

ISSN 0130-8475

Институт почвоведения и агрохимии

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1961 г.

**№ 1(60)
Январь–июнь 2018 г.**

Минск
2018

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 *В.В. ЛАГА*

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

Т.Н. АЗАРЕНОК, С.А. БАЛЮК, Н.Н. БАМБАЛОВ, И.М. БОГДЕВИЧ,
И.Р. ВИЛЬДФЛУШ, С.А. КАСЬЯНЧИК, Н.В. КЛЕБАНОВИЧ,
Н.А. МИХАЙЛОВСКАЯ, Г.В. ПИРОГОВСКАЯ,
Ю.В. ПУТЯТИН, Н.Н. СЕМЕНЕНКО, Т.М. СЕРАЯ

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

1(60)

Январь–июнь 2018 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, 62.
Тел. (017) 212-08-21, факс (017) 212-04-02
E-mail brissainform@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Шибут Л.И., Азаренок Т.Н. Почвенное районирование территории Беларуси: история, характеристика, использование 9

Цыбулько Н.Н., Романенко С.С., Юхновец А.В., Тулина А.С. Стабильность органического вещества дерново-подзолистых почв, в разной степени подверженных эрозионной деградации 17

Устинова А.М., Цырибко В.Б., Юхновец А.В., Жабровская Н.Ю. Динамика основных физических свойств пахотного горизонта дерново-подзолистых эродированных почв на лессовидных суглинках в процессе их сельскохозяйственного использования 30

Шульгина С.В., Азаренок Т.Н., Матыченкова О.В., Шибут Л.И., Матыченков Д.В., Дыдышко С.В. Специфика антропогенной трансформации свойств отдельных типов почв пахотных земель Беларуси 42

Алексеев В.Е. Сравнительная характеристика минералогического состояния серых лесных почв на покровных отложениях Молдовы и Среднерусской возвышенности 49

Алексеев В.Е. Серые лесные почвы на покровных отложениях Молдовы и Среднерусской возвышенности: баланс минералов 58

Солоха М.А. Определение агрохимических показателей почвы на основе аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата 67

Фатеев А.И., Рябченко В.В. Содержание микроэлементов и лабильного органического вещества в структурных агрегатах при разных видах использования 76

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Пироговская Г.В., В.В. Лапа, Черняков Д.В., Ермакович Н.Н. Разработка, производство и применение комплексных удобрений в сельском хозяйстве Республики Беларусь 87

Мезенцева Е.Г., Кулеш О.Г., Симанков О.В., Шедова О.А. Оценка эффективности систем удобрения ярового ячменя в зависимости от целевого назначения зерна 108

Цыбулько Н.Н., Шашко А.В. Эффективность применения минеральных удобрений под яровую пшеницу на антропогенно-преобразованной торфяной почве	116
Богатырева Е.Н., Серая Т.М., Юхновец А.В., Кирдун Т.М., Торчило М.М. Агроэкологическая оценка нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния животноводческих комплексов	126
Анисимова Т.Ю. Баланс NPK в севообороте при использовании органических удобрений на основе торфа	143
Артемьева Е.С., Скрыльник Е.В. Эффективность применения жидких органоминеральных удобрений под яровой ячмень в условиях изменения климата	148
Касатиков В.А., Шабардина Н.П. Влияние систематического применения осадка городских сточных вод, известкования на агроэкологические свойства почвы, урожайность зерновых культур и их макро-элементный состав в длительном опыте	155
Семененко Н.Н., Каранкевич Е.В. Влияние систем применения удобрений и других агротехнологических приемов на урожайность зерна и вынос элементов питания кукурузой, возделываемой на антропогенно-преобразованных торфяных почвах Полесья	162
Путятин Ю.В., Богдевич И.М., Сидорейко Н.В., Манько П.С. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы на накопление ⁹⁰ Sr растениями кукурузы	171
Рак М.В., Титова С.А., Пукалова Е.Н., Николаева Т.Г., Юхновец А.В., Артюх Ю.А. Эффективность некорневых подкормок жидкими микроудобрениями МикроСтим при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах.....	180
Рак М.В., Николаева Т.Г., Титова С.А., Гук Л.Н. Влияние микроудобрения МикроСтим-Цинк на урожайность и качество зерна озимой пшеницы при различной обеспеченности почвы цинком.....	193
Михайловская Н.А., Цыбулько Н.Н., Юхновец А.В., Устинова А.М., Барашенко Т.Б. Влияние бинарного инокулянта <i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i> на урожайность и качество озимой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах	201

Персикова Т.Ф., Радкевич М.Л. Влияние условий питания на химический состав продукции и вынос элементов питания люпином узколистным	211
Богдевич И.М., Путятин Ю.В., Станилевич И.С., Довнар В.А., Манько П.С. Влияние возрастающих уровней обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием на урожайность гороха	221
Вильдфлуш И.Р., Малашевская О.В. Влияние макро-, микроудобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на урожайность и качество семян посевного гороха	228
Василенко Р.Н. Эффективность использования карбамидаммиачной смеси (КАС) при выращивании сорго сахарного	238
Емелин В.А. Влияние доз минеральных удобрений и возраста посевов на фотосинтетические показатели роста и урожайность семян сильфии пронзеннолистной при вегетативном размножении.....	243
Сороко В.И. К вопросу о пригодных для возделывания люцерны почвах (аналитический обзор).....	254
Рефераты	266
Правила для авторов	277

CONTENTS

1. SOIL RESOURCES AND THEIR RATIONAL USE

Shibut L.I., Azarenok T.N. Soil zoning of the territory of Belarus: history, characteristics, use.....	9
Tsybulko N.N., Romanenko S.S., Yukhnovets A.V., Tulina A.S. Stability of organic material of sod-podzolic soils to the different degree of erosion degradation.....	17
Ustinova A.M., Tsyrybko V.B., Yuhnovec A.V., Zhabrovskaya N.Yu. Dynamic of the basic physical properties of the arable horizon of sod-podzolic eroded soils on loesslike loams under their agricultural using	30
Shul'gina S.V., Azarenok T.N., Matychenkova O.V., Shibut L.I., Matychenkov D.V., Dydysenko S.V. Specificity of anthropogenic transformation of the properties of some soil types in the arable lands of Belarus	42
Alekseev V.E. Comparative characteristics of the mineralogical status of gray forest soils on the covering sediments of Moldova and the central russian upland.....	49
Alekseev V.E. Gray forest soils on the covering sediments of Moldova and the central russian upland: the balance of minerals	58
Solokha M.A. Determination agrochemical soil indicators based on uav aerophoto	67
Fatieiev A.I., Riabchenko V.V. Content of microelements and labile organic matter in structural aggregates for different type of use	76

2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION

Pirahouskaya H.V., Lapa V.V., Chernyakov D.V., Ermakovich N.N. Development, production and use of complex fertilizers in the agricultural sector of the Republic of Belarus	87
Mezentseva E.G., Kulesh O.G., Simankov O.V., Shedova O.A. Evaluation of the effectiveness of fertilization systems of spring barley depending on the purpose of grain.....	108
Tsybulka N.N., Shashko A.V. Efficiency of application of mineral fertilizers for spring wheat on anthropogenic-transformed peat soil.....	116

Bogatyrova E.N., Seraya T.M., Yukhnovets A.V., Kirdun T.M., Torchilo M.M. Agroecological estimation of loads of liquid manure of cattle and pig manure runoff on the content of heavy metals in sod-podzolic soils in the zone of influence of livestock complexes.....	126
Anisimova T.Yu. The balance of NPK in the crop rotation, using organic fertilisers based on peat	142
Artemyeva K.S., Skrylnyk E.V. Efficiency of application of liquid organo- mineral fertilizers under spring barley in the conditions of climate change	148
Kasatkov V.A., Shabardina N.P. The influence of the systematic application of sludge of municipal wastewater liming on agroecological properties of the soil, the yield of grain crops and their macronutrient composition on long experience...	155
Semenenko N.N., Karankevich E.V. The influence the systems of fertilizers and other agrobiotechnologies methods on grain yield and nutrient removal by corn grown on anthropogenically transformed peat soils of Polesye region	162
Putyatin Yu.V., Bogdevitch I.M., Sidoreiko N.V., Manko P.S. Influence of agrochemical properties of sod-podzolic sandy soil on ⁹⁰ Sr accumulation by corn plants	171
Rak M.V., Titova S.A., Pukalova E.N., Nikolaeva T.G., Yukhnovets A.V., Artyukh Yu.A. Efficiency of using non-root dressings with liquid microfertilizers MicroSteam in the cultivation of agricultural crops on sod-podzolic soils.....	180
Rak M.V., Nikolaeva T.G., Titova S.A, Hooke L.N. Influence of microfertilizer MicroStim-Zinc on productivity and quality of winter wheat grain under different zinc soil availability	193
Mikhailovskaya N.A., Tsybulko N.N., Yukhnovets A.V., Ustinova A.M., Barashenko T.V. Effect of binary inoculant <i>A. brasilense</i> + <i>B circulans</i> on yield and quality winter wheat growing on eroded sod-podzolic loamy soils	201
Persikova T.F., Radkevich M.L. Influence of food conditions on the chemical composition of products and the removal of food items lupine narrow-leaved.....	211
Bogdevitch I.M., Putyatin Yu.V., Stanilevich I.S., Dovnar V.A., Manko P.S. Effect of exchangeable magnesium supply of sod-podzolic light loamy soil on the pea's grain yield.....	221
Vildflush I.R., Malashevskaya O.V. The influence of macro-, micronutrients, growth regulators, and inoculant on yield and seed quality of seed peas	228
Vasiltnko R.N. The efficiency of using urea-ammonium nitrate (UAN) in the cultivation of sweet sorghum	238

Yemelin V.A. Influence of doses of mineral fertilizers and crops age on photosynthetic indicators of growth and yield of seeds silfium perfoliatum in vegetative multiplication.....	243
Soroko V.I. To the question of soils suitability for alfalfa cultivation (analytical review)	254
Summaries	266
Instructions for authors.....	277

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4

ПОЧВЕННОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ: ИСТОРИЯ, ХАРАКТЕРИСТИКА, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Л.И. Шибут, Т.Н. Азаренок

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

Важным условием рационального использования почвенно-земельных ресурсов является тщательный учет природных особенностей местности и установление территориальных единиц, однотипных для сельскохозяйственной деятельности. Поэтому проведению районирования территории Республики Беларусь с выделением природных районов, однородных в почвенном, климатическом и геоморфологическом отношении, всегда уделялось большое внимание. При этом первостепенную роль в выполнении работ по районированию играл почвенный покров.

Исследования по почвенному районированию Беларуси начали развиваться в 40–50-е годы прошлого века (И.С. Лупинович, А.Г. Медведев, Н.П. Булгаков, В.Н. Четвериков и др.). Однако все схемы районирования тех лет строились в основном на почвенных картах мелкого масштаба. В результате проведенных работ и обобщения имеющихся на то время материалов Н.П. Булгаковым и В.Н. Четвериковым было разработано почвенно-климатическое районирование, которое было опубликовано в книге «Почвы БССР» (1952). Согласно этому районированию на территории республики выделено 6 почвенно-климатических округов, объединяющих 22 почвенных района [1]. В почвенно-климатические округа выделялись сравнительно крупные участки территории республики, характеризующиеся генетически однородными формами рельефа и одинаковыми климатическими условиями. В почвенные районы были объединены более мелкие участки территории, характеризующиеся однородным сочетанием почв или почвенных комплексов, образовавшихся в условиях однородного сочетания форм рельефа.

В 1957–1964 гг. в республике проведены крупномасштабные (масштаба 1:10 000) почвенные обследования сельскохозяйственных земель (первый тур), в результате которых все колхозы и совхозы получили материалы, содержащие полную характеристику почв их территории (почвенные карты, картограммы агропроизводственных групп почв и рационального использования земель, агрохимические картограммы и почвенные очерки). Впоследствии на основании этих материалов были составлены районные почвенные карты масштаба 1:50 000 (1965–1967 гг.), областные почвенные карты масштаба 1:200 000 (1969–1970 гг.) и республиканская почвенная карта масштаба 1:600 000 (1977 г.). В результате проведения этих работ был собран обширный фактический материал, дающий

исчерпывающую количественную и качественную характеристику почв, уточняющий их генезис.

Основываясь на обобщении результатов первого тура крупномасштабных почвенных обследований, в начале 70-х годов XX века в БелНИИ почвоведения и агрохимии Н.И. Смяном и И.Н. Соловей была разработана схема почвенно-географического районирования, согласно которой территория республики разделена на 3 провинции, 7 округов и 20 районов [2]. Наиболее крупной таксономической единицей этого районирования являются почвенные провинции, которые занимают большие территории и вытянуты в широтном направлении. Всего было выделено три провинции: северная (Прибалтийская), центральная (Белорусская), южная (Полесская). В свою очередь каждая почвенная провинция делится на почвенно-климатические округа: северная – на два (северо-западный и северо-восточный), центральная – на три (западный, центральный и восточный), южная – на два (юго-западный, юго-восточный). Далее почвенно-климатические округа делятся на агропочвенные районы, а некоторые из районов – на агропочвенные подрайоны. Подробная схема почвенно-географического районирования, а также полная характеристика провинций, округов, районов и подрайонов, приведена в монографии «Почвы Белорусской ССР» (1974). Почвенно-географическое районирование использовалось при планировании сельскохозяйственного производства, при установлении зон специализации сельского хозяйства, для проведения других видов районирования и решения вопросов рационального использования почвенных ресурсов.

В 70-е и 80-е годы прошлого века в республике были широко развернуты работы по мелиорации заболоченных земель, проведению культуртехнических мероприятий и вовлечению в сельскохозяйственный оборот новых площадей, что привело к трансформации земельных угодий, изменению компонентного состава почвенного покрова и, как следствие, изменению условий для ведения сельского хозяйства. Примерно в эти же годы был проведен второй тур крупномасштабного почвенного обследования сельскохозяйственных земель (1968–1986 гг.), который отразил все эти изменения.

В этот же период в БелНИИ почвоведения и агрохимии начались исследования по изучению пригодности почв под отдельные сельскохозяйственные культуры, появились новые данные о группировке почв по пригодности для возделывания культур [3, 4]. Поэтому возникла необходимость совершенствования ранее разработанной схемы почвенного районирования с учетом экологических условий ведения сельскохозяйственного производства. Такое районирование получило название почвенно-экологическое. Основной таксономической единицей этого районирования является почвенно-экологический район, характеризующийся сравнительной однородностью условий для ведения сельскохозяйственного производства.

Работы по почвенно-экологическому районированию территории Беларуси начались в БелНИИ почвоведения и агрохимии в 90-х годах XX века и проводились в два этапа. Сначала были составлены схемы почвенно-экологического районирования по областям [5–8], а затем на основании обобщения и генерализации областных схем составлялась республиканская схема почвенно-экологического районирования [9–11].

Выделение почвенно-экологических районов основывалось на учете следующих показателей: характер почвенного покрова (тип почв, их гранулометрический

состав, степень увлажнения), рельеф территории, агроклиматические условия, агротехнологическое состояние земель (эродированность, завалуненность почв, средний размер обрабатываемых участков), состав и соотношение земельных угодий и их бонитет, пригодность почв для возделывания различных сельскохозяйственных культур. Для учета пространственной разобщенности почвенно-экологических районов выделялись почвенно-экологические ареалы (или подрайоны) [11, 12].

Тщательный анализ имеющихся данных, изучение вспомогательных картографических материалов (республиканская, областные и районные почвенные карты, гипсометрические карты, карта растительности, геоморфологическая карта) позволили установить границы почвенно-экологических районов и отразить их на планово-картографической основе. Всего на территории республики было выделено 40 почвенно-экологических районов, которые объединены в три почвенно-экологические провинции: северную (Поозерье), центральную (Белорусская гряда с прилегающими равнинами), южную (Полесье) [10, 11]. Границы провинций были уточнены по сравнению с предыдущим (почвенно-географическим) районированием, в некоторой степени поменялись и их названия. Это почвенно-экологическое районирование явилось базовым, на его основании проводились дальнейшие исследования и разрабатывались последующие схемы районирования территории республики. Несмотря на то, что эта схема почвенно-экологического районирования была разработана в 90-х годах прошлого века, полностью опубликована она была лишь в «Атласе почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь» [11]. В условных обозначениях к этой схеме названия районов приведены в сокращенном виде (по их географическому положению с указанием наиболее крупных населенных пунктов, расположенных на этой территории). Установлены также общие площади всех районов. Приводится описание и характеристика провинций по характеру почвенного покрова, рельефу местности, температурному режиму, степени проявления процессов эрозии и заболачивания, по ряду других факторов, определяющих возможности различного использования сельскохозяйственных земель (таблица).

Таблица

Сравнительная характеристика почвенно-агроэкологических условий в провинциях (пахотные земли)

Провинции	Почвы, %									
	гранулометрический состав				степень увлажнения					
	суглинистые	супесчаные	песчаные	торфяные и торфяно-минеральные	автоморфные	полугидроморфные			гидроморфные	
всего						слабо-глееватые	глееватые	глеевые		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Северная	46,9	42,1	8,3	2,7	33,7	63,6	38,7	22,0	2,9	2,7
Центральная	22,4	60,2	14,6	2,8	57,0	40,2	27,9	10,8	1,5	2,8
Южная	3,9	24,2	52,1	19,8	26,4	53,8	19,7	24,7	9,5	19,8
По республике	22,4	50,0	21,9	5,7	47,1	46,6	27,7	15,5	3,4	6,3

Продолжение таблицы

Провинции	Почвы, %		Агрохимические показатели свойств почв				Климатические условия (показатели)		
	степень увлажнения		рН	P2O5, мг/кг	K2O, мг/кг	содержание гумуса, %	сумма активных температур выше 10 °С	сумма осадков за период с температурой выше 10°С, мм	гидротермический коэффициент (ГТК)
	всего переувлажненные	осушенные							
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Северная	66,3	36,0	6,09	172	182	2,54	2351	333	1,42
Центральная	43,0	13,4	5,88	200	218	2,10	2497	335	1,34
Южная	73,6	48,6	5,79	173	185	2,53	2678	344	1,29
По республике	52,9	22,8	5,89	191	206	2,23	2519	337	1,34

Окончание таблицы

Провинции	Характеристика рельефа (крутизна и длина склонов)						Агротехнологическое состояние			Балл плодородия почв
	до 3°		3–5°		более 5°		эродированность, %	завалуненность, %	контурность, га	
	площадь, %	средняя длина, м	площадь, %	средняя длина, м	площадь, %	средняя длина, м				
1	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Северная	15,3	364	59,4	291	25,3	257	10,9	15,1	8,5	26,5
Центральная	49,0	398	27,7	346	23,3	320	12,5	10,3	24,0	33,1
Южная	95,1	383	3,3	308	1,6	236	3,5	0,7	22,4	29,1
По республике	65,4	390	27,6	322	7,0	271	9,4	9,9	21,4	31,6

В таблице приведены данные, характеризующие состояние почвенного покрова по данным корректировки материалов второго тура крупномасштабного почвенного обследования, выполненных УП «Проектный институт Белгипрозем» и его дочерними предприятиями (2001 г.), агрохимические свойства почв по материалам агрохимического обследования 2009–2012 гг., климатические показатели и балл плодородия почв по материалам второго тура кадастровой оценки земель (2009–2016 гг.).

