7. Удобрения и качество урожая сельскохозяйственных культур: монография / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: УП «Технопринт», 2005 – 276 с.

8. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на продуктивность и качество сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Горки: БГСХА, 2021. – 161 с.

9. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Белорус. наука, 2011. – 293 с

INFLUENCE OF MACRO-, MICRO-FERTILIZERS AND GROWTH REGULATOR ON YIELD, YIELD STRUCTURE AND GRAIN QUALITY OF SPRING WHEAT

I. R. Wildflush, A. A. Kuleshova

Summary

The development and introduction into production of new forms of complex fertilizers containing nutrients in a balanced amount (macro- and microelements) makes it possible to optimize plant nutrition and at the same time reduce the cost of their use. This article presents the results of research on the use of new forms of macro-, microfertilizers and growth regulators of domestic and foreign production on linear growth, crop structure and grain quality of spring wheat on soddy-podzolic light loamy soil.

The maximum height of plants (111,0 and 111,9 cm), the largest number of productive stems (563 and 583 pcs/m²), the mass of 1000 grains (39,8 and 39,9 g), the maximum yield (69,7 and 70,3 c/ha) of spring wheat grains were noted in the variants of Microtim-Copper L and Nutrivant Plus against the background of N₆₀₊₃₀₊₃₀ P₇₀K₁₂₀.

The highest content of crude protein in spring wheat grain was noted in the variant with the use of N₆₀P₆₀K₉₀, N₆₀₊₃₀P₆₀K₉₀ – 13,3–13,6 %. Vitreousness ranged from 69,7 to 80,8 % and did not increase significantly according to the variants. The maximum gluten content was noted in the variants with the use of MicroStim-Copper L and Nutrivant Plus against the background of N₆₀₊₃₀₊₃₀ P₇₀K₁₂₀ – 33,2 and 34,4 %.

Поступила 23.02.23

СКРИНИНГ ФОСФАТРАСТВОРЯЮЩИХ РИЗОБАКТЕРИЙ *PSEUDOMONAS* SPP. ПО АКТИВНОСТИ КУЛЬТУРАЛЬНОГО РОСТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ГЛИФОСАТА В ЖИДКОЙ СРЕДЕ ДВОРКИНА-ФОСТЕРА

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Поиск и разработка эффективных способов микробной детоксикации глифосата в настоящее время является приоритетной задачей. Необходимость ее решения обусловлена негативным влиянием глифосата (ГФ) и его первичного метаболита, аминометилфосфоновой кислоты (АМФК), на окружающую среду и токсическим действием на живые организмы.

Интенсивное применение в растениеводстве, в лесном хозяйстве, на территориях городов, в садоводстве, для очистки водоемов привело к практически повсеместному присутствию остаточных количеств глифосата и его метаболитического продукта АМФК, в окружающей среде: в воздухе [1–3], в почвах [1–9], природных водах [1, 3, 10–16], в продукции растениеводства [3, 4, 17–19]. Приводятся данные о наличии остатков глифосата в тканях животных и человека [20].

Глифосат и АМФК способны блокировать активность гена CYP 450, ответственного за функционирование обширной группы ферментов, регулирующих метаболизм большинства лекарственных средств, а также канцерогенов и мутагенов [21, 22]. Выявлен широкий спектр влияния глифосата на репродуктивное здоровье человека [23–25]. Глифосат-содержащие гербициды оказывают цитотоксическое действие на клетки человека [26], вызывают эндокринные нарушения [27], негативно влияют на эритроциты крови [3, 28]. Установлена повышенная распространенность онкологических заболеваний среди работников, непосредственно выполняющих обработки глифосатом [28].

Глифосат и аминометилфосфоновая кислота вызывают повреждения ДНК у рыб [29], установлена их токсичность для моллюсков [30], негативное действие на амфибий [31], на выживаемость и репродукцию дождевых червей [32]. Аминометилфосфоновая кислота нарушает жизненно важные процессы репарации ДНК и синтеза мРНК в растительных и животных организмах.

На основании накопленной к настоящему времени информации об экологической опасности и токсическом действии ГФ на живые организмы Всемирная организация здравоохранения в 2015 г. признала глифосат карциногенным для человека [3]. Применение глифосата запрещено в Австрии, Аргентине, Бельгии, Мальте, Нидерландах, Шри-Ланке. Многие страны значительно снизили потребление глифосата.

Микроорганизмы, преимущественно бактерии, способны разлагать глифосат за счет действия своих ферментных систем [3, 4, 6, 33–38]. В связи с этим во многих

странах активно проводятся исследования по поиску микробных деструкторов ГФ. К настоящему времени наибольшее их число обнаружено среди представителей фосфатрастворяющих ризосферных бактерий *Pseudomonas* spp. [3, 39].

Для снижения негативных последствий многократного применения глифосата, восстановления биологической активности почвы и получения экологической продукции необходима периодическая ремедиация. Наиболее перспективно применение микробных деструкторов гербицида [3, 4, 6, 33–38], которые могут обеспечить разложение глифосата до безопасных соединений.

В задачи наших исследований входят поиски деструкторов глифосата среди ризосферных бактерий, применяемых в качестве инокулянтов. Фосфатрастворяющие бактерии нашей исследовательской коллекции *Pseudomonas* spp. представляют интерес как объекты исследований, так как характеризуются широким спектром полезных свойств. Применение их в качестве инокулянтов активизирует процессы растворения трехзамещенных фосфатов, индуцирует значительный гормональный эффект [40], проявляют высокую антагонистическую активность по отношению к корневым фитопатогенам.

Цель исследований – скрининг фосфатрастворяющих ризосферных бактерий *Pseudomonas* spp. по активности роста в зависимости от содержания глифосата в жидкой среде Дворкина-Фостера и установление способности *Pseudomonas* spp. метаболизировать глифосат как источник азота и фосфора.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований служили коллекционные штаммы фосфатрастворяющих ризосферных бактерий *Pseudomonas* spp. (P1, P6, P7, P9, P10, P11, P12, P15, P16, P19, P21, P25, P28, P42, P54).

Изучение способности ризобактерий *Pseudomonas* spp. утилизировать гербицид глифосат в качестве единственного источника азота. Исследования проведены путем их культивирования в модифицированной жидкой среде Дворкина-Фостера [41] с разными источниками азота:

Вариант N₀ (без источника азота, г/л): глюкоза – 1,0 г/л, MgSO₄ – 0,075, CaCO₃ – 0,03, FeSO₄ · 7H₂O – 0,001; H₃BO₃ – 0,000001, MnSO₄ – 0,000001; трис-буфер – 6,05.

Вариант N_{ГФ} (глифосат в качестве источника азота, г/л): глюкоза – 1,0 г/л, MgSO₄ – 0,075, CaCO₃ – 0,03, FeSO₄ · 7H₂O – 0,001; H₃BO₃ – 0,000001, MnSO₄ – 0,000001; трис-буфер – 6,05.

Вариант N_{(NH₄)₂SO₄} (сульфат аммония в качестве источника азота, г/л): глюкоза – 1,0 г/л, (NH₄)₂SO₄ – 0,375, MgSO₄ – 0,075, CaCO₃ – 0,03, FeSO₄ · 7H₂O – 0,001; H₃BO₃ – 0,000001, MnSO₄ – 0,000001; трис-буфер – 6,05.

Жидкую питательную среду Дворкина-Фостера (рН 7,0) автоклавировали при 121 °С, 1,5 атм., 15 мин. Стерильный 10 % раствор глюкозы (0,5 атм., 15 мин.) и 50 % раствор Торнадо (110 °С, 20 мин.) готовили отдельно и вносили в питательную среду непосредственно перед использованием. Концентрация глифосата в питательной среде 0,50 мкг/мл.