В дальнейшем, в связи с внедрением в сельскохозяйственное производство адаптивно-ландшафтных систем земледелия и постоянным проведением работ по совершенствованию специализации сельскохозяйственных организаций, эта схема почвенно-экологического районирования уточнялась и совершенствовалась, так как большое количество почвенно-экологических районов затрудняло ее практическое использование и применение в масштабе всей республики. В первую очередь было проведено их укрупнение: районы, занимающие небольшую площадь, были присоединены к соседним, некоторые районы с близкими природными условиями были объединены. При выделении укрупненных районов не проводилось деление на почвенно-экологические провинции, так как иногда соседние районы даже из разных провинций, ввиду схожести их природных условий, также объединялись. В некоторых случаях проводилась корректировка границ. Эта схе-

ма почвенно-экологического районирования с укрупненными районами без деления на провинции опубликована в Национальном атласе Беларуси (2002). Всего в этой схеме выделено 16 почвенно-экологических районов, приведены их полные названия, которые, кроме административно-территориальной принадлежности, включают также преобладающие почвы с указанием типа, гранулометрического состава и увлажнения, генезиса почвообразующих пород, наличия эродированных и завалуненных почв, их приуроченность к определенным типам рельефа или геоморфологическим районам [13].

Для каждого из почвенно-экологических районов дано описание природных условий и их количественная характеристика по составу почв, культуртехническому состоянию и оценке земель, предложения по их преимущественному использованию под определенные сельскохозяйственные культуры, а также основные направления повышения плодородия почв и охраны от разрушений и загрязнений [14, 15].

Одновременно развивалось и другое направление почвенно-экологического районирования (более углубленное и детальное) – это так называемое почвенно-экологическое микрорайонирование [16–19]. Несмотря на то, что выделенные почвенно-экологические районы характеризуются относительно однородным составом почвенного покрова, близким агроэкологическим состоянием, сходными условиями сельскохозяйственного производства, внутри их практически всегда имеется выраженная неоднородность почвенного покрова, которую в таксономическом плане можно определить как отдельный почвенно-экологический микрорайон.

Почвенно-экологический микрорайон – это небольшая часть района, почвенный покров, особенности его структуры, другие природные условия которого значительно отличаются от окружающего фона вследствие локального проявления различных условий и явлений (иная литологическая составляющая, явления гидроморфизма, эрозионной денудации и др.), обуславливающие направление приоритетного и сопутствующего хозяйственного использования [19].

Почвенно-экологическое микрорайонирование проводилось по административным районам, расположенным в различных почвенно-экологических провинциях, и районам, характеризующимся различными природными условиями. Всего было выполнено почвенно-экологическое микрорайонирование территории 15 ключевых административных районов. При этом одни районы отличались более сложными, другие – более однородными условиями, что обуславливало формирование различного количества почвенно-экологических микрорайонов. В исследуемых районах их количество колебалось от 7 до 11 [18]. Мероприятия, разработанные и предлагаемые к использованию в одном микрорайоне, могут быть применимы в других микрорайонах, сходных с ним по ряду агропроизводственно значимых признаков.

Следующим звеном выделения более низких таксономических единиц территориального районирования являются типы земель. Типы земель – это территории единые по природным условиям сельскохозяйственного производства и в то же время соизмеримые с единицами сельскохозяйственного пользования [17, 18]. Типизация земель может быть выполнена на уровне административных районов, сельскохозяйственных предприятий и даже отдельных участков.

В конечном итоге почвенно-экологическое микрорайонирование и типизация земель позволяют выявить и учесть практически все природные факторы, влияющие на сельскохозяйственное производство, и углубить его специализацию в административных районах, или даже отдельных сельскохозяйственных предприятиях.

Весь процесс развития работ по почвенно-экологическому районированию нашел свое отражение во многих научных работах: пособиях, рекомендациях, статьях, материалах съездов и конференций, тезисах и т. д. Наибольший вклад в разработку почвенно-экологического районирования в Беларуси в разные годы внесли Н.И. Смеян, А.Ф. Черныш, Л.И. Шибут, Г.С. Цытрон (Институт почвоведения и агрохимии), Ю.П. Качков (Белгосуниверситет).

Таким образом, почвенно-экологическое районирование широко используется для решения различных задач в сфере сельскохозяйственного производства и земельных отношений: применительно к каждому из выделенных районов разрабатываются системы земледелия [14, 20], устанавливается специализация сельскохозяйственного производства [21, 22], предлагается комплекс почво- и природоохранных мероприятий. Особое внимание уделяется районам с неблагоприятной экологической ситуацией, это прежде всего территории с большим удельным весом эродированных, эрозионноопасных и переувлажненных почв, а также мелиорированные территории с преобладанием почв легкого гранулометрического состава и торфяных почв [10, 23, 25]. Почвенно-экологическое районирование является основой для проведения почвенно-экологического микрорайонирования и типизации земель [16–19], используется при изучении динамики и эволюции почвенного покрова отдельных регионов страны (районов, провинций) [25–27], для анализа развития деградационных процессов почвенного покрова республики и оценки степени устойчивости дерново-подзолистых почв Беларуси к агрогенным воздействиям [28, 29], а также для решения многих других вопросов рационального использования земель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Почвы БССР / П.П. Роговой [и др.]; под ред. И.С. Лупиновича и П.П. Рогового. – Минск: Изд-во АН БССР, 1952. – 270 с.
2. Почвы Белорусской ССР / под ред. чл.-корр. АН БССР Т.Н. Кулаковской, акад. АН БССР П.П. Рогового и канд. с.-х. наук Н.И. Смеяна. – Минск: Ураджай, 1974. – 328 с.
3. *Смеян, Н.И.* Пригодность почв БССР под основные сельскохозяйственные культуры / Н.И. Смеян. – Минск: Ураджай, 1980. – 175 с.
4. *Смеян, Н.И.* Почвы и структура посевных площадей / Н.И. Смеян. – Минск: Ураджай, 1990. – 150 с.
5. Почвенно-экологическое районирование Гродненской области для сельскохозяйственных целей / А.Ф. Черныш [и др.] // Экологические проблемы использования почвенных ресурсов и повышения их производительной способности: тез. докл. научно-произв. конф., посвящ. 60-летию БелНИИ почвоведения и агрохимии, Минск, 24–28 июня 1991 г. – Минск, 1991. – С. 41–42.
6. Почвенно-экологическое районирование Могилевской области и проблема рационального использования земельных ресурсов / Н.И. Смеян [и др.] // Основные направления получения экологически чистой продукции растениеводства: тез. докл. Республ. научно-произв. конф., Горки, 13–15 апреля 1992 г. – Горки, 1992. – С. 122–123.
7. Почвенно-экологическое районирование Витебской области и вопросы рационального использования пахотных земель / Н.И. Смеян [и др.] // Инф. листок № 97. – Минск: БФ ВНИИТЭИагропром, 1992. – 4 с.

8. Схема почвенно-экологического районирования Минской области и основные направления специализации растениеводства / Н.И. Смяян [и др.] // Инф. листок № 110. – Минск: БФ ВНИИТЭ-Иагропром, 1992. – 4 с.

9. Почвенно-экологическое районирование территории Республики Беларусь / Н.И. Смяян [и др.] // Почвы, их эволюция, охрана и повышение производительной способности в современных социально-экономических условиях: материалы I съезда Белорусского общества почвоведов. – Минск; Гомель, 1995. – С. 217–218.

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

11. 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.

12. *Черныш, А.Ф.* Критерии выделения таксономических единиц при почвенно-экологическом районировании территории Беларуси / А.Ф. Черныш, Н.И. Смяян // Почвы и их плодородие на рубеже столетий: материалы II съезда белорусского общества почвоведов. Кн. 1. Теоретические и прикладные проблемы почвоведения. – Минск, 2001. – С. 229–232.

13. *Смяян, М.І.* Глебава-экалагічнае раянаванне. М 1:3000000 / М.І. Смяян, Г.С. Цытрон, Л.І. Шыбут // Нацыянальны атлас Беларусі. – Мінск, 2002. – С. 110.

14. К вопросу об экологически безопасных системах земледелия в Беларуси / Н.И. Смяян [и др.] // Известия Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграрных наук. – 2002. – № 3. – С. 35–39.

15. *Шибут, Л.И.* Сравнительная оценка плодородия почв почвенно-экологических районов Беларуси / Л.И. Шибут, О.В. Матыченкова, Е.В. Цытрон // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 6–8 июня 2012 г., Минск, Беларусь / редкол.: И.И. Пирожник (гл. ред.), В.М. Яцухно (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Изд. центр БГУ, 2012. – С. 88–90.

16. *Черныш, А.Ф.* Принципы и методические подходы проведения почвенно-экологического микрорайонирования / А.Ф. Черныш, Ю.П. Качков, А.Э. Радюк // Почва – удобрение – плодородие – урожай: материалы Международной науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рожд. Иванова С.Н. и 90-летию со дня рожд. Кулаковской Т.Н., Минск, 16–18 февр., 2009 г. / редкол.: В.В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2009. – С. 108–111.

17. Почвенно-экологическое микрорайонирование – необходимое звено в системе почвенного районирования / А.Ф. Черныш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 1(46). – С. 7–14.

18. Опыт почвенно-экологического микрорайонирования в Беларуси / А.Ф. Черныш [и др.] // Плодородие почв и эффективное применение удобрений: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию основания ин-та, Минск, 5–8 июля 2011 г. / редкол.: В.В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – С. 156–158.

19. *Черныш, А.Ф.* Пути совершенствования почвенного районирования территории Беларуси / А.Ф. Черныш, Ю.П. Качков, О.Ф. Башкинцева // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспече-

ние: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 6–8 июня 2012 г., Минск, Беларусь / редкол.: И.И. Пирожник (гл. ред.), В.М. Яцухно (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Изд. центр БГУ, 2012. – С. 86–88.

20. *Черныш, А.Ф.* Учет почвенно-экологических условий при формировании адаптивно-ландшафтных почвозащитных систем земледелия в Беларуси / А.Ф. Черныш // Тезисы докладов III съезда Докучаевского общества почвоведов. – М., 2000. – Кн. 1. – С. 141–142.

21. Совершенствование специализации сельскохозяйственного производства на основе почвенно-экологического районирования / Н.И. Смяян [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 2 (39). – С. 15-27.

22. *Лапа, В.В.* Предложения по изменению специализации сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь с учетом природно-климатических условий и плодородия почв в целях достижения максимальной эффективности животноводства и растениеводства / В.В. Лапа, А.Ф. Черныш, Н.И. Смяян // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов, 2-е изд. доп. и перераб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию». – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – С. 29–41.

23. Почвенно-экологическое районирование как основа рационального природопользования / А.Ф. Черныш [и др.] // Экологическое и социально-экономическое обоснование региональных схем рационального природопользования: тез. докл. Респ. науч. конф., Минск, 7–8 октября 1993 г. / БГУ. – Минск, 1993. – С. 22–23.

24. *Черныш, А.Ф.* Методические подходы к оценке потенциала почвенно-земельных ресурсов эрозионных и заболоченных агроландшафтов / А.Ф. Черныш, А.Э. Радюк, А.А. Клус // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 1(40). – С. 40–49.

25. *Смяян, Н.И.* Изменение почвенного покрова пахотных угодий Оршано-Мстиславского почвенно-экологического района под действием антропогенных факторов / Н.И. Смяян, Г.С. Цытрон, Л.И. Шибут // Современные проблемы использования почвенных ресурсов и повышения их производительной способности: материалы Междунар. научн.-произв. конф., Горки, 11–15 ноября 1997 г. – Горки: БСХА, 1997. – С. 125–127.

26. *Цытрон, Г.С.* Динамика почвенного покрова пахотных земель почвенно-экологических районов Белорусского Поозерья / Г.С. Цытрон, Л.И. Шибут, В.М. Терещенко // Почвы и их плодородие на рубеже столетий: материалы II съезда белорусского общества почвоведов. Теоретические и прикладные проблемы почвоведения. – Минск, 2001. – Кн. 1. – С. 227–229.

27. Антропогенная эволюция почвенного покрова почвенно-экологических районов Беларуси / Н.И. Смяян [и др.] // Биогеография почв: тез. докл. междунар. конф. Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 16–20 сентября 2002 г. – Сыктывкар, 2002. – С. 87–88.

28. Развитие деградационных процессов в пределах почвенно-экологических районов Беларуси / Н.И. Смяян [и др.] // Деградация почвенного покрова и проблемы агроландшафтного земледелия: материалы междунар. науч. конф. – Ставрополь, 2001. – С. 137–138.

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

SOIL ZONING OF THE TERRITORY OF BELARUS: HISTORY, CHARACTERISTICS, USE

L.I. Shibut, T.N. Azarenok

Summary

The article briefly describes the history of the development of soil zoning of the territory of Belarus, beginning from the 40s – 50s of the last century and up to the present time. Particular attention is paid to soil-ecological zoning, which is carried out taking into account ecological conditions for cultivation of agricultural crops. Its various variants and types are considered, use and application in the field of agricultural production is shown.

Поступила 24.04.18

УДК 631.44.2:631.459

СТАБИЛЬНОСТЬ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ, В РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ПОДВЕРЖЕННЫХ ЭРОЗИОННОЙ ДЕГРАДАЦИИ

Н.Н. Цыбулько¹, С.С. Романенко¹, А.В. Юхновец¹, А.С. Тулина²

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

*²ФГБУН «Институт физико-химических
и биологических проблем почвоведения»,
г. Пущино, Россия*

ВВЕДЕНИЕ

Экологические функции почвенного покрова многообразны. Наиболее важным показателем является органическое вещество почвы (ОВП), представляющее собой сложный гетерогенный континуум материалов и соединений, отличающихся по стабильности, скорости оборачиваемости и продолжительности существования. ОВП в силу особенностей химического строения, биологической доступности, высокой энергоемкости определяет функционирование основных свойств и режимов почв [1].

Возросший интерес к изучению ОВП объясняется рядом причин. Во-первых, органическое вещество в педосфере – основной природный генератор и источник углеродосодержащих газов (прежде всего, CO₂), поступающих в атмосферу. Антропогенная деятельность привела к разомкнутости биогеохимического круговорота диоксида углерода в экосистемах, следствием чего явился прогрессирующий рост его содержания в атмосфере. Во-вторых, ОВП нередко является лимитирующим фактором продуктивности экосистем: от качественного и количественного состава

его зависит поведение загрязнений различного происхождения, формирование противозерозионной стойкости и свойств почв.

Стабильность ОВП – это степень устойчивости составляющих его компонентов к биотической, физико-химической деградации, вымыванию и эрозии. Образующиеся при разложении свежего органического вещества гидрофильные компоненты быстро связываются с гидрофобными центрами гуминовых веществ, подвергаясь химической стабилизации. Органическое вещество (ОВ) микроагрегатов и органо-минеральных комплексов физически защищено от ферментативного и микробного воздействия. Разлагаемое ОВ, содержащееся в порах, диаметр которых меньше размера бактерий, становится недоступным для разложения. Значительная часть органического углерода ($C_{орг}$), содержащегося в минеральных почвах, стабильна, поскольку находится в химически или физически защищенном состоянии, либо в составе малодоступных микробам гумусовых образований.

Способность ОВ стабилизироваться в почве, трансформируясь в малодоступное для почвенных микроорганизмов состояние, – важное его свойство, а само явление стабилизации представляет характерную стадию динамики углерода. В агрономическом аспекте предпочтительнее нахождение в почве лабильного, потенциально минерализуемого и быстро оборачиваемого органического вещества, которое высвобождало бы элементы питания для растений [2]. В глобальном экологическом аспекте с целью ограничения концентрации CO_2 в атмосфере, наоборот, желательно чтобы ОВП было стабильным, а поступающее ОВ быстрее стабилизировалось, обеспечивая почвенную секвестрацию углерода – перевод $C-CO_2$ через биомассу растений в ОВП для долговременного сохранения в почвенном пуле [3–5].

Сельскохозяйственное использование земель может приводить как к увеличению стабильности ОВП, так и к его дестабилизации. Далее наступает некоторая стабилизация состояния ОВП. Вследствие этого уменьшается абсолютное и относительное количество легкоразлагаемого $C_{орг}$. Интенсивное использование почв приводит, с одной стороны, к увеличению стабильной фракции в «старом» ОВ, а с другой стороны, усиливает поступление в почву с растительными остатками «нового» $C_{орг}$, который подвергается последующей стабилизации.

Для изучения связей ОВП с минеральной частью почвы используют денсиметрическое фракционирование [6–8]. Метод заключается в отделении так называемой легкой фракции, не связанной с минеральной матрицей, от органо-глинистых комплексов. В легкой фракции доминируют органические остатки растительного, животного и микробного происхождения разной степени минерализации. С ней связана значительная часть микробных популяций, энзимная активность и дыхание почв. Эта фракция играет существенную роль в круговороте углерода в почвах, поскольку большая часть ее служит легкоразлагаемым субстратом для микроорганизмов и краткосрочным источником питательных элементов растений [9, 10].

Для выделения фракций органического вещества с различной степенью ассоциации с минеральной матрицей используют гранулометрическое фракционирование ОВП [11–13]. Выделяют частицы, которые группируют в ассоциации илистого (глинистого) (менее 1–2 мкм), пылеватого (от 1–2 до 20–50 мкм) и песчаного (>50 мкм) размеров. Органическое вещество илистой фракции представляет собой полиминеральную полидисперсную систему устойчивых комплексов глинистых минералов с гумусовыми веществами и полисахаридами. Пылеватая фракция содержит микробиологически трансформированный растительный

материал, представленный в основном собственно гумусовыми веществами и частично продуктами неполной гумификации органических остатков. В песчаных фракциях концентрируются в основном остатки растительности, почвенной фауны низкой и средней стадии разложения, характеризующиеся высоким содержанием лигнина, целлюлозы и других нерастворимых компонентов. Установлено, что ОБ песчаной фракции наиболее подвержено минерализации и содержание углерода в ней уменьшается быстрее, чем во фракциях пыли и ила [14, 15].

Цель исследований – изучить структуру и стабильность органического вещества дерново-подзолистых легкосуглинистых почв, в разной степени подверженных эрозионной деградации, на лессовидных суглинках.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в условиях центральной почвенно-экологической провинции на стационаре «Стоковые площадки» (СПК «Щемяслица» Минского района) Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. Постоянные стоковые площадки расположены на выпуклом склоне южной экспозиции крутизной 5–7° по геоморфологическому профилю от водораздельной равнины до подножья склона. Длина каждой площадки (длина линии стока) – 60 м, ширина – 12 м, общая площадь одной площадки – 720 м². Объектом исследований являлись дерново-подзолистые легкосуглинистые незэродированная, среднезэродированная, сильнозэродированная и намытая почвы. Агрохимические показатели почв: незэродированная почва – pH_{KCl} 5,74, гумус 1,83 %, общий азот 967 мг/кг, подвижный фосфор и калий 284 и 269 мг/кг соответственно; среднезэродированная почва – pH_{KCl} 5,53, гумус 1,78 %, общий азот 689 мг/кг, подвижный фосфор и калий 277 и 263 мг/кг соответственно; сильнозэродированная почва – pH_{KCl} 5,52, гумус 1,29 %, общий азот 661 мг/кг, подвижный фосфор и калий 272 и 215 мг/кг соответственно; намытая почва – pH_{KCl} 6,08, гумус 1,49 %, общий азот 800 мг/кг, подвижный фосфор и калий 315 и 262 мг/кг, соответственно.

Исследования проводили при возделывании озимой пшеницы. Повторность вариантов в опыте четырехкратная. Схема опыта включала 2 варианта: 1. $P_{40}K_{70}$; 2. $N_{110}P_{40}K_{70}$. Фосфорные (суперфосфат аммонизированный) и калийные удобрения (калий хлористый) вносили перед посевом, азотные удобрения (карбамид) – в начале весенней вегетации (N_{90}) и в подкормку в фазу выхода растений в трубку (N_{20}).

Агрохимические показатели почв определяли: гумус – ГОСТ 26213-91 [16]; $pH_{(KCl)}$ – потенциометрическим методом – ГОСТ 26483-85 [17]; подвижные формы фосфора и калия – ГОСТ 26207-91 [18], общий азот – ГОСТ 26107-84 [19]. Содержание общего органического углерода – с помощью CN анализатора Elementar Vario ELIII [20, 21]. Для определения минерализующей способности почвенные образцы отбирали в весенний и осенний периоды.

Минерализуемый пул почв оценивали методом биокинетического фракционирования органического вещества [22]. Данный метод позволяет оценить доступность для микроорганизмов углеродсодержащего субстрата по содержанию в нем потенциально-минерализуемого углерода ($C_{п.-м}$) и легко (C_1 , $k_1 > 0,1 \text{ сут}^{-1}$), умеренно (C_2 , $0,1 < k_2 > 0,01 \text{ сут}^{-1}$) и трудно (C_3 , $0,01 < k_3 > 0,001 \text{ сут}^{-1}$) минерализуемых его фракций.

Воздушно-сухие образцы почв с размером структурно-агрегатных отдельностей < 2 мм помещали в стеклянные флаконы в трехкратной повторности и добавляли воду до весовой влажности 25 %. Почвенные образцы инкубировали в течение 150 суток при температуре 22 °С. Количество продуцируемого образцами почвы CO₂ определяли ежедневно в течение первой недели эксперимента, затем три, два и один раз в неделю. За период инкубации было произведено 38 определений концентрации CO₂. Концентрацию CO₂ в газовых пробах измеряли на хроматографе Кристалл Люкс 4000 М [20].

Расчет содержания потенциально-минерализуемого углерода ($C_{п.-м}$) в почве производился по кумулятивному количеству C-CO₂, выделившегося за весь период инкубации (уравнение (1)). Аппроксимируя кумулятивные кривые продуцирования C-CO₂ за весь период инкубации трехкомпонентным уравнением экспоненциальной регрессии (уравнение (2)), вычисляли содержание углерода легко ($C_1, k_1 > 0,1 \text{ сут}^{-1}$), умеренно ($C_2, k_2 > 0,01 \text{ сут}^{-1}$) и трудно минерализуемых ($C_3, k_3 > 0,001 \text{ сут}^{-1}$) фракций активного ОВП (уравнения (3), (4)).

$$C_t = C_{п.-м} \cdot [1 - \exp(-k_0 \cdot t)]; \quad (1)$$

$$C_t = C_1 \cdot [1 - \exp(-k_1 \cdot t)] + C_2 \cdot [1 - \exp(-k_2 \cdot t)] + C_3 \cdot [1 - \exp(-k_3 \cdot t)]; \quad (2)$$

$$C_t = C_1 \cdot [1 - \exp(-k_1 \cdot t)] + C_2 \cdot [1 - \exp(-k_2 \cdot t)]; \quad (3)$$

$$C_t = C_1 \cdot [1 - \exp(-k_1 \cdot t)] + C_3 \cdot [1 - \exp(-k_3 \cdot t)], \quad (4)$$

где C_t – кумулятивное количество C-CO₂ (мг/100 г) за время t (сутки); $C_{п.-м}$ – содержание (мг/100 г) потенциально-минерализуемого углерода; C_1, C_2, C_3 – содержание (мг/100 г) углерода легко, умеренно и трудно минерализуемых фракций активного пула ОВП; k_0, k_1, k_2, k_3 – константы скорости минерализации органического вещества соответствующих фракций (сут⁻¹).

Биокинетические параметры C_n и k_n рассчитывали по значениям C_t и t методом нелинейной оценки программы Statistica 6,0. Коэффициенты уравнений (1)–(4) с уровнем значимости $P > 0,05$ отвергались. Полученные величины C_n и k_n применяли для расчета таких показателей состояния ОВП, как время оборачиваемости ($T = 1/k_n$, сутки) и период полураспада ($T_{0,5} = \ln 2/k_n$, сутки) фракции в почве, интенсивность минерализации ($V = C_n \cdot k_n$, мг/100 г в сутки).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За годы исследований метеорологические условия вегетационных периодов различались. По степени увлажнения 2012 год характеризовался избыточным увлажнением с ГТК 2,04, а 2013 и 2014 годы – хорошей увлажненностью с ГТК 1,52 и 1,50 соответственно.

Эродированные почвы существенно отличаются от полнопрофильных почв меньшими запасами и содержанием органического вещества, что значительно ухудшает их плодородие. Снижение запасов гумуса обуславливается уменьшением его содержания и мощности гумусового горизонта, а также приближением к поверхности менее гумусированных горизонтов почвы.

Содержание гумуса в пахотном слое почв изменяется не только в связи со смывом наиболее гумусированного верхнего горизонта и подпахивания менее

гумусированного нижележащего слоя, но и вследствие намыва частиц и агрегатов с вышележащей части склона.

Содержание органического углерода в почве отражает эволюционно-генетическую специфику биогенно-аккумулятивных почвенных процессов, их зависимость от поступления и отчуждения органического вещества, аэрации и гидротермических условий, минералогического и гранулометрического состава почвы, других внутрипочвенных и внешних факторов.

В наших исследованиях содержание общего органического углерода ($C_{орг}$) в пахотном слое с увеличением эродированности почвы снижалось от 15 000 до 12 500 мг/кг почвы. В намывтой почве содержалось 13 300 мг/кг $C_{орг}$ (табл. 1).

Таблица 1

**Общее содержание органического углерода и общего азота
в исследуемых почвах**

Эродированность почвы	$C_{орг}$ мг/кг почвы	$N_{общ}$ мг/кг почвы	C:N
Неэродированная	15 000	967	15,5
Среднеэродированная	13 250	689	19,2
Сильноэродированная	12 500	661	18,9
Намытая	13 300	800	16,6

Органическое вещество почвы по времени оборачиваемости подразделяется на три пула: активный ($T < 3-10$ лет), медленный ($T = 10-100$ лет) и пассивный ($T > 100$ лет) [23]. Активный (лабильный) пул образует свежее ОВ высокого энергетического и питательного статуса, быстро утилизируемое микроорганизмами и расходуемое при макроагрегации; химически и физически не защищенное ОВ, способное к химическим и биохимическим реакциям (фрагменты растительных и животных остатков, микробная биомасса, моно- и полисахариды, водо- и солерастворимое и взвешенное ОВ, фракция песка и др.). Медленный (промежуточный) пул состоит из физически защищенного и исходно прочного ОВ (аминосахара, гликопротеины, фракции лигнина, меланина и липидов, ОВ макро- и микроагрегатов, мобильные гуминовые вещества, фракция мелкого песка и крупной пыли). Пассивный (устойчивый, стабильный) пул представляет недоступное микроорганизмам по биохимическим характеристикам и (или) связанное минеральной частью почвы ОВ (кутины, суберины, модифицированный лигнин, часть липидов, гумин, негидролизуемое ОВ, защищенное металлоорганическими связями и гидрофобными взаимодействиями, фракции тонкой пыли и глины).

По литературным данным на долю активного пула ОВП в слое почвы 0–20 см приходится от <1 до 8 % от всего $C_{орг}$. В медленном пуле сосредоточено от 35 до 72 %, в устойчивом пуле – от 39 до 64 % [24, 25].

Основным источником минерализуемого углерода в почве являются непрочные и недостаточно защищенные органические вещества и соединения со временем оборачиваемости от трех до десяти лет, совокупность которых представляет собой пул активного органического вещества [26]. При биокинетическом фракционировании в составе активного ОВ выделяются три или две фракции углерода с константами скорости их минерализации, отличающимися на порядок [23].

С увеличением эродированности почвы абсолютное количество фракции C_1 снижалось, а фракции C_3 увеличивалось. Относительное содержание легко минерализуемой фракции на средне- и сильноэродированной почвах составило соответственно 26 и 30 % от активного ОВ.

Нами определен активный пул органического вещества (АОВ), а также установлены особенности распределения углерода между легко ($k_1 > 0,1 \text{ сут}^{-1}$) и трудно минерализуемыми ($k_3 > 0,001 \text{ сут}^{-1}$) фракциями активного пула органического вещества исследуемых почв в зависимости от их использования. Вклад данных фракций в пул АОВ колебался в зависимости от эродированности почвы и периода определения (табл. 2).

Таблица 2

Структура минерализуемого пула органического вещества почв разной эродированности при температуре 22 °С и влажности 25 вес. %

Степень смывости почвы	Период отбора проб почвы	C_1		$k_1, \text{сут}^{-1}$	C_3		$k_3, \text{сут}^{-1}$
		мг/кг	% от АОВ		мг/кг	% от АОВ	
Неэродированная	Осень	239±12	28	0,225±0,012	611±39	72	0,012±0,001
	Весна	226±9	25	0,288±0,019	669±33	75	0,011±0,000
Среднеэродированная	Осень	224±13	26	0,205±0,005	632±13	74	0,011±0,000
	Весна	215±3	26	0,260±0,035	605±62	74	0,013±0,001
Сильноэродированная	Осень	208±8	30	0,280±0,012	685±8	70	0,013±0,000
	Весна	183±17	25	0,217±0,028	548±27	75	–
Намытая	Осень	212±16	25	0,270±0,006	629±35	75	0,013±0,001
	Весна	369±3	32	0,188±0,000	768±1	68	0,013±0,001

Примечание. C_1 – углерод легко минерализуемой фракции активного органического вещества со временем оборачиваемости менее 10 суток; C_3 – углерод трудно минерализуемой фракции активного органического вещества со временем оборачиваемости 10–1000 суток; k_1 и k_3 – константы скорости минерализации C_1 и C_3 , соответственно, сут^{-1} .

В неэродированной почве содержание АОВ составило 87,2 мг/кг или 5,81 % от общего количества органического вещества, в среднеэродированной – 83,8 (6,32 %), в сильноэродированной – 81,3 (6,50 %) и в намытой – 99,0 мг/кг (7,4 %) соответственно.

Намытая почва отличается наиболее высокой минерализационной способностью и относительным содержанием легкоминерализуемой фракции (29 %) активного органического вещества.

При определении структуры минерализуемого пула органического вещества в ранневесенний период в начале возобновления вегетации озимой пшеницы установлено следующее: как и в осенний период абсолютное количество фракции C_1 уменьшалось по мере увеличения эродированности почвы, а относительное количество не зависело от эродированности почвы и составляло 25–26 % от минерализуемого пула органического вещества.

Только в намытой почве наблюдалось повышение удельного веса легко минерализуемой фракции до 32 %. Полученные данные указывают на роль водно-эрозионных процессов и массопереноса в результате весеннего снеготаяния в изменении минерализуемого пула органического вещества почв склоновых агроландшафтов.

Минерализуемый пул ОВП включает в себя все доступные микроорганизмам вещества и соединения независимо от их природы, химического состава, структуры и свойств, хотя вклад растворимых, простых, низкомолекулярных и свободных более существенен, чем нерастворимых, сложных, высокомолекулярных, связанных с минеральной частью почвы. Размеры минерализуемого пула ОВП зависят в первую очередь от количества и качества поступающих в почву органических материалов, степени защищенности компонентов ОВП и факторов, влияющих на микробную деятельность [3].

Как известно, в почвах различают подвижный и минерализуемый пулы углерода (С) и азота (N). О степени подвижности почвенного углерода судят по содержанию в общем органическом углероде ($C_{орг}$) соединений, экстрагируемых раствором 0,1 н. NaOH. Степень подвижности почвенного азота определяют по содержанию в общем азоте ($N_{общ}$) суммы минерального азота ($N_{мин}$) и фракций легкогидролизуемого и трудногидролизуемого азота. Размеры пулов потенциально-минерализуемого углерода ($C_{п.-м}$), и потенциально-минерализуемого азота ($N_{п.-м}$), и скорости минерализации оценивают методом биокинетического фракционирования на базе данных о продуцировании диоксида углерода почвенными образцами и накоплении $N_{мин}$ в почве в течение длительной (150 суток) инкубации при температуре 22 °С и влажности 25 вес. %, отобранных в ранневесенний и осенний периоды.

В среднем в изученных почвах содержалось в 2,8–4,1 раза больше фракции C_3 , чем C_1 . В незеродированной почве на долю легко минерализуемой фракции приходится 27 % и на долю трудно минерализуемой фракции – 73 %. С увеличением эродированности почвы наблюдается уменьшение как абсолютного, так и относительного содержания фракции C_1 в структуре АОВ.

Процентное содержание $C_{п.-м}$ от общего количества органического углерода характеризует минерализационную способность органического вещества почвы. Однако его относительное количество по отношению к общему органическому углероду, характеризующему минерализуемость органического вещества почвы, различалось и составило в незеродированной почве 4,6 %, среднеэродированной почве – 5,1, сильноэродированной почве – 5,6 и в намытой почве – 6,4 % (табл. 3).

В результате исследований установлено, что содержание потенциально-минерализуемого углерода ($C_{п.-м}$) в почвах зависит от валового количества $C_{орг}$. В осенний период после уборки культуры и проведения зяблевой вспашки содержание $C_{п.-м}$ в незеродированной, средне-, сильноэродированной и намытой почвах колебалось в пределах от 706 до 768 мг/кг почвы.

В ранневесенний период при возобновлении вегетации озимой пшеницы содержание $C_{п.-м}$ в незеродированной и эродированных почвах было ниже, чем в осенний период и колебалось в пределах 642–694 мг/кг почвы. Намытая почва в ранневесенний период содержала на 35 % $C_{п.-м}$ больше, чем в осенний период – 971 мг/кг почвы.

Относительное количество потенциально-минерализуемого углерода по отношению к общему органическому углероду в ранневесенний период возрастало по мере повышения степени эродированности почвы. Максимальным оно было в намытой почве – 6,8 %.

**Потенциально минерализуемый углерод ($C_{п.-м}$) в почвах
разной эродированности при температуре 22 °С и влажности 25 вес. %**

Степень смытости почвы	Период отбора проб почвы	$C_{п.-м}$		$*k_0$, сут ⁻¹
		мг/кг почвы	% от $C_{орг}$	
Неэродированная	Осень	718±30	4,6	0,030±0,001
	Весна	674±29	4,7	0,028±0,001
	Среднее	696	4,6	0,029
Среднеэродированная	Осень	706±10	5,1	0,027±0,001
	Весна	642±20	5,1	0,028±0,001
	Среднее	674	5,1	0,028
Сильноэродированная	Осень	768±5	5,6	0,026±0,001
	Весна	694±29	5,8	0,027±0,001
	Среднее	731	5,7	0,026
Намытая	Осень	720±30	6,4	0,028±0,000
	Весна	971±13	6,8	0,031±0,001
	Среднее	845	6,6	0,030

* k_0 – константа скорости минерализации $C_{п.-м}$, сут⁻¹.

Под стабилизацией органического вещества понимаются процессы, которые увеличивают устойчивость его к биотическим и абиотическим воздействиям и ведут к увеличению времени оборачиваемости органического вещества (ОВ) в почве за счет приобретенного защищенного состояния. Дестабилизация – обратный стабилизации процесс, в результате которого компоненты ОВ становятся менее устойчивыми к деградации и более доступными для использования микроорганизмами [27, 28].

Оценка стабильности органического вещества почвы и его отдельных компонентов основывается на нескольких подходах [29]. Показателем стабильности ОВ может служить отношение устойчивого к минерализации углерода к его потенциально-минерализуемому количеству [30].

Количество стабилизированного и удерживаемого в составе ОВ углерода характеризует его секвестрирующую емкость. Чем выше стабильность ОВ, тем меньше размеры продукции диоксида углерода, то есть секвестрирующая емкость обратно пропорциональна минерализационной способности органического вещества.

Большая минерализуемость органического вещества эродированных почв по сравнению с неэродированной почвой может объясняться разрушением почвенных агрегатов в результате водной эрозии, что приводит к уменьшению его защищенности. Минерализуемость органического вещества намытой почвы была примерно такой же, как и неэродированной почвы.

Полученные данные, представленные на рис. 1, показывают, что органическое вещество неэродированной почвы характеризуется наиболее высокой стабильностью (19,9–21,3). По мере увеличения эродированности почвы наблюдается снижение данного показателя с 17,8–19,6 до 15,3–17,0.

По нашему мнению более высокая стабильность органического вещества неэродированной почвы связана с его физической стабилизацией, сущность которой заключается в обеспечении пространственной недостижимости микроорганизмами и ферментами в результате агрегации. Агрегаты формируют физические барьеры между микроорганизмами, продуцирующими ферментами и субстратами, регулируют пищевые взаимоотношения и микробную оборачиваемость, контролируют диффузию воды и газов [23–25].

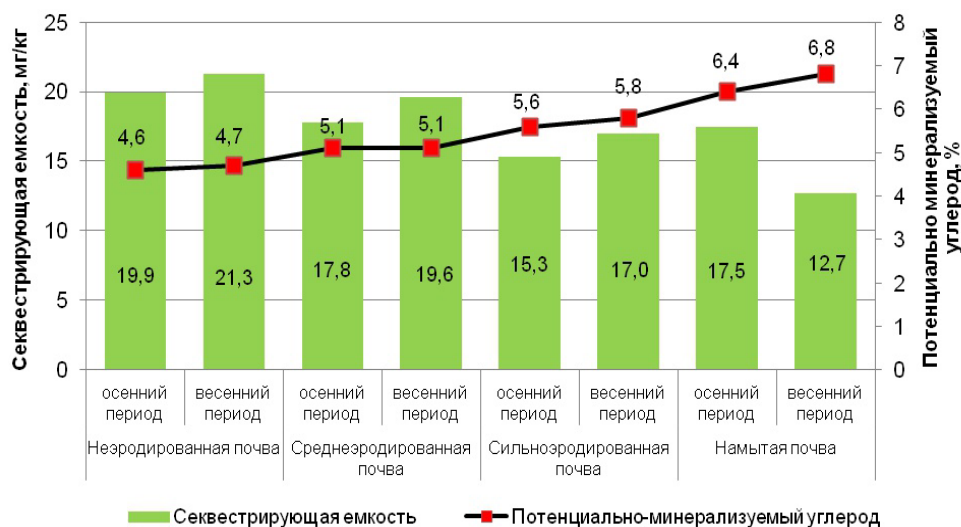


Рис. 1. Зависимость углеродсеквестрирующей емкости эродированных почв от их минерализационной способности

Около 90 % органического углерода верхнего горизонта почв находится в составе агрегатов, при этом 20–40 % – в виде микроагрегатов [31, 32]. Неэродированные почвы отличаются от эродированных более высоким содержанием устойчивых к разрушению водопрочных агрегатов [33], что и обуславливает более высокую стабильность органического вещества этих почв. Органическое вещество намытого бесструктурного почвенного материала характеризуется самой низкой стабильностью.