Для мониторинга роста ризобактерий в этой серии *in vitro* экспериментов периодически проводили определение оптической плотности инкубационной смеси (OD при λ = 590 нм) на фотоэлектроколориметре КФК-2-УХЛ-4,2. Результаты считали достоверными при отклонении величин в пределах ± 5 %.

Изучение активности роста *Pseudomonas* spp. в жидкой среде Дворкина-Фостера с разным содержанием глифосата в качестве единственного источника фосфора. Выполнены *in vitro* эксперименты по культивированию коллекционных фосфатрастворяющих ризобактерий в жидкой питательной среде с возрастающим содержанием глифосата.

Для исследований использовали модифицированную жидкую среду 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). Модификация состава среды состояла в увеличении концентрации источника углерода и включении в состав питательной среды дрожжевого экстракта.

В качестве посевного материала использованы двухсуточные культуры ризобактерий, выращенные на плотном агаре. 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 (30,0; 90,0; 150,0 и 450,0 мкг по действующему веществу). Затем объем инкубационной смеси доводили до 140 мл, используя модифицированную жидкую среду Дворкина-Фостера. В колбы приливали по 10,0 мл исследуемых посевных бактериальных культур *Pseudomonas* spp. 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 опыте – 3-кратная.

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

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 реактивов и посуды используются стерилизатор паровой ГК-100-3 (Тюменский завод медицинского оборудования и инструментов, № 669, 2004 г.), стерилизатор паровой ГК-10-1 (Тюмень-медКо, № 1089); облучатели ультрафиолетовые УГД-2, УГД-3.

Для культивирования бактерий используются: Экрос (№ 6410), шейкер орбитальный KS-501 digital IKA WERKE (GmbH & Co.KG), перемешивающее устройство ЛАБ-ПУ-01 (2007 г.), термостат ТПС-1.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении скрининга, направленного на поиск деструкторов глифосата, необходима информация о том, какой элемент из состава гербицида они способны потреблять. Молекула глифосата содержит биогенные элементы – азот, углерод и фосфор. По литературным данным [3, 4, 33] эффективность процесса детоксикации будет существенно зависеть от способности бактерий использовать глифосат в качестве источника фосфора для метаболизма.

Коллекционные штаммы *Pseudomonas* spp. протестированы в отношении утилизации глифосата как единственного источника углерода. Установлено, что *Pseudomonas* spp. не способны использовать глифосат как единственный источник

углерода [34]. Анализ литературы подтверждает, что утилизировать глифосат как источник углерод способны очень немногочисленные штаммы [3].

Изучение способности фосфатрастворяющих ризобактерий утилизировать гербицид глифосат в качестве единственного источника азота. При проведении скрининга штаммов *Pseudomonas* spp. основным оценочным критерием служила активность роста бактериальных культур в жидкой минеральной среде Дворкина-Фостера с разными источниками азота: контроль без азота (N_0), сульфат аммония ($N_{(NH_4)_2SO_4}$) и глифосат (Нгф). Активность роста ризобактерий определяли по показателям оптической плотности бактериальных суспензий (OD при $\lambda = 590$ нм). Оптическая плотность бактериальной суспензии на начальном этапе роста (экспоненциальная фаза) пропорциональна плотности популяции тестируемых бактерий.

Представлены результаты скрининга ризобактерий *Pseudomonas* spp. из нашей исследовательской коллекции. Анализ экспериментально установленных зависимостей активности роста ризобактерий от источника азота в минеральной среде Дворкина-Фостера однозначно свидетельствует, что коллекционные *Pseudomonas* spp. практически не используют глифосат как единственный источник азота для собственного метаболизма (табл.).

На предыдущих этапах скрининга выполнено тестирование *Pseudomonas* spp. в отношении потребления фосфора из молекулы гербицида. Установлено, что все коллекционные штаммы фосфатрастворяющих бактерий способны использовать глифосат как единственный источник фосфора с разной интенсивностью [34]. Установленный факт использования фосфора из молекулы глифосата служит хорошим прогнозным признаком, позволяющим предполагать наличие в биохимическом арсенале исследуемых бактерий С–Р лиазной активности. В последние годы появляется все больше информации по функционированию С–Р лиазных мультиферментных систем у разных ГФ-утилизирующих бактерий, которая подтверждает высокую вероятность наличия С–Р лиазной активности у штаммов *Pseudomonas* spp., метаболизирующих глифосат как источник фосфора [35–38].

Процесс поиска эффективных деструкторов глифосата осложняется из-за штаммовой специфичности. Способность к расщеплению фосфоновой связи С–Р в молекуле глифосата выявляется лишь у отдельных представителей среди бактерий одного рода [4, 6, 33]. По результатам генетических исследований даже при наличии полного набора генов, кодирующих С–Р лиазу, штамм не проявляет способности расщеплять фосфоновую связь в глифосате. Сейчас известно, что около 40 % расшифрованных бактериальных геномов содержат гены, кодирующие ферменты катаболизма органических фосфонатов, однако способность утилизировать ГФ как источник фосфора описана лишь для отдельных штаммов [3, 6, 33, 37].

Штаммовая специфичность связана с различием путей метаболизма глифосата у разных микробных деструкторов. Вопросы путей метаболизма должны рассматриваться и решаться конкретно для каждого отдельного штамма-деструктора [4]. Например, штамм *Pseudomonas* sp. PG2982 расщепляет глифосат на саркозин и неорганический фосфат [3, 38], штамм *Pseudomonas* sp. LBr – на аминометилфосфоновую кислоту (АМФК) и глицин [3, 35]. Некоторые С–Р лиазы отличаются высокой специфичностью: одни специфичны только в отношении глифосата, другие – только в отношении аминометилфосфоновой кислоты. Целевыми объектами могут быть только штаммы-деструкторы, способные обеспечить безопасную детоксикацию глифосата с образованием экологически приемлемых конечных продуктов метаболизма.