Минерализация азотсодержащих органических соединений и их иммобилизация происходит в почве одновременно и непрерывно. В агрономическом плане практический интерес представляет оценка минерализации органического азота почвы, поскольку рациональное применение азотных удобрений требует знания исходного количества доступного для растений почвенного азота и текущей минерализации. Для этого необходимо определить, с какой скоростью запасы потенциально минерализуемого азота могут минерализоваться в определенных условиях. Эту информацию несет кинетический параметр – константа скорости минерализации органических соединений азота в почве.

В результате исследования установлено, что в изученных почвах за 150 суток при температуре 22 °С и влажности 25 вес. % накапливалось 63–104 мг/кг минерального азота (рис. 2), что составило 7,2–14,7 % от содержания в почве общего азота. В среднем минерализуемый пул азота составил $6,7 \pm 1,0$ % от $N_{\text{общ}}$.

Содержание минерализуемого азота примерно равно определенному по методу Шконде и Королевой содержанию легкогидролизуемого азота в этих почвах.

На незэродированной почве не выявлено различий относительной минерализации азота в вариантах без внесения и с внесением азотных удобрений, которая составила соответственно 7,2 и 8,4 % от $N_{\text{общ}}$. На средне-, сильноэродированной, намытой почвах в варианте РК минерализовалось заметно меньше азота, чем в варианте NPK – 10,9 и 14,7 %, 9,5 и 14,4 %, 9,2 и 13,0 % от $N_{\text{общ}}$ соответственно.

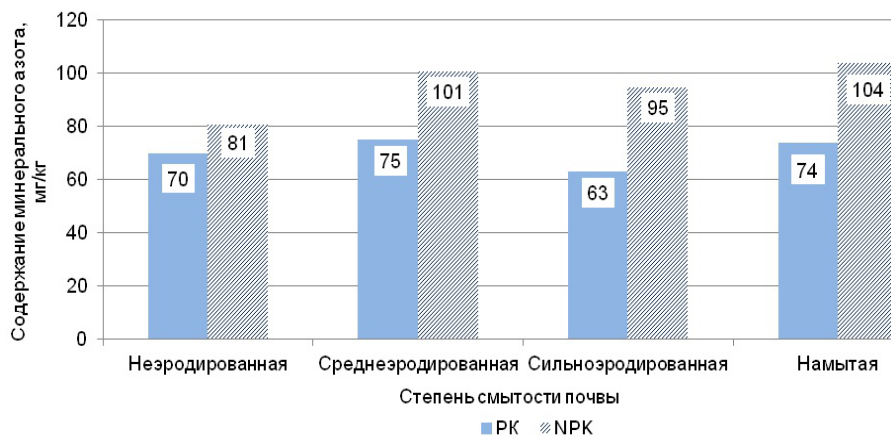


Рис. 2. Фактическая минерализация азота в дерново-подзолистых почвах разной степени эродированности за 150 суток при 22 °С и 25 % влажности, мг/кг

Полученные результаты свидетельствуют о меньшей устойчивости к минерализации органических соединений азота почв, подверженных водной эрозии, по сравнению с органическими соединениями азота незэродированной почвы.

ВЫВОДЫ

1. В эродированных и намытой почвах органические соединения минерализовались вдвое быстрее, чем в незэродированной почве. Водная эрозия способствовала увеличению минерализуемости органических соединений углерода и азота в почвах и истощению азотного фонда почв. Содержание активного органического вещества в незэродированной почве составило 872 мг/кг, среднеэродированной – 838, сильноэродированной – 813 и в намытой – 990 мг/кг. Наиболее высокая минерализационная способность с относительным содержанием легко минерализуемой фракции активного органического вещества (29 %) отмечена для намытой почвы.

2. Процессы водной эрозии приводят к снижению содержания активного пула органического вещества почвы до 1,1 раза. В эродированных почвах показатели стабильности органического вещества снижаются на 8–23 %, а содержание $C_{\text{п.-м}}$ на сильноэродированной почве по сравнению с незэродированной увеличивается на 35 мг/кг.

3. Соотношение общего органического углерода и общего азота практически не зависит от степени их эродированности и составляет 16,6–19,2, что способствует протеканию минерализационных процессов в почве.

4. Наблюдается обратная зависимость между углеродсеквестрирующей емкостью и минерализационной способностью почв. Емкость секвестрации эродированных почв с увеличением степени эродированности почв снижалась. Минимальной секвестрирующей емкостью характеризовалась сильноэродированная почва в осенний период (15,3) и намытая почва в весенний период (12,7), максимальной – несмытая почва в весенний период (21,3).

5. Азотный фонд дерново-подзолистых легкосуглинистых почв разной степени эродированности находится в тесной зависимости от содержания общего органического углерода. Минерализуемый пул азота в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве составляет $6,7 \pm 1,0$ % от $N_{\text{общ}}$. В неэродированной почве не выявлено различий относительной минерализации азота в вариантах без внесения и с внесением азотных удобрений. В средне-, сильноэродированной и намытой почвах в варианте РК по сравнению с NPK минерализовалось заметно меньше азота, 10,9 и 14,7 %, 9,5 и 14,4 %, 9,2 и 13,0 % от $N_{\text{общ}}$ соответственно, что подтверждает стимулирующее влияние азотных удобрений на процессы минерализации азота в почве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии Нечерноземья / под общ. ред. академика РАСХН Н.З. Милащенко. – М., 1993. – 864 с.

2. *Janzen, H.H.* The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it? / H.H. Janzen // *Soil. Biol. Biochem.* – 2006. – Vol. 38. – № 3. – P. 419–424.

3. Минерализуемость органического вещества и секвестрирующая емкость почв зонального ряда / В.М. Семенов [и др.] // *Почвоведение.* – 2008. – № 7. – С. 1–14.

4. *Lal, R.* Soil carbon sequestration to mitigate climate change / R. Lal // *Geoderma.* – 2004. – Vol. 123. – № 1–2. – P. 1–22.

5. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and nature grassland soils / J. Six [et al.] // *Soil. Sci. Soc. Amer. J.* – 1998. – Vol. 62. – P. 1367–1377.

6. *Ванюшина, А.Я.* Органо-минеральные взаимодействия в почвах (обзор литературы) / А.Я. Ванюшина, Л.С. Травникова // *Почвоведение.* – 2003. – № 4. – С. 418–428.

7. Применение физических методов фракционирования для характеристики органического вещества почв / М.Ш. Шаймухаметов [и др.] // *Почвоведение.* – 1984. – № 8. – С. 131–141.

8. *Christensen, B.T.* Effect of animal manure and mineral fertilizer on the total carbon and nitrogen contents of soil size fractions / B.T. Christensen // *Biol. fertile. Soils.* – 1988. – Vol. 5. – P. 304–307.

9. *Травникова, Л.С.* Продукты органо-минерального взаимодействия и устойчивость почв к деградации / Л.С. Травникова, М.Ш. Шаймухаметов // *Научные проблемы почвоведения. Научн. тр. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева.* – М., 2000. – С. 356–369.

10. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils / E.G. Gregorich [etc.] // *Can. J. Soil Sci.* – 1994. – Vol. 74. – P. 367–385.

11. *Chenu, C.* The influence of cultivation on the composition and properties of clay organic matter associations from soil / C. Chenu, E. Besnard, D. Arrouays // *Sustainable Management of Soil Organic Matter*. BSSS. 15–17 Sept., 1999, Edinburgh.

12. *Guggenberger, G.* Land-use effects on the composition of organic matter in particle-size separates of soils: I. Lignin and carbohydrate signature / G. Guggenberger, B.T. Christensen, W. Zech // *Europ. J. Soil Sci.* – 1994. – Vol. 45. – P. 449–458.

13. *Saiz-Jimenez, C.* Land-use effects on the composition of organic matter in particle-size separates of soils: III. Analytical pyrolysis / C. Saiz-Jimenez [etc.] // *Europ. J. Soil Sci.* – 1996. – Vol. 47. – P. 61–69.

14. *Dalal, R.C.* Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. IV. Loss of organic carbon from different density fractions / R.C. Dalal, R.J. Mayer // *Aust. J. Soil Res.* – 1986. – Vol. 24. – P. 301–309.

15. *Skjemsted, J.O.* Spectroscopic investigations of cultivation effects on organic matter of vertisols / J.O. Skjemsted, R.C. Dalal, P.F. Barron // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 1986. – V. 50. – P. 354–359.

16. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26213-91. – Введ. 07.01.93. – Минск: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.

17. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение pH по методу ЦИНАО: ГОСТ 26483-85. – Введ. 07.01.86. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1987. – 4 с.

18. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26207-91. – Введ. 07.01.93. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 6 с.

19. Почвы. Методы определения общего азота: ГОСТ 26107-84. – Введ. 07.01.85. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1985. – 6 с.

20. *Карягина, Л.А.* К методике определения CO₂ в почве газохроматографическим методом / Л.А. Карягина, Н.Е. Воробьева, П.С. Фирсов // *Почвоведение и агрохимия: сб. науч. тр.* / Белорус. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 1981. – Вып. 17. – С. 156–160.

21. Экспериментальное определение активного органического вещества в некоторых почвах природных и сельскохозяйственных экосистем / В.М. Семенов [и др.] // *Почвоведение*. – 2006. – № 3. – С. 282–292.

22. *Семенов, В.М.* Стабилизация органического вещества в почве / В.М. Семенов, Л.А. Иванникова, А.С. Тулина // *Агрохимия*. – 2009. – № 10. – С. 77–96.

23. Роль растительной биомассы в формировании активного пула органического вещества почвы / В.М. Семенов [и др.] // *Почвоведение*. – 2004. – № 11. – С. 1350–1359.

24. *Muller, T.* Soil organic matter turnover as a function of the soil clay content: consequences for model application / T. Muller, H. Hoper // *Soil Biol. Biochem.* – 2004. – Vol. 36. – № 6. – P. 877–888.

25. *Schwendenmann, L.* Response of organic matter dynamics to conversion from tropical forest to grassland as determined by long-term incubation / L. Schwendenmann, E. Pandal // *Biol. Fertil. Soils*. – 2008. – Vol. 44. – № 8. – P. 1053–1062.

26. *Jastrow, J.D.* Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance / J.D. Jastrow, T.W. Boutton, R.M. Miller // *Soil Science Soc. of America J.* – 1996. – Vol. 60. – № 3. – P. 801–807.
27. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems / J. Six [at al.] // *Soil Science Soc. of America J.* – 2006. – Vol. 70. – № 2. – P. 555–569.
28. *Swift, R.S.* Sequestration of carbon by soil / R.S. Swift // *Soil Science.* – 2001. – Vol. 166, № 11. – P. 858–871.
29. *Sollins, P.* Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls / P. Sollins, P. Homann, B.A. Caldwell // *Geoderma.* – 1996. – Vol. 74. – № 1–2. – P. 65–105.
30. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review / M. von Lützow [et al.] // *Europ. J. of Soil Science.* – 2006. – Vol. 57. – № 4. – P. 426–445.
31. *Цыбулько, Н.Н.* Влияние основной обработки на агрофизические свойства эродированных дерново-подзолистых почв и продуктивность сельскохозяйственных культур / Н.Н. Цыбулько, Л.А. Тишук, А.В. Юхновец // *Почвоведение.* – 2002. – № 12. – С. 1488–1494.
32. *Bronick, C.J.* Soil structure and management: a review / C.J. Bronick, R. Lal // *Geoderma.* – 2005. – Vol. 124. – № 1–2. – P. 3–22.
33. Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon / J. Six [at al.] // *Soil Science Soc. of America J.* – 2000. – Vol. 64. – № 2. – P. 681–689.

STABILITY OF ORGANIC MATERIAL OF SOD-PODZOLIC SOILS TO THE DIFFERENT DEGREE OF EROSION DEGRADATION

N.N. Tsybulko, S.S. Romanenko, A.V. Yukhnovets, A.S. Tulina

Summary

In washed and washed soils, organic compounds were mineralized twice as fast as in non-eroded soil. Water erosion increased the mineralizability of organic compounds of carbon and nitrogen. The content of active organic matter in the non-washed soil was 872 mg/kg, medium-washed – 839, strongly washed – 813 and in the washed-up – 990 mg/kg. The highest mineralization capacity with a relative content of a readily mineralizable fraction of active organic matter (29 %) is noted for soiled soil. The processes of water erosion lead to a decrease in the content of the active pool of soil organic matter in 1,04–1,07 times.

There is an inverse relationship between the carbon-sequestering capacity and the mineralization capacity of soils. The capacity of sequestration of washed-out soils with increasing soil erosion was reduced. The minimum sequestering capacity was characterized by strongly washed soil in the autumn period (15,3) and the soiled soil in the spring period (12,7), maximum – unblashed soil in the spring period (21,3). The nitrogenous fund of sod-podzolic light loam soils of different degrees of erosion is closely related to the content of total organic carbon. The mineralized nitrogen pool in sod-podzolic light loamy soil is $6,7 \pm 1,0$ % of Nob.

Поступила 18.04.18

ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПАХОТНОГО ГОРИЗОНТА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВ НА ЛЕССОВИДНЫХ СУГЛИНКАХ В ПРОЦЕССЕ ИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

А.М. Устинова, В.Б. Цырибко, А.В. Юхновец, Н.Ю. Жабровская

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

ВВЕДЕНИЕ

В условиях усиливающегося преобразования окружающей среды, обусловленного хозяйственной деятельностью человека, возникает необходимость в разработке новых систем устойчивого землепользования, которые должны базироваться на принципах расширенного воспроизводства плодородия почв, снижения воздействия на биосферу и сохранения биологического разнообразия, при этом должны учитываться экономическая целесообразность и социальная приемлемость [1]. Создание таких систем землепользования возможно только при достижении и поддержании требуемого качества почв, т.е. когда «почвы функционируют в пределах границ естественной и управляемой экосистемы; поддерживают устойчивую продуктивность растений и животных, сохраняют и улучшают качество воды и воздуха; обеспечивают здоровье людей» [2].

В связи с этим необходимо уделять больше внимания оптимизации физического состояния почвы, так как физические свойства почвы играют не менее важную роль в формировании производительной способности почв, чем агрохимические. Для этого требуется разработка научно обоснованных индикаторов благоприятного физического состояния почвы в аспекте сохранения баланса ее экологических функций [3].

К наиболее значимым управляемым физическим свойствам почвы относятся ее плотность и общая пористость.

Под плотностью принято понимать вес абсолютно сухой почвы в единице объема (г/см^3). Данный показатель является наиболее общим, интегральным, поскольку его состояние определяет водный, воздушный и тепловой режимы почв, т.е. непосредственно влияет на процессы жизнедеятельности растений. Поэтому плотность следует принять за первичный элемент не только всей физики почв, но и жизни растений [4]. В то же время нет ни одного вида механической обработки почвы, который не оказывал бы существенного воздействия на плотность сложения.

Плотность пахотного горизонта почвы имеет хорошо выраженную динамику во времени. Почвы сразу после их обработки сравнительно недолго пребывают в рыхлом состоянии, затем начинается постепенное уплотнение и достижение равновесного значения, которое обусловлено гранулометрическим составом, структурно-агрегатным составом и генезисом почвообразующих пород.

Общая пористость почвы – это суммарный объем пор в почве, выраженный в процентах. Пористость является зависимым показателем и определяется плотностью почвы. Общая пористость обуславливает направленность физико-химических, биохимических и микробиологических процессов в почве, которые ответственны за трансформацию органического вещества, соединений азота и других элементов питания. В связи с этим данные об изменении общей пористости почвы важны при проведении агрохимических работ, в первую очередь при внесении азотных удобрений, так как она позволит правильно рассчитать дозу и сократить потери азота в результате неблагоприятной микробиологической активности [5].

Цель исследований – установить изменения физических свойств пахотного горизонта в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв, развивающихся на лессовидных суглинках в процессе их сельскохозяйственного использования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования являлись дерново-подзолистые в разной степени эродированные почвы на лессовидных суглинках стационара «Стоковые площадки» Минского района Минской области, представляющие в геоморфологическом отношении единую почвенно-эрозионную катену. На водораздельной равнине (плакоре) расположена незэродированная почва, в верхней части склона – среднеэродированная, в средней части – сильноэродированная.

Лессовидные отложения представляют собой пористую однородную породу буровато-палевого цвета с осветленными горизонтальными слоями, довольно часто они имеют небольшую мощность и с глубины более 1 м подстилаются моренным суглинком или песком. Морфологический профиль почв, сформированных на данных породах, как правило, хорошо дифференцирован. Для этих почв характерно практически полное отсутствие крупнозема и фракций крупного и среднего песка. При этом фракция крупной пыли (0,05–0,01 мм) в пахотном горизонте составляет 40–70 %. Содержание частиц данного размера в значительной степени влияет на интенсивность протекания водно-эрозионных процессов, так как крупная пыль наиболее сильно вымывается талыми водами и ливневыми осадками.

Несмотря на приуроченность к повышенным формам рельефа и крайне низкую устойчивость к водно-эрозионным процессам, почвы, сформированные на лессовых и лессовидных породах, имеют самое высокое естественное плодородие в условиях Республики Беларусь среди дерново-подзолистых почв. Около 40 % площади данных почв подвержено водной эрозии [6].

В ходе исследований обработаны данные за четыре ротации трех пятипольных почвозащитных севооборотов с различной насыщенностью зерновыми культурами.

Плотность почвы определяли буровым методом при помощи колец Капечкого (метод «режущих колец») в 3-кратной повторности в период установления равновесного значения (уборка сельскохозяйственных культур), показатели пористости – расчетными методами [7, 8].

Наиболее часто применяемой градацией для оценки плотности и пористости является шкала, предложенная Н.А. Качинским [10].

Оценка плотности и пористости почвы естественного сложения

Плотность		Пористость	
г/см ³	качественная оценка	%	качественная оценка
1,61–1,80	Сильно уплотненные иллювиальные горизонты	>70	Почва вспушена – избыточно пористая
1,41–1,60	Типичные величины для подпахотных горизонтов почв	55–60	Культурный пахотный слой – отличная
1,26–1,40	Пашня сильно уплотнена	50–55	Удовлетворительная для пахотного слоя
1,00–1,25	Типичная величина культурной и свежевспаханной почвы	<50	Неудовлетворительная для пахотного слоя
<1,00	Почва вспушена или богата органическим веществом	25–40	Характерная для уплотненных иллювиальных горизонтов – чрезмерно низкая

Оптимальными считаются такие величины показателей физических свойств, при которых требования сельскохозяйственных растений удовлетворяются, обеспечивая их максимальную продуктивность при определенном фиксированном уровне других факторов. Поскольку не всегда можно достигнуть оптимального уровня, существуют допустимые значения, образовавшиеся в результате негативного влияния антропогенных и природных факторов, которые носят обратимый характер. Возможность использования почв для продуктивного сельскохозяйственного производства при этом сохраняется. В случае, если в результате деграционных процессов весь комплекс физических свойств достигает условно необратимых изменений, снижающих общий уровень плодородия почв, а дальнейшее продуктивное использование почв требует дополнительных материальных затрат, либо вообще нерационально, то это критические значения показателей физических свойств [11].

В исследованиях, проведенных лабораторией агрофизических свойств и защиты почв от эрозии Института почвоведения и агрохимии, разработаны оптимальные интервалы значений параметров агрофизических свойств, обеспечивающих максимальную производительную способность почв [12], основанные на модели, предложенной российскими исследователями [11, 13], а также на результатах собственных многолетних исследований [14–16]. За критерий оценки оптимальной плотности принимается оптимальное содержание в почве воздуха при насыщении ее водой до наименьшей влагоемкости (табл. 2).

Таблица 2

Градации значений плотности и пористости пахотного горизонта дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках и лессах

Физическое свойство	Градации значений		
	оптимальное	допустимое	критическое
Плотность, г/см ³	1,10–1,20	1,20–1,45	>1,45
Пористость, %	58–54	53–44	<44

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обобщение результатов 20-летних исследований показали, что плотность пахотного горизонта дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках, в конце вегетационного периода определялась, в первую очередь, степенью их эродированности (табл. 3, рис. 1).

Таблица 3

Влияние сельскохозяйственного использования на плотность пахотного горизонта дерново-подзолистых почв на лессовидных суглинках, г/см³

Степень эродированности почвы	Слой почвы, см	Годы исследований				Средняя за 1996–2016 гг.
		1996–2000	2001–2005	2006–2010	2011–2016	
Неэродированная	0–10	1,33	1,16	1,16	1,23	1,20
	10–20	1,38	1,25	1,24	1,25	1,27
Среднеэродированная	0–10	1,36	1,20	1,27	1,30	1,26
	10–20	1,42	1,31	1,33	1,34	1,34
Сильноэродированная	0–10	1,45	1,29	1,34	1,40	1,36
	10–20	1,50	1,42	1,42	1,43	1,43

По классификации Н.А. Качинского в период с 1996 г. по 2000 г. пахотный горизонт (Ап) сильно уплотнен и переуплотнен – плотность изменялась от 1,33–1,38 г/см³ на неэродированной до 1,45–1,50 г/см³ на сильноэродированной почвах. Диапазоны отклонений плотности по годам высокие: неэродированная почва – 0,40–0,43 г/см³; среднеэродированная – 0,43–0,44 г/см³; сильноэродированная – 0,36–0,40 г/см³, так как в данный период высокая доля многолетних трав в севооборотах.

В период 2001–2005 гг. значения плотности соответствовали показателям свежевспаханной почвы – 1,16–1,31 г/см³. Исключением является слой 10–20 см сильноэродированной почвы (1,42 г/см³). На среднеэродированной разновидности плотность выше по сравнению с неэродированной на 0,04–0,06 г/см³, сильноэродированной – на 0,13–0,17 г/см³. Отметим, что плотность сильноэродированных почв менее вариабельна по годам – диапазоны отклонений составили 0,23–0,26 г/см³ против 0,30–0,32 г/см³ на неэродированной.

В третью ротацию севооборотов (2006–2010 гг.) плотность слоя 0–20 см неэродированной почвы составила 1,16–1,24 г/см³. На средне- и сильноэродированных разновидностях пахотный горизонт уплотнился на 0,09–0,11 г/см³ и 0,18 г/см³ относительно неэродированной. В данной ротации севооборотов диапазон отклонений составил 0,20–0,34 г/см³, причем наименьшие колебания (0,20 г/см³) отмечены в слое 0–10 см сильноэродированной почвы, а наибольшие (0,34 г/см³) – в слое 10–20 см сильно- и неэродированной разновидностей.

Плотность пахотного горизонта исследуемых почв в среднем за четвертую ротацию севооборотов (2011–2016 гг.) несколько выше по сравнению с предыдущими двумя ротациями (на 1,23–1,43 г/см³). Особенно это заметно в слое 0–10 см (независимо от степени эродированности почв) – уплотнение на 0,03–0,07 г/см³. Отметим, что плотность слоя 10–20 см практически не изменилась. Увеличение плотности связано с экстремально засушливыми погодными условиями в 2014–2015 гг. Для данного периода характерны самые низкие диапазоны отклонений – 0,23–0,30 г/см³, причем наименее стабильна по годам среднеэродированная почва.

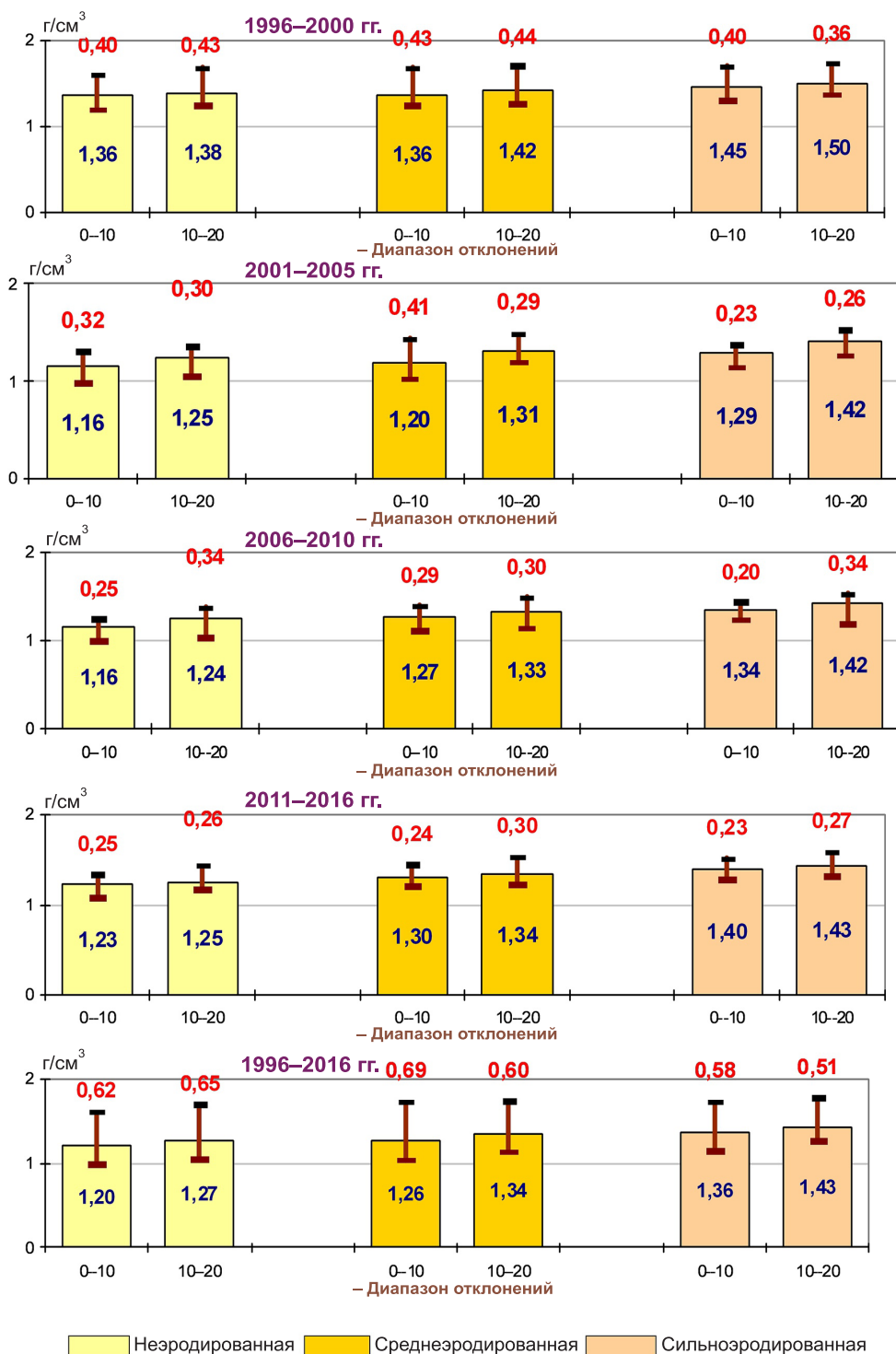


Рис. 1. Диапазон отклонений плотности пахотного горизонта дерново-подзолистых почв на лессовидных суглинках, г/см³

Средние за 20-летний период значения плотности для самого верхнего слоя (0–10 см) составили на незэродированной почве 1,20 г/см³, среднезэродированной – 1,26, сильнозэродированной – 1,36 г/см³. Выявлено уплотнение слоя 10–20 см на 0,07–0,08 г/см³ по сравнению с предыдущим (независимо от степени эродированности почв). Отметим, что плотность Ап незэродированной почвы соответствовала типичной величине для культурной почвы, а эродированных разновидностей – сильно уплотненной. Диапазоны отклонений колебались от 0,51–0,58 г/см³ на сильнозэродированной разновидности к 0,62–0,65 и 0,60–0,69 г/см³ соответственно на незэродированной и среднезэродированной почвах. Другими словами, наиболее стабильна по годам и тяжелее поддается окультуриванию сильнозэродированная, наименее – средне- и незэродированные разновидности.

Оценить агрофизическое состояние почв также возможно, используя разработанные нами диапазоны оптимальных, допустимых и критических значений (см. табл. 2). В период с 1996 по 2000 годы оптимальный уровень плотности выявлен в 20 % случаев в слое 0–10 см незэродированной почвы и в 10 % случаев в слое 10–20 см незэродированной и 0–10 см среднезэродированной разновидностей (табл. 4). Независимо от степени эродированности почв в данный период преобладали допустимые значения плотности – 60–90 %. Исключение составил слой 10–20 см сильнозэродированной почвы, где доля критических величин 70 %.

Таблица 4

Распределение плотности пахотного горизонта дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках, %

Год	Значения	Степень эродированности					
		незэродированная		среднезэродированная		сильнозэродированная	
		0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
1996–2000	Оптимальные (<1,20)	20	10	10	–	–	–
	Допустимые (1,21–1,45)	70	70	80	90	60	30
	Критические (>1,45)	10	20	10	10	40	70
2001–2005	Оптимальные (<1,20)	65	13	49	20	12	–
	Допустимые (1,21–1,45)	35	87	51	72	88	52
	Критические (>1,45)	–	–	–	8	–	48
2006–2010	Оптимальные (<1,20)	50	27	27	–	–	–
	Допустимые (1,21–1,45)	50	73	73	100	100	56
	Критические (>1,45)	–	–	–	–	–	44
2011–2016	Оптимальные (<1,20)	48	17	8	–	–	–
	Допустимые (1,21–1,45)	52	83	92	100	64	55
	Критические (>1,45)	–	–	–	–	36	45

Наибольшее количество случаев оптимальной плотности характерно для периода 2001–2005 гг. – 12–65 % в слое 0–10 см и 13–20 % в слое 10–20 см. Допустимые значения отмечены в 35–88 % в зависимости от степени эродированности. Только в слое 10–20 см средне- и сильнозэродированной почв наблюдались критические величины, а соотношение допустимых и критических на сильнозэродированной 52 % к 48 %.

В третью ротацию почвозащитных севооборотов выявлено 27–50 % случаев оптимальных значений в пахотном горизонте незэродированной почвы и 27 % в слое 0–10 см среднеэродированной разновидности. Остальная часть (50 и 73 %) приходилась на допустимые. В слое 10–20 см средне- и 0–10 см сильноэродированной разновидностей выявлены только допустимые показатели, а критические значения (44 %) отмечены только в слое 10–20 см сильноэродированной почвы.

В период с 2011 по 2016 годы независимо от степени эродированности преобладали допустимые значения – от 55–6 % на сильноэродированной до 92–100 % на среднеэродированной разновидностях. На незэродированной почве выявлено 17–48 % оптимальных показателей. Критический уровень достигнут в 36–45 % случаев только на сильноэродированной разновидности.

В среднем за 20-летний период выявлено от 50 до 89 % случаев допустимых значений плотности в пахотном горизонте исследуемых почв (рис. 2). Доминировали они на среднеэродированной разновидности – 74–89 %. На этой же почве отмечены и оптимальные показатели плотности (от 8 до 25 %). Самое высокое количество случаев оптимальных значений характерно для незэродированной разновидности – 18–49 %.

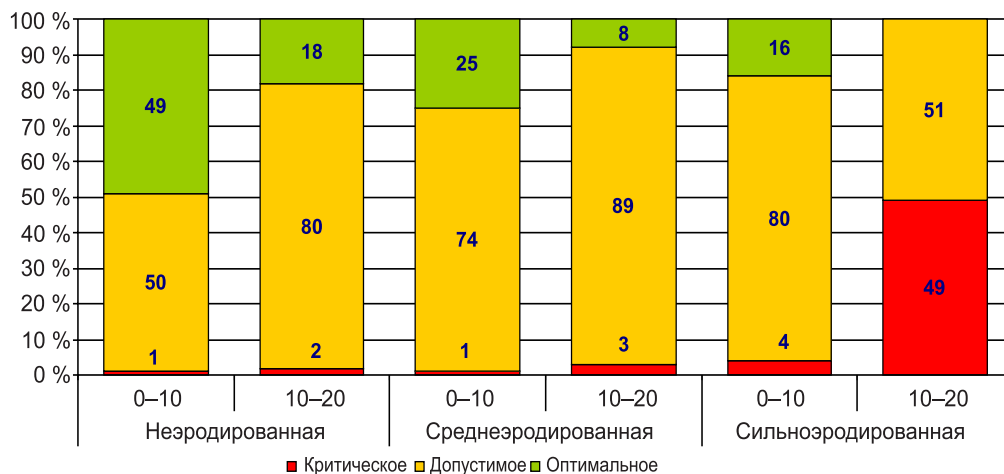


Рис. 2. Распределение плотности пахотного горизонта дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках, в среднем за 1996–2016 гг.

Самое большое число случаев критических значений отмечено в слое 10–20 см сильноэродированной разновидности – 49 %, в то время как на остальных исследуемых почвах их всего 1–4 %.

Оптимальные условия для жизнедеятельности растений и биологических процессов создаются при определенных соотношениях в почве воды и воздуха. Величина пористости находится в функциональной зависимости от плотности сложения и плотности твердой фазы почвы: чем больше плотность, тем ниже пористость; чем больше гумуса, тем меньше плотность и выше пористость; чем больше агрегатов, тем выше пористость.

В соответствии с оценочной шкалой Н.А. Качинского в начале исследований (1996–2000 гг.) пористость пахотного горизонта была неудовлетворительная независимо от степени эродированности почвы – в среднем 43–47 %. На

сильноэродированной почве отмечено снижение на 2–3 % по сравнению с неэродированной. В это период выявлен и самый высокий диапазон отклонений – 14–17 %.

В остальные 16 лет исследований для пахотного горизонта неэродированной почвы и слоя 0–10 см среднеэродированной характерна удовлетворительная пористость (50–54 %), а для Ап сильноэродированной и слоя 10–20 см среднеэродированной – неудовлетворительная (49–46 %). Снижение пористости по почвенно-эрозионной катене было на уровне 1–6 %. Диапазоны отклонений составили 9–16 %, причем минимальные (9–11 %) отмечены в последнюю ротацию севооборотов (2011–2016 гг.).

В среднем за 20-летний период (1996–2016 гг.) пористость изменялась от 51–53 % на неэродированной почве к 52–49 на средне- и 46–48 % на сильноэродированной разновидностях. Другими словами влияние эрозии выразилось в снижении общей пористости на 1–5 % на почвах, подверженных эрозионной деградации. Диапазоны отклонений в пористости пахотного горизонта дерново-подзолистых почв на лессовидных суглинках составили 19–26 %. Наименьшие колебания установлены у сильноэродированной почвы – 19–22 %, что свидетельствует, во-первых, о ее стабильности, и, во-вторых, о сложности и трудности изменения ее физического состояния. На средне- и неэродированной разновидностях диапазоны отклонений более 22 %. Следовательно, эти почвы легче поддаются окультуриванию, однако эти улучшения неустойчивы.

Оценка пористости показала, что в первые 5 лет исследований в пахотном горизонте исследуемых почв в 50–90 % случаев она соответствовала допустимым показателям независимо от степени эродированности (табл. 5, рис. 3). Доля критических значений колебалась от 10 % на средне- и неэродированной разновидностях до 20–50 % на сильноэродированной.