**Показатели активности роста *Pseudomonas* spp. в жидкой среде
Дворкина-Фостера с разными источниками азота**

Штамм	Вариант	OD 590							
		исх.	0,3 сут.	1 сут.	2 сут.	3 сут.	4 сут.	7 сут.	9 сут.
P-1	N ₀	0,010	0,016	0,058	0,073	0,078	0,078	0,083	0,088
	Nrф		0,013	0,028	0,028	0,053	0,053	0,067	0,078
	N _{(NH4)2SO4}		0,015	0,063	0,082	0,088	0,092	0,092	0,092
P-6	N ₀	0,010	0,014	0,023	0,028	0,038	0,052	0,051	0,055
	Nrф		0,013	0,020	0,030	0,040	0,040	0,047	0,049
	N _{(NH4)2SO4}		0,015	0,015	0,033	0,043	0,065	0,065	0,073
P-7	N ₀	0,012	0,014	0,039	0,048	0,053	0,052	0,062	0,065
	Nrф		0,013	0,030	0,048	0,050	0,052	0,052	0,050
	N _{(NH4)2SO4}		0,014	0,042	0,056	0,068	0,066	0,070	0,073
P-9	N ₀	0,005	0,010	0,027	0,027	0,029	0,033	0,043	0,046
	Nrф		0,005	0,032	0,035	0,037	0,037	0,049	0,054
	N _{(NH4)2SO4}		0,012	0,030	0,044	0,052	0,056	0,058	0,065
P-10	N ₀	0,040	0,054	0,063	0,085	0,088	0,089	0,095	0,095
	Nrф		0,053	0,062	0,088	0,100	0,103	0,113	0,113
	N _{(NH4)2SO4}		0,055	0,073	0,095	0,098	0,096	0,092	0,106
P-11	N ₀	0,025	0,034	0,068	0,068	0,073	0,067	0,077	0,080
	Nrф		0,022	0,054	0,068	0,078	0,080	0,081	0,088
	N _{(NH4)2SO4}		0,030	0,075	0,078	0,083	0,082	0,083	0,090
P-12	N ₀	0,010	0,010	0,020	0,022	0,023	0,026	0,047	0,055
	Nrф		0,010	0,037	0,043	0,053	0,054	0,054	0,060
	N _{(NH4)2SO4}		0,010	0,029	0,033	0,036	0,042	0,053	0,063
P-15	N ₀	0,005	0,005	0,029	0,050	0,056	0,056	0,067	0,065
	Nrф		0,005	0,020	0,043	0,048	0,048	0,060	0,062
	N _{(NH4)2SO4}		0,008	0,035	0,044	0,056	0,072	0,077	0,075
P-16	N ₀	0,010	0,012	0,024	0,026	0,030	0,036	0,053	0,051
	Nrф		0,009	0,038	0,040	0,050	0,050	0,053	0,058
	N _{(NH4)2SO4}		0,015	0,035	0,039	0,042	0,054	0,057	0,065
P-19	N ₀	0,080	0,083	0,083	0,083	0,095	0,091	0,090	0,095
	Nrф		0,098	0,113	0,123	0,143	0,150	0,151	0,148
	N _{(NH4)2SO4}		0,088	0,096	0,128	0,144	0,146	0,148	0,148
P-21	N ₀	0,110	0,114	0,125	0,143	0,140	0,142	0,143	0,141
	Nrф		0,121	0,131	0,145	0,148	0,147	0,148	0,148
	N _{(NH4)2SO4}		0,120	0,140	0,162	0,168	0,170	0,172	0,180
P-25	N ₀	0,030	0,068	0,071	0,073	0,080	0,083	0,094	0,094
	Nrф		0,029	0,052	0,068	0,072	0,074	0,073	0,087
	N _{(NH4)2SO4}		0,060	0,080	0,088	0,086	0,098	0,112	0,120
P-28	N ₀	0,060	0,095	0,100	0,105	0,108	0,129	0,130	0,135
	Nrф		0,058	0,062	0,103	0,113	0,133	0,141	0,137
	N _{(NH4)2SO4}		0,090	0,115	0,123	0,128	0,133	0,136	0,144
P-42	N ₀	0,015	0,018	0,047	0,049	0,058	0,063	0,074	0,073
	Nrф		0,019	0,049	0,053	0,060	0,069	0,069	0,071
	N _{(NH4)2SO4}		0,022	0,054	0,088	0,090	0,087	0,092	0,090
P-54	N ₀	0,060	0,068	0,089	0,087	0,095	0,093	0,103	0,107
	Nrф		0,068	0,113	0,118	0,119	0,125	0,128	0,125
	N _{(NH4)2SO4}		0,095	0,137	0,149	0,154	0,159	0,159	0,162

К настоящему времени деструкторы глифосата обнаружены как среди грамотрицательных, так и среди грамположительных бактерий, хотя гены, кодирующие С–Р лиазы, чаще обнаруживаются у грамотрицательных бактерий [4, 33]. По данным Кононовой С. В., Несмеяновой М. А. [4], а также Свиридова А. В., Шушковой Т. В. с соавторами [33] глифосат-утилизирующие бактерии были выделены как из загрязненных, так и из незагрязненных гербицидом почв. Это позволяет предполагать, что способность разрывать ковалентную С–Р связь и разлагать органические фосфонаты является эволюционной. Существует множество природных органических фосфонатов (структурные компоненты клеток, формы запасаения фосфора, биоактивные вторичные метаболиты), механизм утилизации которых эволюционно отработан.

Исследования по этим вопросам находятся в начальной фазе во всех развитых странах, имеется множество нерешенных вопросов. Поэтому пока не разработаны коммерческие препараты для безопасной детоксикации глифосата. Хотя некоторые штаммы-деструкторы испытаны в полевых условиях. А некоторые штаммы, показавшие в *in vitro* условиях высокую активность, в полевых условиях оказались неэффективными. Это указывает на необходимость тщательного изучения свойств каждого отдельного штамма ГФ-утилизирующих бактерий [4, 33].

Изучение активности роста *Pseudomonas* spp. в жидкой среде Дворкина-Фостера с глифосатом в качестве единственного источника фосфора. В задачи исследований входило выполнение серии *in vitro* экспериментов по культивированию фосфатрастворяющих *Pseudomonas* spp. и количественная оценка активности их роста при условии повышения содержания глифосата в питательной среде. Для изучения активности роста наиболее адекватно культивирование ризосферных бактерий в жидкой питательной среде Дворкина-Фостера [41]. Это позволяет количественно оценивать их рост в присутствии глифосата и отбирать наиболее эффективные штаммы-деструкторы. Для оптимизации процесса культивирования ризобактерий *Pseudomonas* spp. стандартный состав среды Дворкина-Фостера был нами модифицирован за счет увеличения концентрации источника углерода.

На основании экспериментальных данных по мониторингу роста установлены зависимости плотности популяций фосфатрастворяющих *Pseudomonas* spp. от концентрации глифосата в среде Дворкина-Фостера. Критерием активности роста ризобактерий служили показатели оптической плотности (OD_{500}) инкубационных смесей, которые регистрировали каждые 24–48 часов.

Для удобства выполнения исследований 15 штаммов фосфатрастворяющих бактерий *Pseudomonas* spp. из коллекционного фонда были сгруппированы по принципу близости свойств и активности роста в присутствии глифосата как единственного источника фосфора.

В первую группу ризобактерий вошли перспективные представители *Pseudomonas* spp., показавшие наиболее активный рост в *in vitro* эксперименте при первых двух концентрациях глифосата (0,20 и 0,60 мкг/мл): *Pseudomonas* sp. P-42, *Pseudomonas* sp. P-7, *Pseudomonas* sp. P-6, *Pseudomonas* sp. P-15 и *Pseudomonas* sp. P-11 (рис. 1). При концентрации 1,00 мкг/мл глифосата в жидкой среде отмечается замедление роста и снижение плотности популяций для большинства штаммов этой группы. Наибольшую плотность популяции при концентрации ГФ на уровне 1,00 мкг/мл формировал штамм *Pseudomonas* sp. P-42, который на текущем этапе

скрининга рассматривается как наиболее перспективный. При концентрации 3,0 мкг/мл глифосата в жидкой среде отмечается существенное ингибирование роста протестированных ризобактерий (рис. 1).