Таблица 5

Распределение пористости пахотного горизонта в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв на лессовидных суглинках, %

Год	Значения	Степень эродированности					
		неэродированная		среднеэродированная		сильноэродированная	
		0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
1996–2000	Оптимальные (49–54)	–	–	–	–	–	–
	Допустимые (39–48)	90	90	90	90	80	50
	Критические (<38)	10	10	10	10	20	50
2001–2005	Оптимальные (49–54)	70	17	17	–	45	3
	Допустимые (39–48)	30	83	83	84	55	94
	Критические (<38)	–	–	–	16	–	3
2006–2010	Оптимальные (49–54)	35	23	15	12	–	6
	Допустимые (39–48)	65	77	85	88	100	83
	Критические (<38)	–	–	–	–	–	11
2011–2016	Оптимальные (49–54)	19	3	10	–	–	–
	Допустимые (39–48)	81	97	90	97	91	82
	Критические (<38)	–	–	–	3	9	18

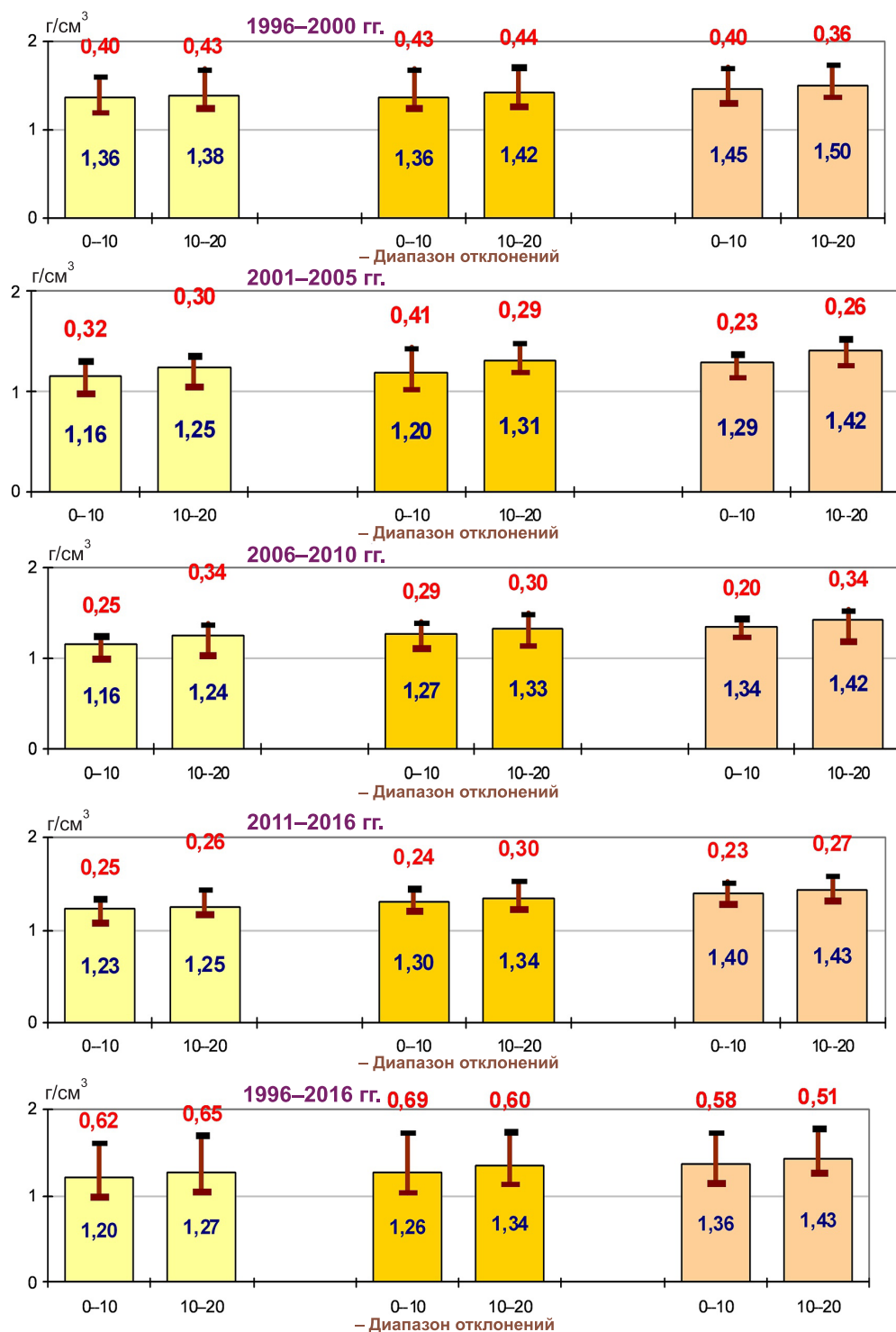


Рис. 3. Диапазон отклонений в пористости пахотного горизонта в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв на лессовидных суглинках, %

Для периода 2001–2005 гг. также характерно преобладание допустимых значений пористости – от 30 % в слое 0–10 см незеродированной почвы до 94 % на сильноэродированной. В данной ротации севооборотов оптимальная величина пористости выявлена в 17–70 % случаев на незеродированной почве и в 3–45 % на эродированных. В то же время от 3 до 16 % приходилось на критические значения в слое 10–20 см почв, подверженных эрозионной деградации.

В третьей ротации севооборотов доля допустимых значений составила 65–100 %. На средне- и незеродированной почвах отмечено 12–35 % случаев оптимального уровня пористости значений, а в слое 10–20 см сильноэродированной – 11 % критических показателей.

В последней ротации севооборотов (2011–2016 гг.) выявлено от 81 % до 97 % допустимых значений пористости, причем наибольшее в слое 10–20 см средне- и незеродированной разновидности. Отметим, что оптимальные значения отмечены только в Ап незеродированной почвы (3–19 %) и в слое 0–10 см среднеэродированной. Для этих же почв характерно отсутствие критических значений. На сильноэродированной разновидности доля критических показателей достигала 9–18 %.

Результаты исследований за 20-летний период свидетельствуют о доминировании допустимых значений пористости пахотного горизонта в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв на лессовидном суглинке – 66–93 % всех случаев (рис. 4).

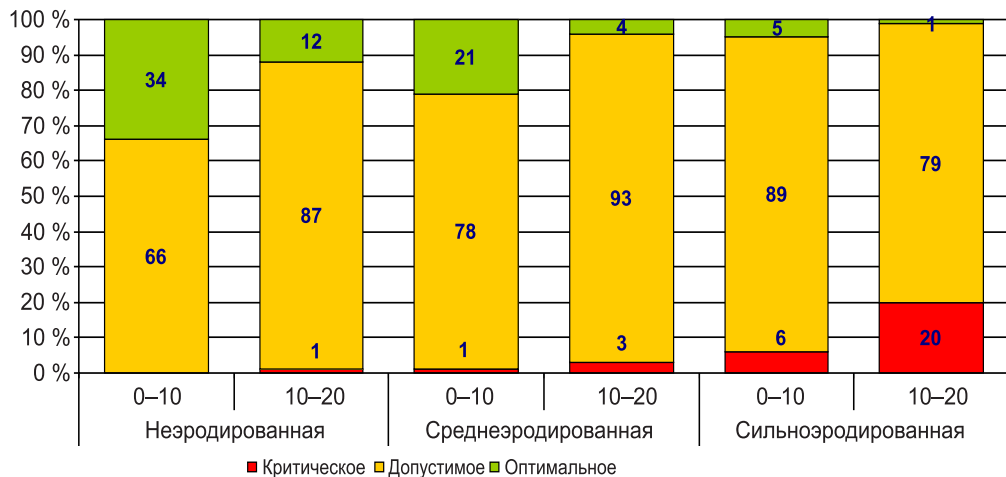


Рис. 4. Распределение пористости пахотного горизонта в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках, в среднем за 1996–2016 гг.

Наибольшее число случаев оптимальных значений пористости выявлено в слое 0–10 см незеродированной (34 %) и среднеэродированной разновидностей (21 %). Снижение пористости до критических значений отмечено в 6–20 % случаев в Ап сильноэродированной разновидности, в то время как на средне- и незеродированной почвах их всего 1–3 %.

Таким образом, физическое состояние эродированных дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках, определяют, в первую очередь, плотность ее сложения.

ВЫВОДЫ

1. Среднее многолетнее значение плотности пахотного горизонта дерново-подзолистых почв на лессовидных суглинках изменялось от 1,20 г/см³ до 1,43 г/см³ в зависимости от степени эродированности, т.е. пашня уплотнена и сильно уплотнена по классификации Н.А. Качинского. Колебания по почвенно-эрозионной катене составили 0,06–0,16 г/см³, а каждая последующая степень эродированности отличалась от предыдущей приблизительно на 0,06–0,10 г/см³.

Наиболее устойчива по годам и тяжелее поддается окультуриванию сильноэродированная, наименее – среднеэродированная почвы, так как диапазоны отклонений составили соответственно 0,60–0,69 г/см³ и 0,51–0,58 г/см³.

На исследуемых почвах преобладали допустимые значения плотности – 50–89 %, причем наибольшее их количество характерно для Ап среднеэродированной разновидности – 74–89 %. Самое высокое количество случаев оптимальных показателей отмечено на неэродированных почвах – 18–49%.

2. Средние за 20-летний период показатели пористости пахотного горизонта неэродированных и слоя 0–10 см среднеэродированных дерново-подзолистых почв на лессовидных суглинках составили 51–53 %, что свидетельствует об удовлетворительном состоянии. На сильноэродированных почвах пористость неудовлетворительная – 46–48 %.

Диапазоны отклонений в пористости пахотного горизонта исследуемых почв составили 19–26%, причем наименьшие у сильноэродированной почвы, что свидетельствует об ее стабильности, с одной стороны, но и о сложности и трудности изменения ее физических свойств, с другой. На средне- и неэродированной разновидностях диапазоны отклонений более 22 %.

В 66–93 % всех случаев установлен допустимый уровень пористости пахотного горизонта исследуемых почв. Вероятность снижения величины пористости до критических значений наиболее высока на сильноэродированной разновидности (6–20 %), а улучшения до оптимальных – на неэродированной (12–34 %).

3. Агрофизическое состояние в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках, определяет в первую очередь плотность ее сложения. Для пахотного горизонта практически всех исследуемых почв наиболее характерны допустимые значения пористости и плотности. В слое 10–20 см сильноэродированной почвы соотношение допустимых и критических показателей плотности 52 % к 48 %, а пористости – 79 % к 20 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Fleischhauer, E.* Can sustainable land use be achieved? An introductory view on scientific and political issues / E. Fleischhauer, H. Eger // *Advances in Geocology* 31. – Germany: Verlag, Reiskirchen Catena, 1998. – Vol. 1. – P. XIX–XXXII.

2. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation / D.L. Karlen [et al.] // Soil Science Society of America Journal. –1997. – Vol. 61. – P. 4–10.
3. *Моисеев, К.Г.* Исследование агрофизических свойств пахотных почв северо-запада Российской Федерации: методическое руководство / К.Г. Моисеев. – СПб.: Изд-во АФИ, 2011. – 52 с.
4. *Найденов, А.С.* Физические свойства почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур в полевом севообороте / А.С. Найденов, А.Ф. Бурбель // Агропромышленная газета юга России [электрон. ресурс]. – Режим доступа <http://www.agropromyug.com/tekhnologii/nauka/26-tekhnologii-zashchity-rastenij/64-fizicheskie-svoystva-pochvy-i-produktivnost-selskokhozyajstvennykh-kultur-v-polevom-sevooborote.htm>
5. *Ревут, И.Б.* Физика почвы / И.Б. Ревут. – М.: Колос, 1972. – 365 с.
6. 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.
7. Практикум по почвоведению / под ред. И.С. Кауричева. – М.: Колос, 1973. – 279 с.
8. *Вадюнина, А.Ф.* Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
9. *Гилев, Ю.В.* Физика почв: учебно-методические указания по полевой практике / Ю.В. Гилев. – Пермь, 2012. – 37 с.
10. *Качинский, Н.А.* Физика почв / Н.А. Качинский. – М., 1965. – Т. 1. – С. 155–161.
11. Зонально-провинциальные нормативы изменений агрохимических, физико-химических и физических показателей основных почв европейской территории России при антропогенных воздействиях / А. Фрид [и др.] // Рос. акад. с.-х. наук, Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. – М.: Почвенный институт, 2010. – 174 с.
12. *Цырибко, В.Б.* Определение оптимальных параметров агрофизических свойств почв и оценка современного состояния на их основе / В.Б. Цырибко // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 1(56). – С. 36–44.
13. *Кузнецова, И.В.* Оценка изменения физических свойств пахотных дерново-подзолистых суглинистых почв Нечерноземной зоны России в зависимости от характера антропогенного воздействия / И.В. Кузнецова, В.Ф. Уткаева, А.Г. Бондарев // Почвоведение. – 2009. – № 2. – С. 152–162.
14. Сравнительная оценка свойств эродированных почв при бессменном возделывании аллеги восточной и культур кормового севооборота / А.Ф.Черныш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 1(44). – С. 41–49.
15. Морфология и основные свойства эродированных дерново-палево-подзолистых почв, развивающихся на лёссовых и лёссовидных суглинках (по результатам мониторинговых наблюдений) / А.Ф.Черныш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 2(43). – С. 32–42.
16. Современное агрофизическое состояние почв Центральной почвенно-экологической провинции севооборота / А.Ф.Черныш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 1(56). – С. 15–25.

DYNAMIC OF THE BASIC PHYSICAL PROPERTIES OF THE ARABLE HORIZON OF SOD-PODZOLIC ERODED SOILS ON LOESSLIKE LOAMS UNDER THEIR AGRICULTURAL USING

**A.M. Ustinova, V.B. Tsyrybko, A.V. Yuhnovec,
N.Yu. Zhabrovskaya**

Summary

The results of 20-years researches of the state of the basic agrophysical properties of the arable horizon of sod-podzolic eroded soils on loesslike loams are presented at the article. Based on the findings the average long-term average density and porosity of the studied soils and ranges of their variation are determined.

The average long-term value of the density of the arable horizon of sod-podzolic soils developing on moraine loams changed from 1,20 g/cm³ to 1,43 g/cm³, depending on the degree of erosion. The density of the arable horizon of investigated soils coincided to acceptable values in 50–89 % of cases. The optimal values of porosity were identified in 49 % on non-eroded soils, and 49% critical marks – on highly eroded. The average porosity values amounted 46–53 %. The acceptable values were set at 63–90 % of all cases. The possibility of decrease to critical values is highest on the highly eroded variety (6–20 %), and improvement to optimal ones – on non-eroded (12–34 %).

Поступила 07.05.18

УДК 631.4

СПЕЦИФИКА АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СВОЙСТВ ОТДЕЛЬНЫХ ТИПОВ ПОЧВ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ

**С.В. Шульгина, Т.Н. Азаренок, О.В. Матыченкова, Л.И. Шибут,
Д.В. Матыченков, С.В. Дыдышко**

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

ВВЕДЕНИЕ

Знание строения, состава и свойств основных типов почв республики как исходных, так и современных позволяет установить современные тенденции их пространственно-временной трансформации в условиях стабильно нарастающей антропогенной нагрузки и провести экологическую оценку степени происходящих изменений в почвах пахотных земель за определенный временной период. Исследования же изменений в почвах, вызванных интенсификацией земледелия, являются одним из способов контроля и получения актуальной информации об их состоянии [1–9].

В основу подобного рода исследований положены сведения, содержащие актуальные аналитические данные, характеризующие строение, состав и свойства наиболее распространенных в почвенном покрове разновидностей почв естественных и пахотных земель по результатам современных научно-исследовательских работ, фондовые разновременные материалы о почвах республики РУП «Институт почвоведения и агрохимии», разновременные крупномасштабные почвенные карты сельскохозяйственных организаций республики.

Цель исследований – провести экологическую оценку трансформации отдельных типов почв пахотных земель республики под влиянием антропогенного фактора на основании разновременных показателей состава и свойств их естественных и пахотных аналогов, и установить специфику этих изменений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований послужили почвенные ряды, состоящие из естественных почв и их разновременных пахотных аналогов, включающие следующие разновидности: дерново-карбонатные выщелоченные легкосуглинистые, дерново-палево-подзолистые суглинистые, развивающиеся на лессовидных мощных легких суглинках, дерново-подзолистые на водно-ледниковых связных песках, дерново-подзолистые контактно-оглеенные супесчаные, развивающиеся на водно-ледниковых рыхлых супесях, подстилаемых с глубины 0,5–0,6 м моренными легкими суглинками, дерново-подзолистые слабogleеватые суглинистые на озерно-ледниковых средних суглинках, сменяемых с глубины до 0,5 м озерно-ледниковыми глинами, осушенные аллювиальные дерновые глееватые песчаные на аллювиальных отложениях.

Основными методами исследований явились:

- метод рядов антропогенных изменений почв;
- систематизация прошлых и актуальных данных о состоянии состава и свойствах исследуемых почв пахотных земель и их естественных аналогов;
- сравнительно-аналитический с использованием разновременных качественных и количественных характеристик почв;
- экспертных оценок;
- аналитические исследования выполнены по общепринятым методикам в лаборатории РУП «Институт почвоведения и агрохимии» и секторе агропочвоведения, цифрового картографирования и оценки почв.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На примере сформированных почвенных рядов, состоящих из объектов естественных почв и их разновременных пахотных аналогов, по которым представлена наиболее полная аналитическая характеристика, а также с учетом накопленного массива данных, характеризующих свойства почв, расчетных величин отклонений показателей почв пахотных земель от соответствующих значений в исходном естественном состоянии нами предпринята попытка оценить степень преобразований отдельных почвенных разновидностей под влиянием антропогенного фактора [7]. С этой целью ранее нами установлены критерии генетических свойств почв, построена шкала, которая содержит диапазоны изменений их величин с присвоенными индексами, характеризующими отклонение в % того или иного показателя

от исходного состояния [7], а также определены категории (табл. 1), позволяющие дифференцировать изменения критериев генетических свойств почв по степени их проявления. Итоговым показателем оценки предлагается считать комплексный коэффициент трансформации почвенной разновидности (КТП).

Таблица 1

**Оценка трансформации почв пахотных земель
под влиянием антропогенного фактора**

Коэффициент трансформации почвы (КТП*)	Категория степени трансформации почвы
1–8	Слабая
9–16	Умеренная
17–24	Сильная
>24	Очень сильная

*КТП = \sum индексов – $(n - 1)$, где \sum индексов – сумма числовых выражений индексов [7]; n – количество используемых индексов.

Выбор данного методического подхода обусловлен сутью почвы как природного объекта, выраженной в динамизме и эволюции, и фактическое наличие результата происходящих процессов, а именно признаков конкретной почвы, позволяет провести такого рода анализ [2, 4].

Необходимо отметить, что почвенные ряды включают объекты, идентичные по классификационному положению, увлажнению, генезису, гранулометрическому составу и строению почвообразующих пород, расположенные в схожих условиях на местности. Почвы пахотных земель ранжированы по времени исследований: прошлые (1960-х – 1980-х гг.) и современные (первых двух десятилетий 2000-х гг.). Для сравниваемых объектов соблюдалось обязательное условие – расположение на территории одного и того же почвенно-экологического района.

Следуя разработанной нами системе приемов исследований [7, 8], проведена экологическая оценка трансформации отдельных типов почв пахотных земель республики под влиянием антропогенного фактора, установлена специфика имеющих место изменений на примере 6 почвенных рядов (табл. 2):

➤ ряд № 1 дерново-карбонатных выщелоченных легкосуглинистых почв на территории Туровско-Давид-Городокского ПЭР. Включает исходный объект на луговых естественных землях 1980 г. обследования и разновременные объекты пахотных земель: 1974 г. (колхоз «Агро-Припять» Житковичского района, разрез № 30), 1990 г. (СПК «Советская Белоруссия» того же района, разрез № 1), 2004 г. (КСУП «Агро-Припять» Житковичского района, разрез № 5В-04);

➤ ряд № 2 дерново-палево-подзолистых естественных и пахотных суглинистых почв, развивающихся на мощных лессовидных легких суглинках, на территории Ошмянско-Минского ПЭР: естественная почва 1970-х гг. обследования (лесничество «Прилуцкая дача», разрез № 1), среднеоккультуренная почва 1960-х гг. (э/б «Курасовщина», разрез № 1НТ), среднеоккультуренная 2004 г. (э/б «Курасовщина», разрез № 2А), высокооккультуренная 2008 г. (ОАО «Гастелловское» Минского района, разрез № 1А);

➤ ряд № 3 дерново-подзолистых на водно-ледниковых связных песках почв на территории Малоритско-Лунинецко-Лоевского ПЭР: естественная почва 1975 г.