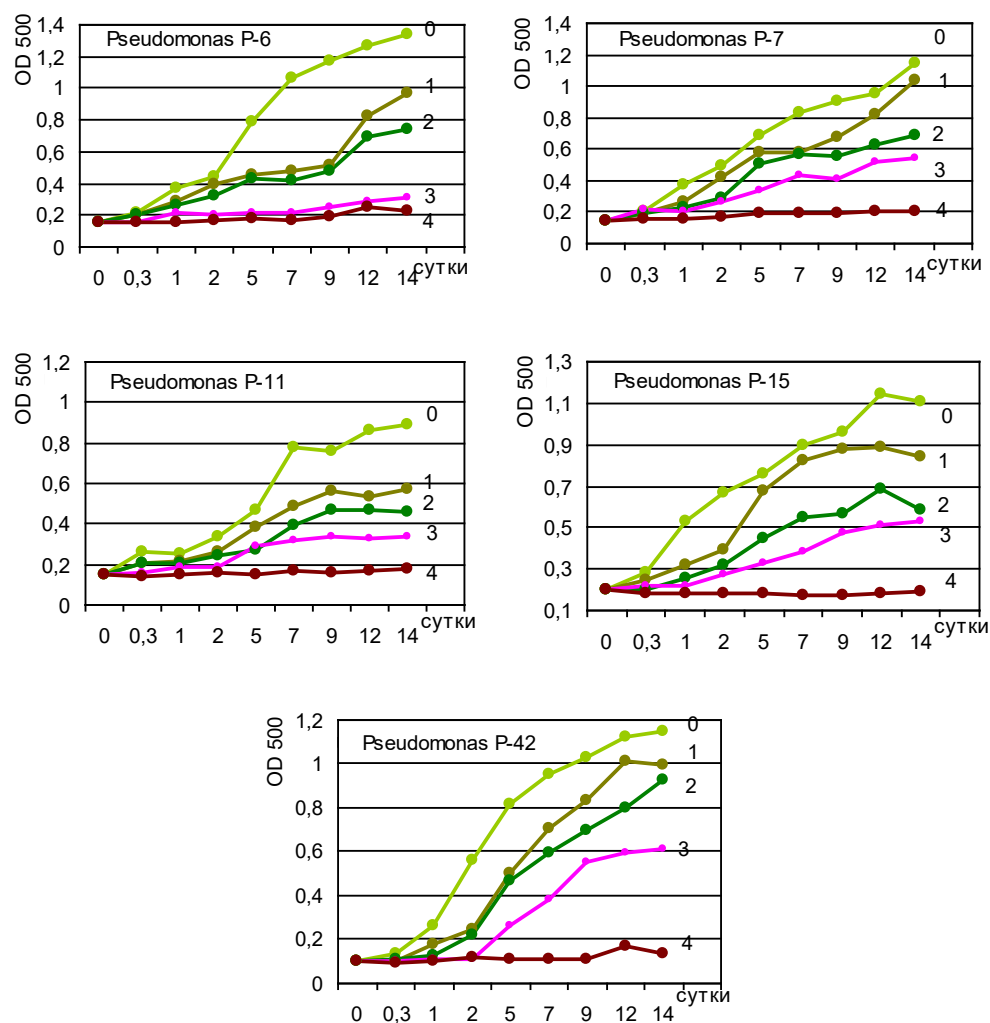


Рис. 1. Зависимости активности роста *Pseudomonas* spp. (P-6, P-7, P-11, P-15, P-42) от концентрации глифосата в жидкой среде Дворкина-Фостера: 0 – контроль без ГФ; 1 – 0,20; 2 – 0,60; 3 – 1,0; 4 – 3,0 мкг ГФ/мл

Для второй группы фосфатрастворяющих бактерий более активный рост также наблюдался в диапазоне концентраций глифосата от 0,2 до 0,6 мкг/мл в жидкой минеральной среде Дворкина-Фостера: *Pseudomonas* sp. P-1, *Pseudomonas* sp. P-9, *Pseudomonas* sp. P-16, *Pseudomonas* sp. P-12 и *Pseudomonas* sp. P-54. Однако плотность популяций перечисленных штаммов была ниже, чем для первой группы фосфатрастворяющих ризобактерий. Увеличение концентрации глифосата до

1,00 и тем более до 3 мкг/мл значительно снижало активность роста этой группы бактерий. По предварительным данным во второй группе в качестве перспективных целевых объектов можно рассматривать штаммы *Pseudomonas* sp. P-12 и *Pseudomonas* sp. P-16 (рис. 2).

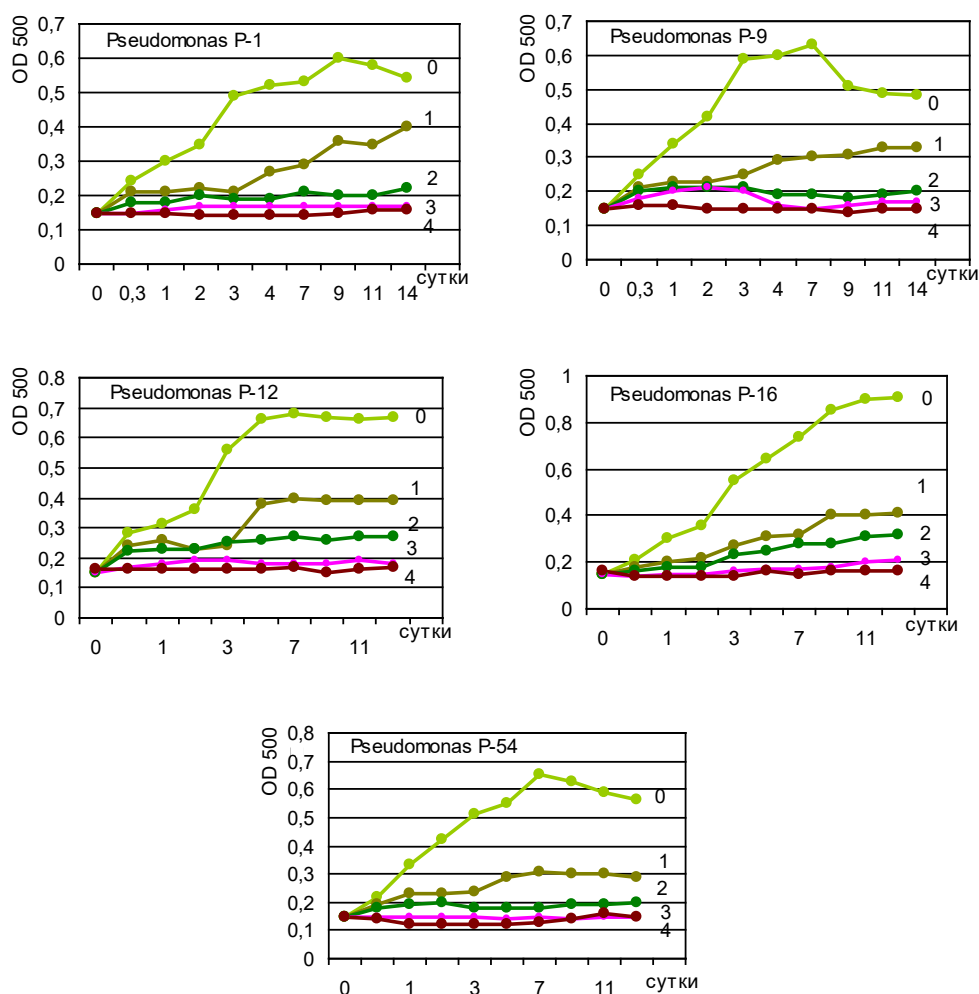


Рис. 2. Зависимости плотности популяций *Pseudomonas* spp. (P-1, P-9, P-12, P-16, P-54) от концентрации глифосата в жидкой среде Дворкина-Фостера: 0 – контроль без ГФ; 1 – 0,20; 2 – 0,60; 3 – 1,0; 4 – 3,0 мкг ГФ/мл

Следующая группа фосфатрастворяющих бактерий включала штаммы *Pseudomonas* sp. P-10, *Pseudomonas* sp. P-19, *Pseudomonas* sp. P-21, *Pseudomonas* sp. P-25 и *Pseudomonas* sp. P-28. Наиболее активный рост ризобактерий также отмечали в диапазоне концентраций от 0,2 до 0,6 мкг/мл глифосата в среде Дворкина-Фостера. По результатам количественного скрининга большая плотность популяции отмечена для штаммов: *Pseudomonas* sp. P-19, *Pseudomonas* sp. P-21

и *Pseudomonas* sp. P-25. Повышение концентрации глифосата в жидкой среде до 1,00 и 3,0 мкг/мл приводило к существенному торможению роста *Pseudomonas* sp. Результаты экспериментов показывают, что в этой группе бактерий наиболее перспективны для дальнейшего тестирования штаммы *Pseudomonas* sp. P-19, *Pseudomonas* sp. P-21 и *Pseudomonas* sp. P-25 (рис. 3).