(Старобинский лесхоз, разрез № 2), среднеокультуренная 1990-х гг. (колх. «Большевик» Солигорского района, разрез № 265), среднеокультуренная 2004 г. (СПК «Большевик-Агро», разрез № 2А-04), высокоокультуренная почва 2008 г. (ОАО «Большевик-Агро», разрез № 2А-08);

➤ ряд № 4 дерново-подзолистых контактно-оглеенных супесчаных почв, развивающихся на водно-ледниковых рыхлых супесях, подстилаемых с гл. 0,5–0,6 м моренными легкими суглинками на территории Вилейско-Докшицкого ПЭР на примере лесной почвы 1980 г. (Докшицкое лесничество, разрез №5), почвы пахотных земель 1995 г. (СПК «Барсучанка» Докшицкого района, разрез № 241), среднеокультуренной почвы 2005 г. (ОАО «За Родину» Глубокского района, разрез № 2С-05);

➤ ряд № 5 дерново-подзолистых слабоглеватых суглинистых почв, развивающихся на озерно-ледниковых средних суглинках, сменяемых с гл. до 0,5 м озерно-ледниковыми легкими глинами. Включает разновременные разрезы в пределах Шарковщинско-Верхнедвинского ПЭР: лесная почва 1962 г. (Дисненский лесхоз, Шарковщинский район, разрез № 8), почвы пахотных земель 2000 г. обследования (СПК им. Ильича, Шарковщинский район, разрез № 41), объект 2004 г. (КСУП «Марково» Шарковщинского района, разрез № 5М-04);

➤ ряд № 6 аллювиальных дерновых глееватых осушенных песчаных почв, развивающихся на связнопесчаном аллювии, сменяемом с гл. 0,3–0,5 м рыхлопесчаным аллювием, в Малоритско-Лунинецко-Лоевском ПЭР. Включает исходный объект на естественных луговых землях 2003 г. (СПК «Плещицы» Пинского района, разрез № 64), почвы пахотных земель 2014 г. (КСУП «Пригорынский-2012» Столинского района, разрез № 1с-14), 2016 г. (КСУП «Козенки-Агро» Мозырского района, разрез № 16-16).

Согласно результатам исследований (табл. 2), в почвенном ряду № 1 дерново-карбонатных выщелоченных легкосуглинистых почв комплексный коэффициент трансформации разновидности 2004 г. обследования соответствует «умеренной» степени изменения свойств, на что существенно повлияло превышение содержания и запасов гумуса, емкости поглощения, содержания подвижного калия над естественным потенциалом.

В почвенном ряду № 2 дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв расчетный коэффициент в трех вариантах соответствует «сильной степени» изменения, причем преобразования в современных разновидностях отличаются более благоприятным характером по сравнению с изменениями 40-летней давности. Содержание ила, гумуса и величина емкости поглощения возрастают и приближаются к исходному потенциалу, несмотря на сохранение их сильной степени изменения. Запасы гумуса также возрастают, прежде всего, за счет увеличения мощности гумусированного горизонта. Значительно увеличивается величина pH_{KCl} , сумма поглощенных оснований, содержание подвижных форм фосфора и калия.

Окультуренные дерново-подзолистые почвы на водно-ледниковых связных песках (ряд № 3) отличаются «очень сильной» степенью эволюционных изменений под влиянием антропогенного фактора, причем трансформация по всем критериям стабильно «очень сильная» со знаком «+», то есть характерен значительный прирост по всем показателям в сравнении с естественным потенциалом, особенно в высокоокультуренном варианте.

**Оценка трансформации отдельных почвенных разновидностей
пахотных земель республики**

№ ря- да	Год обсле- дова- ния	Критерий; отклонение от исходного состояния, %; индекс изменения критерия; коэффициент трансформации почвы (КТП)								
		содер- жание ила	содер- жание гумуса	запасы гумуса	pH _{KCl}	S	T	V	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	1974	+0,4*/1**	-6/2	-5/1	-33/3	-70/3	-53/3	-36/2	-97/3	-54/2
	КТП = 12 (умеренная***)									
	1990	-	-	-	-20/2	+15/1	+26/2	-6/1	-89/3	-12/1
	КТП = 6 (слабая)									
	2004	-10/2	+40/3	+42/3	-27/3	+50/2	+81/4	-15/1	-71/3	+46/2
2	КТП = 15 (умеренная)									
	1960-е	-29/3	-81/4	+16/2	+43/4	-30/2	-77/3	+206/4	+180/4	+80/3
	КТП = 21 (сильная)									
	2004	-27/3	-79/4	+36/3	+60/4	+11/1	-72/3	+298/4	+221/4	+458/4
	КТП = 22 (сильная)									
2008	-15/2	-67/4	+153/4	+73/4	+46/2	-66/3	+328/4	+387/4	+782/4	
КТП = 23 (сильная)										
3	1990-е	+8/2	+41/4	+198/4	+29/3	+390/4	+116/4	+337/4	+263/4	+821/4
	КТП = 25 (очень сильная)									
	2004	+17/3	+54/4	+226/4	+32/3	+520/4	+143/4	+183/4	+377/4	+1644/4
	КТП = 26 (очень сильная)									
	2008	+58/4	+205/4	+357/4	+46/4	+970/4	+236/4	+207/4	+435/4	+2370/4
КТП = 28 (очень сильная)										
4	1995	-	+3/1	-	+25/3	-35/2	-56/3	+49/2	+368/4	+127/4
	КТП = 13 (умеренная)									
	2005	-6/2	+35/2	+98/4	+60/4	+206/4	+73/3	+77/3	+1504/4	+247/4
КТП = 22 (сильная)										
5	2000	-	-33/3	-	+51/4	+64/3	-32/2	+140/4	+1755/4	+266/4
	КТП = 18 (сильная)									
	2004	-	-40/3	-	+47/4	+107/4	-8/1	+125/4	+2072/4	+159/4
КТП = 18 (сильная)										
6	2014	-	-80/4	-	-8/2	-86/4	-84/4	-13/2	+423/4	+875/4
	КТП = 18 (сильная)									
	2016	-	-64/4	-	-13/3	-83/4	-78/4	-25/2	-53/3	+34/2
КТП = 15 (сильная)										

* Величина отклонения показателя от исходного состояния, % [7].

** Индекс изменения величины критерия согласно установленному диапазону его варьирования [7].

*** Степень трансформации свойств почвенной разновидности (см. табл. 1).

Свойства современного объекта, характеризующего дерново-подзолистую контактно-оглеенную рыхлосупесчаную почву двучленного строения в ряду № 4 также трансформированы в «сильной» степени, причем почти все отклонения физико-химических и агрохимических свойств характеризуются положительным знаком с «сильной» и «очень сильной» категориями.

Установлена «сильная» степень трансформации и в ряду № 5 дерново-подзолистой слабоглеевой среднесуглинистой разновидности на озерно-ледниковых породах, которая отражает положительную направленность формирования благоприятных агрохимических и физико-химических свойств для земледелия.

В ряду № 6 КТП соответствует «сильной» степени трансформации свойств осушенных аллювиальных дерновых глееватых связнопесчаных почв. Антропогенная эволюция свойств этих почв имеет двойственный характер. С одной стороны, в современных вариантах четко выражена потеря содержания гумуса и величины емкости поглощения в очень сильной степени, а, с другой, имеет место значительный рост содержания подвижных форм фосфора и калия.

ВЫВОДЫ

Таким образом, на современном этапе эволюционного развития почвы пахотных земель, вовлеченные в сельскохозяйственный оборот на протяжении более чем 40-летнего периода, характеризуются чаще всего категорией трансформации свойств «сильная» по отношению к их естественному потенциалу.

Результаты выше изложенных исследований указывают на четкую зависимость степени трансформации свойств гумусово-аккумулятивных горизонтов изученных разновидностей почв от их гранулометрического состава, что отражает специфику имеющих место преобразований в почвенном покрове республики. Так, в почвах на суглинистых отложениях варьирование величин КТП находится в пределах 6–23, на супесчаных породах КТП = 13–22, а на связнопесчаных – КТП = 15–28. Следовательно, почвы пахотных земель, сформировавшиеся на легких почвообразующих породах (песчаных, рыхлосупесчаных), подвержены трансформации в более сильной степени.

Данная разработка является первым приближением оценки трансформации минеральных почв республики, требующая апробации на большом количестве почвенных разновидностей с возможными дальнейшими дополнениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Двинских, С.А.* Оценка экологической ситуации в Пермской области с учетом интенсивности природопользования / С.А. Двинских, Т.В. Зуева // Географический вестник. – Пермь: Пермский гос. нац. исслед. ун-т, 2005. – С. 124–137.
2. *Розанов, Б.Г.* Морфология почв / Б.Г. Розанов. – М.: Академический проект, 2004. – 432 с.
3. *Масютенко, Н.П.* Оценка влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние почвы / Н.П. Масютенко, А.В. Кузнецов // Экологическое нормирование, сертификация и паспортизация почв как научная основа рационального землепользования: материалы докладов Междунар. науч.-практ. конф.,

30 сент. – 1 окт. 2010 г. / сост. С.А. Кулачкова, О.А. Макаров. – М.: МАКС Пресс, 2010. – С. 115–117.

4. Оценка экологического состояния почвенно-земельных ресурсов и окружающей природной среды Московской области / под ред. Г.В. Добровольского, С.А. Шобы. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 221 с.

5. *Романова, Т.А.* Устойчивость пахотных почв Белоруссии к химическому загрязнению / Т.А. Романова, Н.Н. Ивахненко // Почвоведение. – 2003. – № 6 – С. 754–763.

6. *Хитров, Н.Б.* Деградация почвы и почвенного покрова: понятия и подходы к получению оценок / Н.Б. Хитров // Антропогенная деградация почвенного покрова и меры её предупреждения. – М., 1998. – Т.1. – С. 20–26.

7. Экологическая оценка трансформации состава и свойств дерново-палево-подзолистых почв под влиянием антропогенного фактора / С.В. Шульгина [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 2(59). – С. 14–25.

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

9. *Черныш, А.Ф.* Сравнительная оценка агрофизических, микроморфологических свойств и минералогического состава, отражающих степень устойчивости дерново-подзолистых почв на лессовидных и моренных суглинках к эрозионной деградации / А.Ф. Черныш, В.Т. Сергеенко, В.Б. Цырибко // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1(52). – С. 32–40.

SPECIFICITY OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF THE PROPERTIES OF SOME SOIL TYPES IN THE ARABLE LANDS OF BELARUS

**S.V. Shul'gina, T.N. Azarenok, O.V. Matychenkova, L.I. Shibut,
D.V. Matychenkov, S.V. Dydushko**

Summary

The article provides the ecological assessment of the transformation of some soils types in arable lands of the republic under the influence of anthropogenic factor on the basis of the time-varying indicators of the composition and properties of their natural and arable analogues, with the establishment of the specificity of the changes that occur.

Поступила 10.05.18

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ НА ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МОЛДОВЫ И СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

В.Е. Алексеев

*Институт Почвоведения, Агротехники и Защиты почв им. Н.А. Димо,
г. Кишинев, Молдова*

ВВЕДЕНИЕ

Территории лесостепи Молдовы и Русской равнины весьма различны как по геологическому возрасту и возрасту минералогического субстрата, так и по отношению к последствиям, которые вызвали оледенения четвертичного периода. Молдову ледник не достиг, и почвенный покров не уничтожился, в то время как территория Среднерусской возвышенности была покрыта ледником [1, 2]. Эти различия, казалось бы, не могли не найти отражение в минералогии этих почв, что и следовало проверить.

Наряду с этим ставилась задача проверить, будет ли на серых лесных почвах Русской равнины (название почв согласно классификации, используемой в настоящее время в Молдове [3]) работать методика оценки их минералогического состояния, которая применяется нами в Молдове. Несмотря на достаточное число исследований почв, в литературе немного суждений о минералогических свойствах почвообразующих пород Русской равнины. Б.П. Градусов, например, в свое время отмечал, что осадочный материал на эту территорию поступал из самых разных источников: пород морен, местного материала древних комплексов пород, пород горного обрамления (Урал, Кавказ, Карпаты), древних (дочетвертичных) пород центральных фаций равнины. Вопреки этому минералогический, гранулометрический и химический состав покровных отложений Русской равнины, по его же утверждению, достаточно однообразен [4]. Важную роль в однообразии состава пород равнины, как считает В.Н. Холодов, сыграл глубокий врез современной речной системы, доходящий местами до 50–100 м, в результате чего в речной сток, осадки и отложения террас поступал материал пород по меньшей мере всего кайнозоя [5]. Аналогичные соображения о выдержанности состава мелкозема покровных отложений равнины высказывает В.В. Добровольский, что, по его мнению, явилось важным фактором формирования ясно выраженной мегаструктуры почвенного покрова региона [6]. Наши исследования затрагивают тот же вопрос в плане сравнения минералогии лесостепных почв Молдовы и Русской равнины, в частности, ее состава и характера распределения по профилю. Серая лесная почва в Молдове находится на территории, которая никогда под ледником не была, а серая лесная почва на Русской равнине, напротив, находится на территории, в свое время занятой ледником. В этой связи сравнительное исследование приобретает дополнительный научный интерес.

Задача исследования – дать сравнительную характеристику минералогического состояния серых лесных почв в Молдове и на Среднерусской возвышенности, установить, имеются ли различия как в составе минералов, так и в распределении их по профилю. Наряду с этим, выяснить возможность применения методики оценки минералогического состояния почв, используемой в Молдове, на серых лесных почвах Русской равнины.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В Молдове объектом сравнительного исследования служила серая лесная почва на покровном лессовидном тяжелом суглинке, представленная разрезом 21, заложенным в дубово-грабовом лесу на платообразном участке Тигечской возвышенности близ села Ларгуца. Абсолютная высота – 297 м. Серая лесная почва Среднерусской возвышенности представлена разрезом 25, заложенным на увале в ясеневом-дубовом лесу в окрестностях населенного пункта Крапивна Тульской области. Абсолютная отметка – 235 м. Почвообразующей породой является покровный тяжелый суглинок, сформировавшийся поверх основной морены, продукта, вероятнее всего, днепровского оледенения. Подчеркнем различие между почвообразующими породами исследуемых почв, заключающееся в том, что в Молдове порода представляет собой отложение лессовидного характера, на Среднерусской возвышенности – моренного.

Методика исследования состава первичных и глинистых минералов и оценки минералогического состояния почв описана в [1]. Необходимо отметить, что после проведения минералогических анализов на полную глубину почвенного профиля стало очевидным, что относительно однородной почвообразующая порода в тульской серой лесной почве сохраняется только до глубины 115 см до горизонта В2 включительно. Глубже (горизонт ВС) неоднородность породы проявилась по резкому повышению содержания кварца и снижению содержания слоистых силикатов во фракции >1 мкм. Для соблюдения сравнимости объектов исследования все расчеты изменений в минералогии по профилю обеих почв были осуществлены на глубину до горизонта В2 включительно и по отношению к этому горизонту. Такие поправки в почвенных генетических исследованиях не желательны, но в данном случае были неизбежны. В решении сформулированных задач они принципиальной отрицательной роли не сыграли.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первичные минералы сосредоточены во фракции >1 мкм, поэтому на их состав и характер распределения по профилю влияет содержание и поведение по профилю самой фракции. В молдавской почве содержание фракции находится в пределах 62–77 %, в тульской – 65–91 %. В обоих случаях ее содержание увеличивается от горизонта В2 к верхним горизонтам (табл. 1). Если нижние пределы содержания фракции, принадлежащие горизонтам В2, близки (63 и 65 %), то верхние различаются существенно (77 и 91 %). Оба высоких показателя принадлежат горизонтам А1А2 и А1, где процессы разложения силикатов происходят наиболее интенсивно и где наиболее выражено

относительное накопление устойчивого кварца. Как видим, процесс выветривания отражается на гранулометрии почвы, и он в тульской почве по внешним признакам проявляется сильнее. Выразительным показателем того же самого является увеличение в обеих почвах содержания фракции вверх по профилю. В целом содержание фракции >1 мкм в исследуемых почвах определяется не только процессами выветривания, но, вероятно, и несколько более легким гранулометрическим составом тульской почвы. В обеих почвах фракция представлена одними и теми же минералами: кварцем, полевыми шпатами (плагиоклазами и калиевыми), слюдами, хлоритом и глинистым минералом каолинитом. Содержание кварца в данной фракции обеих почв составляет 58–67 %, возрастает вверх по профилю, что еще лучше видно по данным в пересчете на почву. Тульская почва больше содержит кварца (40–61 % против 37–50 % в молдавской), калиевых полевых шпатов (10–13 % против 7–9 % в молдавской) и каолинита; молдавская – слюд (5–7 % против 3–5 % в тульской) и хлорита. В генетическом плане эти данные могут свидетельствовать не только о более высокой изначальной выветренности почвообразующей породы тульской почвы, но и о более интенсивном течении в ней процесса выветривания и почвообразования. Наряду с кварцем, содержание полевых шпатов также имеет тенденцию увеличиваться вверх по профилю. Содержание слоистых силикатов во фракции >1 мкм и в пересчете на почву имеет тенденцию в обеих почвах уменьшаться вверх по профилю.

Глинистые минералы в исследуемых почвах представлены фракцией <1 мкм. Ее содержание в молдавской почве составляет 23–38 % и увеличивается в горизонтах В. В тульской почве содержание фракции несколько ниже (9–35 %), особенно в верхней части профиля, и увеличивается также в горизонтах В (табл. 2). Состав глинистых минералов в обеих почвах представлен одной ассоциацией: смектитом, иллитом, хлоритом и каолинитом. В обеих почвах количественно преобладает смектит (3–22 %), на втором месте иллит (4–12 %). Хлориту (1–3 %) и каолиниту (2–5 %) принадлежит подчиненная роль. Тульская почва меньше содержит смектита и иллита. Во фракции <1 мкм содержание смектита увеличивается с глубиной, а иллита – к верхним горизонтам. В пересчете на почву содержание обоих минералов увеличивается в горизонтах В. В серых лесных почвах имеет место перенос иллита по профилю, и происходит это, судя по показателям в верхних горизонтах, более интенсивно в тульской почве. Во фракции <1 мкм горизонтов А1, А2 обеих почв отмечается повышенное содержание хлорита (8–9 %), а в самых верхних горизонтах – каолинита (10–25 %). Высоким содержанием каолинита особенно отличается тульская лесная почва. Эти показатели свидетельствуют, что указанные горизонты являются как местом накопления диспергируемого грубозернистого материала (хлорит, каолинит), так и местом накопления более устойчивого к выветриванию материала (каолинит). Повышенное содержание каолинита по всему профилю тульской почвы само по себе указывает на то, что ее почвообразующая порода является продуктом более глубокого выветривания в сравнении с таковой молдавской почвы.

В пересчете на почву содержание обоих минералов, хлорита и каолинита, к верхним горизонтам обнаруживает тенденцию снижаться, что указывает на разрушение в этих почвах не только неустойчивого первого минерала, но и второго.