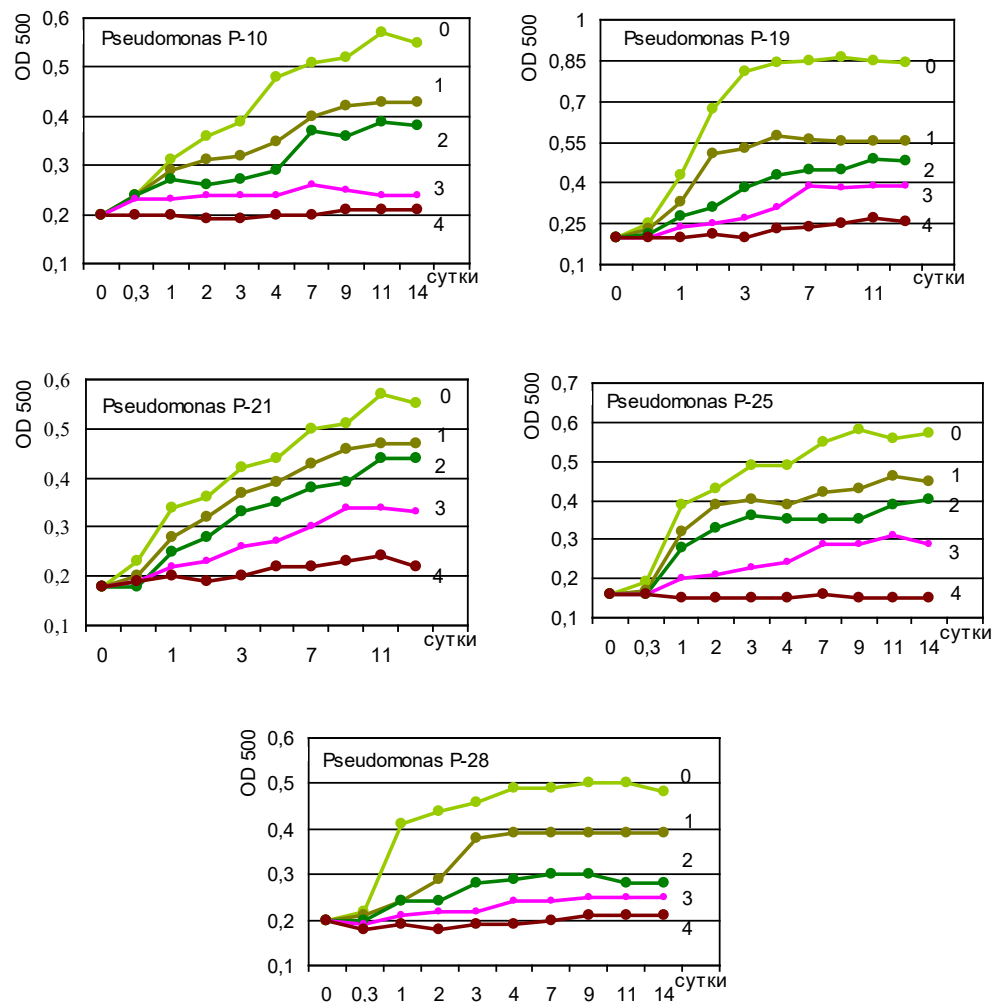


Рис. 3. Зависимости активности роста *Pseudomonas* spp. P-10, P-19, P-21, P-25 и P-28 в жидкой среде Дворкина-Фостера с глифосатом как источником фосфора:
0 – контроль без ГФ; 1– 0,20; 2 – 0,60; 3 – 1,0; 4 – 3,0 мкг ГФ/мл

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен количественный скрининг 15 штаммов фосфатрастворяющих *Pseudomonas* spp. из исследовательской коллекции ризосферных бактерий. По результатам серии экспериментов в жидкой минеральной среде Дворкина-Фостера проведена оценка активности их роста при возрастающей концентрации глифосата как единственного источника фосфора. Установлены общие для изученных ризобактерий закономерности – формирование наибольшей плотности популяций при концентрациях глифосата в диапазоне – 0,20–0,60 мкг/мл; снижение активности роста при повышении концентрации глифосата до 1,00 мкг/мл и значимый спад активности роста при увеличении концентрации ГФ до 3 мкг/мл. Среди протестированных штаммов наибольшая активность роста на глифосате отмечена для пяти штаммов (убывающий ряд): *Pseudomonas* sp. P-42, *Pseudomonas* sp. P-7, *Pseudomonas* sp. P-15, *Pseudomonas* sp. P-6 и *Pseudomonas* sp. P-11; средняя активность – *Pseudomonas* sp. P-19, *Pseudomonas* sp. P-21, *Pseudomonas* sp. P-25 и относительно невысокая активность роста *Pseudomonas* sp. P-10, *Pseudomonas* sp. P-28, *Pseudomonas* sp. P-16, *Pseudomonas* sp. P-12, *Pseudomonas* sp. P-1, *Pseudomonas* sp. P-9 и *Pseudomonas* sp. P-54. Проведен скрининг способности ризобактерий р. *Pseudomonas* утилизировать глифосат в качестве единственного источника азота. Сравнительная оценка активности роста в жидкой минеральной среде Дворкина-Фостера с разными источниками азота (N_0 , $N_{(NH_4)_2SO_4}$ и глифосат) показала, что протестированные штаммы *Pseudomonas* spp. практически не используют глифосат в качестве единственного источника азота для метаболизма. Результаты поэтапного скрининга свидетельствуют, что все коллекционные штаммы *Pseudomonas* spp., метаболизируют глифосат только как источник фосфора, что делает их перспективными целевыми объектами для детоксикации этого гербицида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Carlisle, S. M. Glyphosate in the Environment / S. M. Carlisle, J. T. Trevors // Water, Air and Soil Poll. – 1988. – Vol. 39. – P.409–420.
2. 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.
3. Zhan, H. Recent advances in glyphosate biodegradation / H. Zhan [et al.] // Applied Microbiol. Biotech. – 2018. – Vol. 102. – P. 5033–5043.
4. Кононова, С. В. Фосфонаты и их деградация микроорганизмами / С. В. Кононова, М. А. Несмеянова // Биохимия. – 2002. – Т. 67. – Вып. 2. – С. 220–233.
5. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate / A. H. C. Van Bruggen [et al.] // Science of The Total Environment. – 2018. – Vol. 6. – P. 255–268.
6. Glyphosate: safety risks, biodegradation, and bioremediation / A. Sviridov [et al.] // Current environmental issues and challenges. – 2014. – Springer, Dordrecht. – P. 183–195.
7. Lupi, L. Occurrence of glyphosate and AMPA in an agricultural watershed from the southeastern region of Argentina / L. Lupi [et. al] // Sci Total Environ. – 2015. – Vol. 536. – P. 687–694.
8. Battaglin, W. A. Glyphosate and its degradation product AMPA occur frequently and widely in U.S. soils, surface water, groundwater, and precipitation / W. A. Battaglin,

M. T. Meyer, K. M. Kuivila // J. Amer. Water Res. Assoc. – 2014. – Vol. 50(2).

9. Glyphosate dispersion, degradation, and aquifer (водоносный) contamination in vineyards and wheat fields in the Po Valley, Italy / D. Cecilia [et al.] // Water Research. – 2018. – Vol. 146(1). – P. 37–54.

10. Glyphosate and AMPA in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO. – 2005. – 10 p.

11. *Grandcoin, A.* Aminomethylphosphonic acid (AMPA) in nature waters: its sources, behavior and environmental fate / A. Grandcoin, S. Piel, E. Baur // Water Research. – 2017. – P. 187–197.

12. *Vereecken, H.* Mobility and leaching of glyphosate: A review / H. Vereecken // Pest Management Science. – 2005. – Vol. 61(12). – P. 1139–1151.

13. Leaching of glyphosate and aminomethylphosphonic acid from an agricultural field over a twelve-year period / T. Norgaard [et. al] // Vadose Zone J. – 2014. – Vol. 13(10). – P. 1–18.

14. *Mercurio, P.* Glyphosate persistence in seawater / P. Mercurio [et al.] // Mar Pollut Bull. – 2014. – Vol. 85(2). – P. 385–390.

15. *Annett, R.* Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicides on the freshwater environment / R. Annett, H. R. Habibi, A. Hontela // J. Appl. Toxicol. – 2014. – Vol. 34(5). – P. 458–479.

16. Relevance of urban glyphosate use for surface water quality / I. Hanke [et al.] // Chemosphere. – 2010. – Vol. 81(3). – P. 422–429.

17. *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.

18. *Cessna, A. J.* Residues of glyphosate and its metabolite AMPA in strawberry fruit following spot and wiper applications / A. J. Cessna, N. P. Cain // Can. J. Plant Sci. – 1992. – Vol. 72. – P. 1359–1365.

19. *Шувалова, Н. Е.* Биотехнологические аспекты определения токсичности пестицидов на клеточных и организменных тест-системах: автореф. дис. / Н. Е. Шувалова. – Тверь, 2021.

20. Detection of glyphosate residues in animals and humans / M. Krüger [et al.] // Journal of Environmental & Analytical Toxicology. – 2014. – Vol. 4. – P. 1–8.

21. *Samsel, A.* Glyphosate Suppression of Cytochrom P 450 Enzymes and Amino Acid Biosynthesis by the Gut Microbiome: Pathways to Modern Diseases / A. Samsel, S. Seneff. // Entropy. – 2013 – Vol. 15. – № 4. – P. 1416–1463.

22. Glyphosate is an inhibitor of plant Cytochrome P 450: Functional expression of thlaspi arvensae cytochrome P45071b1/reductase fusion protein in Escherichia coli / D. C. Lamb [et al.] // Biochem. Biophys. Res. Comm. 1998. – Vol. 244. – P. 110–114.

23. *Guilherme, S.* DNA and chromosomal damage induced in fish (*Anguilla anguilla* L.) by aminomethylphosphonic acid (AMPA) – the major environmental breakdown product of glyphosate. / S. Guilherme [et al.] // Environ. Sci. Pollut. Res. – 2014. – Vol. 21(14). – P. 8730–8739.

24. *Benachour, N.* Glyphosate formulations induce apoptosis and necrosis in human umbilical, embryonic, and placental cells / N. Benachour, G. Seralin, // Chemical Research in Toxicology. – 2009. – Vol. 22. – P. 97–105.

25. *Séralini, G.* Differential Effects of Glyphosate and Roundup on Human Placental Cells and Aromatase / G. Séralini, S. Moslemi // Molecular and Cellular Endocrinology. –

2018 – Vol. 178(1–2). – P. 117–131.

26. *Chaufan, G.* Glyphosate commercial formulation causes cytotoxicity, oxidative effects, and apoptosis on human cells: Differences with its active ingredient. / G. Chaufan, I. Coalova, M. Molina // *International Journal of Toxicology*. – 2014. – Vol. 33(1). – P. 29–38.

27. Glyphosate-Based Herbicides Are Toxic and Endocrine Disruptors in Human Cell Lines / C. Gasnier [et al.] // *Toxicology*. – 2009. – Vol. 262(3). – P. 184–191.

28. Cancer incidence among glyphosate-exposed pesticide applicators in the agricultural health study / A. DeRoos [et al.] // *Environmental Health Perspectives*. – 2005. – Vol. 113. – P. 49–54.

29. Ecotoxicological effects of different glyphosate formulations / M. Sihtmäe [et al.] // *Appl. Soil Ecol.* – 2013. – Vol. 72 – P. 215–224.

30. Acute and chronic toxicity of glyphosate compounds to glochidia and juveniles of *Lampsilis siliquoidea* (Unionidae) / R. B. Bringolf [et al.] // *Environmental Toxicology and Chemistry*. – 2007. – Vol. 26. – P. 2094–2100.

31. Relyea, R. A. The lethal impact of Roundup on aquatic and terrestrial amphibians / R. A. Relyea // *Ecological applications*. – 2005. – Vol. 15. – P. 1118–1124.

32. *Gaupp-Berghausen, M.* Glyphosate-based herbicides reduce the activity and reproduction of earthworms and lead to increased soil nutrient concentrations / M. Gaupp-Berghausen, M. Hofer, B. Rewald, J. G. Zaller // *Scientific reports*. – 2015. – Vol. 5. – P. 12886–12890.

33. Микробная деградация гербицида глифосата (обзор) / А. В. Свиридов [и др.] // *Прикладная биохимия и микробиология*. – 2015. – Т. 51. – Вып. 2. – С. 183–190.

34. Скрининг зональных изолятов *Pseudomonas* spp. по устойчивости к глифосату и способности утилизировать его как источник углерода и фосфора / Н. А. Михайловская [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. – 2021. – № 1(38). – С. 225–231.

35. Metabolism of Glyphosate in *Pseudomonas* sp. strain Lbr. / G. S. Jacob [et al.] // *Appl. Environ. Microbiol.* – 1988. – Vol. 54(12). – P. 2953–2958.

36. *White, A. K.* Two C–P lyase operons in *Pseudomonas stutzeri* and their roles in the oxidation of phosphonates, phosphate and hypophosphite / A. K. White, W. W. Metcalf // *J. Bacteriol.* – 2004. – Vol. 186. – P. 4730–4739.

37. *Kishore, G. M.* Degradation of glyphosate by *Pseudomonas* sp. PG2982 via a sarcosine intermediate / G. M. Kishore, G. S. Jacob // *J. Biol. Chem.* – 1987. – Vol. 262(25). – P. 12164–12168.

38. *Dick, R. E.* Control of glyphosate uptake and metabolism in *Pseudomonas* sp. 4ASW / R. E. Dick, J. P. // *Quinn FEMS Microbiology Letters*. – 1995. – Vol. 134. – P. 177–182.

39. Glyphosate toxicity and the effects of long term vegetation control on soil microbial communities / M. Busse [et al.] // *Soil Biol. Biochem.* – 2001. – Vol. 33. – P. 1777–1789.

40. Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н. А. Михайловская [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. – 2007. – № 1(38). – С. 225–231.

41. Dworkin, M. Experiments with some microorganisms which utilized methane and hydrogen / M. Dworkin, J. W. Foster // *J. Bacteriol.* – 1958. – Vol. 75. – P. 592–603.

**SCREENING OF PHOSPHORUS SOLUBILIZING BACTERIA
PSEUDOMONAS SPP. CULTURAL GROWTH ACTIVITY
IN DEPENDENCE ON GLYPHOSATE CONTENT IN LIQUID
DWORKIN-FOSTER MEDIUM**

**N. A. Mikhailouskaya, T. B. Barashenko,
T. V. Pogiritskaya, S. V. Dyusova**

Summary

Screening of 15 strains of phosphorus solubilizing rhizobacteria *Pseudomonas* spp. by cultivation in liquid Dworkin-Foster medium with glyphosate as phosphorus source showed common dependence of bacteria growth on concentration of glyphosate. High population density was observed in diapason of 0,20–0,60 μM of glyphosate per ml of medium, the increase of glyphosate concentration resulted in the significant reduction of population densities. Screening showed that phosphorus solubilizing rhizobacteria *Pseudomonas* spp. virtually not capable of glyphosate utilization as a sole nitrogen source for metabolism.

Поступила 28.04.23

РЕФЕРАТЫ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4:631.459

Устинова А. М., Цырибко В. Б., Логачев И. А., Митькова А. А., Воронович С. Д. Система нормативных показателей для прогноза и оценки эколого-экономических потерь в результате эрозионных процессов // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1(70). – С. 7.

Результаты, полученные как в полевых стационарах, так и в ходе маршрутных исследований, позволили разработать нормативы потерь элементов питания, которые зависят, в первую очередь, от степени эрозионной деградации почв. Снижение содержания гумуса варьируется в пределах 5–15 % на слабоэродированных почвах, среднеэродированных – 15–30 %, сильноэродированных – 30–40 %. Потери подвижного фосфора и калия на слабоэродированных почвах находится в диапазоне 10–20 %, среднеэродированных – 20–30 %, сильноэродированных – 30–50 %.

На основании оценки недоборов урожайности от эрозионной деградации все культуры сгруппированы по степени устойчивости к процессам водной эрозии следующим образом: высокая – однолетние травы, многолетние травы; средняя – озимые и яровые зерновые, озимый и яровой рапс, лен-долгунец, сахарная свекла; низкая – кукуруза.

Табл. 6. Рис. 1. Библиогр. 9.

УДК 631.452:633.41

Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В., Матыченков Д. В., Дыдышко С. В., Ананько Е. Д. Пригодность почв пахотных земель Беларуси для возделывания сахарной свеклы // Почвоведение и агрохимия. – 2023 – № 1(70). – С. 16.

В статье проведен анализ агроэкологических условий для возделывания сахарной свеклы, подсчитаны площади пригодных почв по областям и составлена картосхема их распространения по административным районам. В республике имеется значительный резерв для расширения посевов сахарной свеклы и подбора участков для ее оптимального размещения. На основании урожайных данных за 2018–2022 гг. рассчитан коэффициент устойчивости получения урожая сахарной свеклы. Минская и Могилевская области относятся к зоне допустимой устойчивости, а Брестская и Гродненская области – к зоне нормативной устойчивости получения урожая сахарной свеклы. Полученные результаты исследования являются научной основой для планирования посевных площадей по областям и районам республики для формирования их оптимальной структуры.

Табл. 2. Рис. 3. Библиогр. 10.

УДК 631.4

Дыдышко С. В., Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В., Шульгина С. В. Методические аспекты оценки агроэкологического состояния почв в условиях длительного сельскохозяйственного использования // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1(70). – С. 24.

Представлены методические аспекты оценки агроэкологического состояния зональных дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава в условиях длительного сельскохозяйственного использования. В основе оценки применены расчетные величины отклонений показателей гумус-гранулометрических отношений и буферности в кислотном и щелочном интервале почв пахотных земель от исходного (естественного) состояния с последующим определением степени изменения величины того или иного критерия («слабая», «умеренная», «сильная» и «очень сильная») и вычислением коэффициентов трансформации и устойчивости почв. Полученные критерии могут быть использованы для совершенствования системы показателей оценки и контроля агроэкологического состояния почв в учебном процессе, при проведении научных, мониторинговых исследований, разработке мероприятий по сохранению плодородия почв и их рациональному использованию, построению моделей плодородия почв.

Табл. 4. Рис. 3. Библиогр. 29.

УДК 631.4:528.913

Цырибко В. Б., Устинова А. М., Логачев И. А., Юхновец А. В., Митькова А. А., Карабев Н. А. Установление параметров устойчивости почв сельскохозяйственных земель к засухам и составление цифровых карт пространственного распределения выявленных факторов (на примере Каменецкого района) // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1(70). – С. 38.

В статье приведена разработанная шкала для группировки основных типов почв республики по степени устойчивости к засухам и засушливым явлениям в зависимости от почвенно-гидрологических констант, гранулометрического состава почв и подстилающей породы (параметров устойчивости). На основании созданных цифровых карт параметров устойчивости, а также разработанной шкалы устойчивости почв, в программной среде QGIS был создан картографический материал, отражающий распределение почв Каменецкого района по группам устойчивости к засухам и засушливым явлениям. Установлено, что почвенный покров Каменецкого района характеризуется высоким потенциальным риском проявления засух и засушливых явлений. Так, удельный вес наименее устойчивых и слабоустойчивых почв в общей площади района составляет 62,9 % и 41,0 % от сельскохозяйственных земель. Установлено, что наименее устойчивые к засухам и засушливым явлениям почвы относятся к категории земель несельскохозяйственного назначения.

Табл. 4. Рис. 5. Библиогр. 5.

УДК 631.445.54

Чербарь В. В., Лях Т. Г. Восстановление качественного состояния деградированных черноземов выщелоченных Центральной Молдовы путем комбинирования агротехнических и фитомелиоративных приемов // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1(70). – С. 48.

Исследования по восстановлению качественного состояния деградированного пахотного слоя черноземов выщелоченных (камбиковых) Центральной Молдовы путем комбинированного использования агротехнических и фитомелиоративных приемов показали, что при внесении 2-х урожаев зеленой массы вики на поле, использованном как «занятый пар» под озимой и яровой викой, в почву были внесены 12,4 т/га сухой массы вики из которой смогли образоваться 4 т/га гумуса. В сухой массе органических остатков вики содержится 310 кг/га биологического азота, 60 % которого симбиотического происхождения. В слое почвы 0–10 (12) см среднее содержание органического вещества увеличилось на 0,20 %; сформировался положительный баланс гумуса и азота, существенно улучшилось физическое состояние этого слоя.

Табл. 7. Рис. 5. Библиогр. 21.

2. ПЛОДРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.8:631.445

Богдевич И. М., Путятин Ю. В., Станилевич И. С., Довнар В. А. Динамика и перспективы обеспеченности кальцием пахотных и луговых почв Беларуси // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1 (70). – С. 59.

Анализ данных агрохимического обследования почв (1989–2020 гг.) показал приемлемый уровень обеспеченности пахотных и луговых почв обменным кальцием в результате системного известкования кислых почв. В настоящий период 81,9 % площади пахотных и 93,1 % улучшенных луговых почв характеризуется оптимальным и высоким содержанием обменного кальция. В связи со значительным снижением потребных объемов известкования в последние годы, наблюдается заметное подкисление пахотных почв в большинстве районов республики. Это может привести к потере запаса обменного кальция и деградации плодородия почв.

Обсуждаются два сценария прогноза обеспеченности пахотных почв обменным кальцием на перспективу до 2035 г. по областям Беларуси: 1 – оптимистический, при известковании по потребности, доля кислых, ($\text{pH} < 5,0$) почв уменьшится с 9,8 до 6,1 %, а доля слабообеспеченных кальцием почв снизится с 18,1 до 12,9 %; 2 – инерционный сценарий недопустим, ибо при длительном дефиците объемов известкования, 40 % от потребности, средневзвешенное содержание обменного Са снизится на 31 %, а доля слабообеспеченных кальцием почв повысится до 44,9 %, что обусловит недобор урожайности наиболее ценных культур: сахарной свеклы, рапса, пшеницы и кукурузы.

Табл. 9. Рис. 4. Библиогр. 21.

УДК 631.8:631.445

Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Кирдун Т. М., Симанкова Ю. А., Торчило М. М. Влияние агротехнологических приемов на содержание и запасы мортмассы в дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1(70). – С. 75.

Проведена оценка влияния приемов обработки почвы и систем удобрения на содержание и запасы мортмассы и C_{MM} в слоях 0–10 см и 10–20 см супесчаной почвы, установлена их динамика в течение вегетации озимой пшеницы. В период наблюдений наиболее высокие показатели в опыте отмечены при дисковании в слое 0–10 см весной в начале вегетации при органоминеральной системе удобрения с обработкой соломы микробиологическим удобрением Жыцень или внесении компенсирующей дозы азота в виде КАС (содержание мортмассы было на уровне 5200 мг/кг, углерода – 1298–1322 мг/кг; запасов – 6812 и 1112–1186 кг/га соответственно).

Табл. 1. Рис. 3. Библиогр. 19.

УДК 631.83:633.11:631.445

Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Симанков О. В. Калийное питание яровой пшеницы на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1(70). – С. 89.

Приведены результаты исследований, которые при возделывании яровой пшеницы позволили установить снижение содержания доступного калия в высококультуренной почве на 16–26 % в период от посева до флаг-листа – колошения, обусловленное потреблением калия растениями. Во второй половине вегетации (колошение – полная спелость) содержание доступного калия в почве в большей степени зависело от содержания влаги в 0–20 см слое почвы (η 0,90–0,95). Отмечено повышение содержания доступного калия в почве на 8–40 мг/кг почвы, свободного калия в растениях на 0,16–0,68 %, общего калия на 0,04–0,80 % в зависимости от фазы роста и развития яровой пшеницы при внесении 120 кг д. в./га азота на фоне $P_{30}K_{90}$. Влияния калийных удобрений на данные показатели не установлено.

Табл. 2. Рис. 4. Библиогр. 15.

УДК 631.8:633.15:631.445

Мезенцева Е. Г., Кулеш О. Г., Симанков О. В., Грачева А. А., Зенькова С. М. Эффективность систем удобрения кукурузы на дерново-подзолистой суглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1(70). – С. 100.

В технологическом опыте на дерново-подзолистой суглинистой почве наиболее эффективным приемом при возделывании кукурузы на зеленую массу явилось применение $N_{90+30+30}$ в сочетании с некорневой подкормкой посевов микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор и комплексом двукратных некорневых подкормок стимуляторами роста растений Экогум АФ и Экосил, Экосил Плюс на фоне внесения 60 т/га

навоза КРС, что обеспечило получение с 1 га 19,3 т к. ед., 22,7 ц белка, 203 долл. условной прибыли при рентабельности 66 %. При такой системе удобрения 1 кг азотных удобрений окупается 170 ц зеленой массы кукурузы, себестоимость прибавки 1 т к. ед. составляет 28 долл., поддерживается достигнутый уровень содержания в почве подвижных соединений фосфатов и калия.

Изучена возможность возделывания кукурузы в условиях дефицита органических удобрений. Применение минеральной системы удобрения ($N_{90+30+30}P_{20}K_{60}$) в сочетании с микроудобрением и двукратными некорневыми подкормками посевов стимуляторами роста обеспечивает получение 15,7 т/га к. ед., 22,7 ц/га белка, 60 долл./га условной прибыли при рентабельности 37 % и окупаемости 1 кг минеральных удобрений 62 ц зеленой массы кукурузы. Предполагается, что такая система удобрения ведет к деградации почвенного плодородия, в связи с чем применять ее при возделывании кукурузы допустимо не более чем в одной ротации севооборота.

Табл. 5. Рис. 1. Библиогр. 10.

УДК 631.8:633.112:631.445

Рак М. В., Пукалова Е. Н., Гузова Н. С., Гук Л. Н., Корсакова В. В. Эффективность микроудобрений при возделывании ярового ячменя на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1(70). – С. 112.

В статье представлены результаты исследований по эффективности применения микроудобрений МикроСтим при возделывании ярового ячменя на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве. Установлено, что наиболее эффективно совместное применение в некорневую подкормку ярового ячменя меди и марганца в дозах $Cu_{0,025}Mn_{0,025}$, обеспечивающее повышение урожайности на 6,9 ц/га, содержание белка в зерне – на 1,7 %, получение прибыли – 43,2 USD/га.

Табл. 4. Рис. Библиогр.9.

УДК 631.81:633.31:631.445

Рак М. В., Пукалова Е. Н., Гузова Н. С., Гук Л. Н., Корсакова В. В. Влияние цинкового удобрения на урожайность и качество люцерны при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1(70). – С. 119.

В статье представлены результаты исследований по эффективности применения цинковых удобрений при возделывании люцерны в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком. Установлено, что, некорневые подкормки люцерны цинковым удобрением эффективны только при низкой обеспеченности почвы подвижным цинком. Отмечено увеличение содержания белка и цинка в растениях люцерны при повышении содержания элемента в почве и внесении микроудобрения.

Табл. 4. Библиогр.9.

УДК 631.8:631.559:633.11

Вильдфлуш И. Р., Кулешова А. А. Влияние макро-, микроудобрений и регулятора роста на урожайность, структуру урожая и качество зерна яровой пшеницы // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1(70). – С. 126.

Разработка и внедрение в производство новых форм комплексных удобрений, содержащих питательные вещества в сбалансированном количестве (макро- и микроэлементы), позволяет оптимизировать питание растений и при этом снизить затраты на их применение. В данной статье представлены результаты исследований по применению новых форм макро-, микроудобрений и регуляторов роста отечественного и зарубежного производства на линейный рост, структуру урожая и качество зерна яровой пшеницы на дерново-подзолистом легкосуглинистой почве.

Максимальная высота растений (111,0 и 111,9 см), наибольшее количество продуктивных стеблей (563 и 583 шт./м²), масса 1000 зерен (39,8 и 39,9 г), максимальная урожайность (69,7 и 70,3 ц/га) зерна яровой пшеницы отмечена в вариантах МикроСтим-Медь Л и Нутривант Плюс на фоне N₆₀₊₃₀₊₃₀ P₇₀ K₁₂₀.

Наиболее высокое содержание сырого белка в зерне яровой пшеницы отмечено в вариантах с применением N₆₀ P₆₀ K₉₀, N₆₀₊₃₀ P₆₀ K₉₀ – 13,3–13,6 %. Стекловидность колебалась от 69,7 до 80,8 % и по вариантам существенно не повышалась. Максимальное содержание клейковины отмечено в вариантах с применением МикроСтим-Медь Л и Нутривант Плюс на фоне N₆₀₊₃₀₊₃₀ P₇₀ K₁₂₀ – 33,2 и 34,4 %.

Табл. 3. Библиогр. 9.

УДК 632.15:579.64

Михайловская Н.А., Барашенко Т. Б., Погирницкая Т. В., Дюсова С. В. Скрининг фосфатрастворяющих ризобактерий *Pseudomonas* spp. по активности культурального роста в зависимости от содержания глифосата в жидкой среде Дворкина-Фостера // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1(70). – С. 136.

Проведен скрининг 15 штаммов фосфатрастворяющих *Pseudomonas* spp. по активности роста в жидкой минеральной среде Дворкина-Фостера с глифосатом как источником фосфора. Установлены общие для бактерий закономерности – формирование наибольшей плотности популяций при концентрациях глифосата в диапазоне – 0,20–0,60 мкг/мл; снижение активности роста при повышении концентрации глифосата до 1,00 мкг/мл и значимый спад активности роста при увеличении концентрации ГФ до 3 мкг/мл. Сравнительная оценка активности роста в жидкой среде Дворкина-Фостера с разными источниками азота показала, что протестированные штаммы *Pseudomonas* spp. практически не используют глифосат в качестве единственного источника азота для метаболизма.

Табл. Рис. 3. Библиогр. 41.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия», согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 28.01.2022 № 14 (с изменениями, внесенными приказом ВАК от 07.02.2022 № 25, от 31.05.2022 № 171, от 12.08.2022 № 222, от 24.08.2022 № 227, от 20.09.2022 № 363), включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований. Направляемые статьи должны являться оригинальными материалами, не опубликованными ранее в других печатных изданиях.

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

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

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

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

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

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

Редакция оставляет за собой право вносить в текст редакционную правку.

ДЛЯ ЗАМЕТОК