Таблица 1

Содержание первичных минералов в исследуемых почвах

Горизонт	Глубина, см	Фракция >1 мкм, %	Фракция >1 мкм, %						Почва, %					
			кварц	плагио-клазы	кали-шпаты	слюды	хлорит	каоли-нит	кварц	плагио-клазы	кали-шпаты	слюды	хлорит	каоли-нит
<i>Молдова, серая лесная тяжелосуглинистая, разрез 21, плато, абс. выс. – 297 м</i>														
Ад	1–7	74,2	62,4	14,2	12,0	8,8	2,3	0,3	46,3	10,5	8,9	6,5	1,7	0,2
А1	10–20	76,8	65,6	14,3	11,6	6,1	1,8	0,6	50,4	11,0	8,9	4,7	1,4	0,5
А2	25–35	69,1	64,1	14,4	11,6	7,3	1,8	0,8	44,3	10,0	8,0	5,0	1,2	0,6
В1	50–60	62,1	62,5	14,5	11,4	8,7	1,9	1,0	38,8	9,0	7,1	5,4	1,2	0,6
В2	90–100	62,9	58,0	14,5	12,4	11,0	2,4	1,7	36,5	9,1	7,8	6,9	1,5	1,1
<i>Русская равнина, Тульская область, серая лесная тяжелосуглинистая, разрез 25, увал, абс. выс. – 235 м</i>														
Ад	2–11	86,2	67,2	12,4	13,7	4,8	1,2	0,7	57,9	10,7	11,8	4,1	1,0	0,6
А1А2	11–27	90,7	66,8	12,6	13,1	5,5	1,2	1,0	60,6	11,4	11,8	5,0	1,1	0,9
А2В	27–38	81,7	66,4	12,1	16,1	3,5	0,6	1,4	54,2	9,9	13,2	2,9	0,5	1,1
В1	38–54	68,2	66,3	11,9	16,3	3,9	0,8	0,8	45,2	8,1	11,1	2,7	0,5	0,6
В2	54–115	65,2	61,4	13,7	15,9	6,3	1,1	1,5	40,0	9,0	10,4	4,1	0,7	1,0

Таблица 2

Содержание глинистых минералов в исследуемых почвах

Горизонт	Глубина, см	Фракция <1 мкм, %	Фракция <1 мкм, %						Почва, %					
			Смектит	Иллит	Хлорит	Каолинит	Смектит	Иллит	Хлорит	Каолинит				
<i>Молдова, серая лесная тяжелосуглинистая, разрез 21, плато, абс. выс. – 297 м</i>														
Ад	1–7	25,8	45,3	37,6	7,1	10,0	11,7	9,7	1,8	2,6				
А1	10–20	23,2	48,0	31,1	9,0	11,9	11,1	7,2	2,1	2,8				
А2	25–35	30,9	49,1	34,0	7,1	9,8	15,2	10,5	2,2	3,0				
В1	50–60	37,9	56,3	31,0	5,8	6,9	21,3	11,7	2,2	2,6				
В2	90–100	37,1	58,2	27,4	6,9	7,5	21,6	10,2	2,6	2,8				
<i>Русская равнина, Тульская область, серая лесная тяжелосуглинистая, разрез 25, увал, абс. выс. – 235 м</i>														
Ад	2–11	13,8	34,2	35,4	5,5	24,8	4,7	4,9	0,8	3,4				
А1А2	11–27	9,3	33,8	37,2	8,0	21,1	3,1	3,5	0,7	2,0				
А2В	27–38	18,3	41,7	33,9	8,0	16,4	7,6	6,2	1,5	3,0				
В1	38–54	31,8	51,0	29,2	6,4	13,3	16,2	9,3	2,0	4,2				
В2	54–115	34,8	52,5	28,8	5,6	13,1	18,3	10,0	1,9	4,6				

Таким образом, приведенные выше данные свидетельствуют о том, что в исследуемых молдавской и тульской серых лесных тяжелосуглинистых почвах состав как первичных, так и глинистых минералов идентичен. Исследуемые почвы различаются, но близки по содержанию обеих групп минералов. Под воздействием процессов выветривания и почвообразования происходит дифференциация первичных и глинистых минералов по профилю. По ряду признаков интенсивность перераспределения минералов по профилю в тульской лесной почве выражена сильнее. Характер преобразования минералогического состава в обеих почвах однотипен. Полученные данные позволяют говорить о выветривании первичных и глинистых минералов, о переносе глинистых минералов из элювиальных горизонтов А в иллювиальные, об относительном накоплении в верхней части профилей исследуемых почв устойчивого к выветриванию кварца.

Более детальную картину происходящих в этих почвах процессов можно получить на основании данных, предоставляемых системой показателей их минералогического состояния, разработанной ранее для черноземов [7]. В данном случае ее работоспособность проверяется на серых лесных почвах (табл. 3).

Таблица 3

Параметры минералогического состояния силикатной части исследуемых почв

Горизонт	K1	K2	K3	K4	ПИИС	ПНИС	ПИКС	ПНКС	ПИКИ	ПНКИ
<i>Молдова, серая лесная тяжелосуглинистая, разрез 21, плато, абс. выс. – 297 м</i>										
Ад	1,10	1,43	1,20	1,83	8,30	3,59	3,96	2,27	4,77	1,18
A1	1,17	2,01	1,38	2,21	6,48	1,77	4,52	2,83	6,98	3,39
A2	1,14	1,69	1,29	1,46	6,92	2,22	2,92	1,23	4,22	0,63
B1	1,12	1,40	1,21	1,04	5,51	0,80	1,82	0,13	3,30	-0,29
B2	1,00	1,00	1,00	1,00	4,71	0,00	1,69	0,00	3,59	0,00
<i>Русская равнина, Тульская область, серая лесная тяжелосуглинистая, разрез 25, увал, абс. выс. – 235 м</i>										
Ад	1,24	1,48	1,29	3,65	10,35	4,87	12,27	10,08	11,86	7,86
A1A2	1,26	1,28	1,26	5,66	11,01	5,52	19,26	17,07	17,50	13,51
A2B1	1,14	1,77	1,24	2,58	8,13	2,64	7,11	4,92	8,74	4,75
B1	1,14	1,76	1,24	1,24	5,73	0,24	2,79	0,60	4,87	0,88
B2	1,00	1,00	1,00	1,00	5,49	0,00	2,19	0,00	3,99	0,00

Система представлена 10 показателями:

– соотношения **K1**, **K2**, **K3** характеризуют степень выветривания полевых шпатов (суммарно плагиоклазов и калиевых полевых шпатов, K1), слоистых силикатов (суммарно слюд, хлорита и каолинита, K2), тех и других вместе (K3), **K4** представляет собой отношение содержания в процентах кварца к содержанию безгумусного бескарбонатного ила по профилю, деленное на такое же отношение в породе;

– показатель интенсивности выветривания, иллит-смектитовый (**ПИИС**) оценивает интенсивность преобразования фракции <1 мкм по горизонтам почвы в аспекте изменения соотношения иллит/смектит;

– показатель напряженности выветривания, иллит-смектитовый (**ПНИС**) характеризует напряженность минеральных преобразований в ряду изменения отно-

шения иллит/смектит по всему профилю и представляет разницу в ПИИС между верхним горизонтом и породой;

– показатель интенсивности выветривания, кварц-смектитовый (**ПИКС**) представляет собой отношение содержания в процентах кварца к содержанию смектита в каждом горизонте;

– показатель напряженности выветривания, кварц-смектитовый (**ПНКС**) характеризует одной цифрой напряженность минеральных преобразований по всему профилю и представляет разницу в ПИКС между верхним горизонтом и породой;

– показатель интенсивности выветривания, кварц-иллитовый (**ПИКИ**) представляет собой отношение содержания в процентах кварца к содержанию иллита в каждом горизонте;

– показатель напряженности выветривания, кварц-иллитовый (**ПНКИ**) характеризует одной цифрой напряженность минеральных преобразований по всему профилю и представляет разницу в ПИКИ между верхним горизонтом и породой [1].

Исходными данными для расчетов указанных показателей послужил аналитический материал табл. 1 и 2.

Обратим внимание на то, что все показатели K1–K4 в обеих почвах превышают единицу (табл. 3). Это означает, что по отношению к горизонту B2 во всех вышележащих горизонтах более интенсивно, чем в самом горизонте B2, происходит разрушение полевых шпатов (K1), первичных слоистых силикатов (K2), тех и других вместе (K3), а также вынос и разрушение глинистых минералов. По большей части показателей, их величине, процесс интенсивнее протекает в тульской серой лесной почве. Вопреки тому, что ранее было отмечено в обеих почвах увеличение содержания полевых шпатов вверх по их профилям, по отношению к кварцу показатели K1 демонстрируют их разрушение. Эффект повышения содержания кварца и полевых шпатов в верхних горизонтах почв является относительным к глинистым минералам, содержание которых в верхних горизонтах, напротив, снижается. Нередко горизонты A1 и/или A2 выступают как части профиля, в которых разрушение минералов происходит наиболее энергично. Это особенно видно на примере глинистых минералов (K4), где показатель 2,21 в горизонте A1 молдавской почвы и показатель 5,66 в горизонте A1A2 тульской почвы резко превышают показатели других горизонтов. Более высокие значения в этих горизонтах наблюдаются и по другим показателям. Эти данные, по нашему мнению, должны рассматриваться как признак формирования оподзоленного горизонта. Иллювиальные горизонты B1 и B2 характеризуются повышенным, а вышележащие элювиальные горизонты, напротив, пониженным содержанием глинистых минералов (см. табл. 2, 3). Поскольку структурный состав глинистых минералов иллювиальных горизонтов идентичен таковому элювиальных горизонтов, имеются все основания считать, что в обеих почвах происходит перенос глинистых минералов по профилю в ненарушенном состоянии или лессиваж. Вместе с этим на примере горизонта B1 обеих почв видно, что показатели K1–K3 в иллювиальном горизонте превышают единицу, что свидетельствует о более интенсивном, по отношению к горизонту B2, разрушении в нем первичных минералов. Известно, что разрушение первичных минералов в почвах лесостепи происходит путем полного их растворения или в результате физической диспергации (слюды, хлорит) с обогащением ими ила [8].

Последний процесс является составной частью оглинивания. В связи с этим теоретически возможно, что в накоплении глинистых минералов в иллювиальных горизонтах исследуемых серых лесных почв наряду с лессиважем могло бы принимать участие глинообразование через физическую диспергацию слоистых первичных минералов тех же горизонтов. Более того, согласно выдвинутой ранее концепции [8], в серых лесных почвах как типе возможно в разных горизонтах и в разных соотношениях одновременное течение трех процессов – оподзоливания, лессиважа и оглинивания. В данном случае в обеих почвах надежно диагностируются два процесса: один – идущий по типу оподзоливания, другой – как лессиваж. В горизонте В может протекать процесс глинообразования через физическую диспергацию слоистых первичных минералов, но он не завершается глинонакоплением или оглиниванием, поскольку новообразованный материал тут же подвергается разрушению, на что указывают значения K4 в горизонте В1, превышающие единицу.

Другие показатели характеризуют минералогическое состояние глинистой части почв (фракции <1 мкм). ПИИС отражает поведение смектита и иллита в данной фракции. Соотношение по профилю между двумя этими минералами в обеих почвах складывается одинаково: иллит накапливается в элювиальной его части, а смектит – в иллювиальной. На это указывает закономерное увеличение показателей вверх по профилю (в молдавской почве – до 8, а в тульской – до 10–11). Это значит, что процесс дифференциации минералов по профилю под влиянием почвообразования в тульской лесной почве развивается интенсивнее, чем в молдавской. О том же самом свидетельствуют показатели напряженности течения процесса по профилю – ПНИС. Дифференциация по профилю между кварцем и смектитом отражают ПИКС и ПНКС. Картина складывается аналогично с иллитом: по отношению к смектиту кварц накапливается в верхней части профиля, а сам процесс, как и с иллитом, интенсивнее протекает в тульской почве: в молдавской почве соответствующие показатели в горизонте Ад составили 4 и 2, в тульской – 12 и 10. Особенно рельефно различия проявились по горизонтам А1 и А1А2: в молдавской почве – 5 и 3, в тульской – 19 и 17. Еще раз обратим внимание – практически все показатели в горизонтах А1 и А1А2 имеют максимальные значения (выделены цветом), указывая, что данные горизонты являются местом наиболее интенсивного разрушения минералов с накоплением в них более устойчивых, таких как кварц и иллит. Приведенные данные еще раз свидетельствуют о развитии в обеих почвах процесса по типу оподзоливания. Соотношение между кварцем и иллитом отражают показатели ПИКИ и ПНКИ. Согласно им иллит по отношению к кварцу разрушается, а процесс усиливается в обеих почвах вверх по профилю, получив наибольшее развитие в тульской серой лесной почве, на что указывают величины показателей. В горизонте В1 показатели меньше единицы, что свидетельствует о накоплении в нем иллита вследствие, скорее всего, лессиважа.

Заслуживает внимания следующее обстоятельство: по многим приведенным выше признакам серая лесная почва Среднерусской возвышенности выступает как образование, в котором процессы выветривания силикатной части в сравнении с серой лесной почвой Молдовы прошли более длительный путь. К сожалению, мы не располагаем данными по минералогическому составу почвообразующей породы тульской почвы. При их наличии мы могли бы сказать, в какой

степени выветренности силикатной части тульской почвы является следствием более высокой выветренности самой почвообразующей породы и в какой она является результатом непосредственно процесса почвообразования. Принимая во внимание, что возраст молдавской почвы намного больше, чем тульской, так как территория Молдовы не подвергалась оледенению, более высокая видимая степень выветренности силикатной части тульской почвы может быть следствием трех факторов: (1) более высокой изначальной степени выветренности ее породы в сочетании с (2) возможным облегчением породы вверх по профилю и (3) более агрессивным течением процесса почвообразования. Все три названных фактора являются в равной мере вероятными.

На основании проведенных исследований и анализа результатов можно также заключить, что методика минералогических исследований вместе с методикой оценки минералогического состояния почв, используемые в Молдове, применимы и на почвах Русской равнины. Вместе с тем для окончательного заключения подобные исследования следует продолжить.

ВЫВОДЫ

1. Сравнительное исследование минералогического состояния серых лесных тяжелосуглинистых почв на покровных отложениях Молдовы и Среднерусской возвышенности различного генезиса, в первом случае лессовидного характера, во втором – моренного происхождения, показало, что их силикатная часть представлена одинаковым составом первичных и глинистых минералов. По содержанию минералов почвы различаются, но незначительно, что объясняется более легким гранулометрическим составом, вероятно, более высокой степенью выветренности породы и агрессивностью почвообразования в тульской почве, в результате чего в ней выше содержание кварца, калиевых полевых шпатов, меньше слюд, хлорита, смектита и иллита и выше уровень дифференцированности минералов по профилю.

2. Установлено также, что трансформация минералогического состава в обеих почвах под влиянием процессов выветривания и почвообразования подчиняется одним и тем же закономерностям: в них происходит разрушение первичных и глинистых минералов, перенос глинистых минералов из элювиальной части профиля в иллювиальную в результате лессиважа, в элювиальной части профиля намечаются проявления по типу оподзоливания. Вследствие данных процессов в почвах происходит относительное накопление устойчивого к выветриванию кварца. Дифференцирующее действие почвообразования на минералогию обеих почв проявляется одним и тем же образом: кварц и полевые шпаты накапливаются в элювиальной части профиля, слоистые силикаты, включая и глинистые минералы, – в иллювиальной.

3. По совокупности приведенных выше признаков принципиальных различий в минералогии и ее реакции на процессы выветривания и почвообразования серых лесных тяжелосуглинистых почв на покровных отложениях разного генезиса Молдовы и Среднерусской возвышенности не установлено, что в свою очередь свидетельствует о генетической связи между разными покровными суглинками.

Исследования показали, что методика минералогических исследований и методика оценки минералогического состояния почв, используемые в Молдове, при-

менимы и на почвах Русской равнины. Для окончательного заключения подобные исследования следует продолжить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев, В.Е.* Сравнительная характеристика минералогического состояния черноземов типичных на покровных отложениях водоразделов Молдовы и Среднерусской возвышенности / В. Е. Алексеев // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1 (58). – С. 32–45.
2. *Алексеев, В.Е.* Черноземы типичные на покровных отложениях водоразделов Молдовы и Среднерусской возвышенности: баланс минералов / В.Е. Алексеев // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1 (58). – С. 45–54.
3. *Крупеников, И.А.* Классификация и систематический список почв Молдавии / И.А. Крупеников, Б.П. Подымов. – Кишинев, 1987. – 157 с.
4. *Градусов, Б.П.* Закономерности генезиса и географии минералогического состава почвообразующих пород Русской равнины / Б.П. Градусов // Грунтознание. – 2010. – Т. 11. – № 3–4. – С. 13–26.
5. *Холодов, В.Н.* Об эволюции питающих провинций в истории Земли / В.Н. Холодов // Проблемы литологии и геохимии осадочных пород и руд: к 75-летию Н.М. Страхова. – М.: Наука, 1975. – С. 191–209.
6. *Добровольский, В.В.* Состав мелкозема рыхлых почвообразующих пород Восточно-Европейской равнины / В.В. Добровольский // Почвоведение. – 2005. – № 5. – С. 345–354.
7. *Алексеев, В.Е.* Способ оценки минералогического состояния силикатной части черноземов / В.Е. Алексеев // Почвоведение. – 2012. – № 2. – С. 189–199.
8. *Алексеев, В.Е.* Минералогия почвообразования в степной и лесостепной зонах Молдовы: диагностика, параметры, факторы, процессы / В.Е. Алексеев. – Кишинев, 1999. – 241 с.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE MINERALOGICAL STATUS OF GRAY FOREST SOILS ON THE COVERING SEDIMENTS OF MOLDOVA AND THE CENTRAL RUSSIAN UPLAND

V.E. Alekseev

Summary

It is established that the silicate part of the gray forest soils on the covering sediments of Moldova and the Central Russian upland is presented close in composition and content of primary and clay minerals. The transformation of the mineralogical composition of both soils occurs under the influence of the same processes: the destruction of primary and clay minerals, lessivage, manifestation of podzolisation and a relative accumulation of quartz. The silicate part of the younger soil on the Central Russian upland contains signs of a higher degree of weathering, which is explained accordingly.

Поступила 30.03.18

СЕРЫЕ ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ НА ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МОЛДОВЫ И СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ: БАЛАНС МИНЕРАЛОВ

В.Е. Алексеев

*Институт Почвоведения, Агрохимии и Защиты почв им. Н.А. Димо,
г. Кишинев, Молдова*

ВВЕДЕНИЕ

Исследуются минералогические особенности двух почв одной и той же генетической принадлежности, но разделенных территориально: одна находится в Молдове, другая – на Русской равнине. В предыдущей статье охарактеризовано их минералогическое состояние по ряду показателей. В этом сообщении исследование продолжено, но в более углубленном виде, на уровне оценки баланса минералов.

Задача исследования – установить, существуют ли принципиальные различия между указанными почвами в отношении данного показателя. Другая задача – апробировать, также как и в случае с черноземами [1, 2], названный подход, используемый в Молдове при оценке минералогического состояния почв, с той же целью на серых лесных почвах Русской равнины.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования служат серые лесные почвы, характеристика которых приведена в предыдущей статье. Обе почвы тяжелосуглинистого гранулометрического состава, что обеспечивает условие сравнимости объектов. Напомним, что почвообразующей породой в молдавской почве выступает лессовидный покровный суглинок, в тульской – покровный суглинок, сформировавшийся на моренном суглинке. Различие в почвообразующих породах с учетом поставленных задач вносит в исследование дополнительный научный интерес. В связи с нарушением однородности почвообразующей породы тульской почвы глубже горизонта В2 для соблюдения условия сравнимости объектов все расчеты изменений в минералогии по профилю в обеих почвах произведены по отношению к горизонту В2.

Балансовые расчеты проведены на основании результатов определения содержания первичных минералов во фракции >1 мкм и глинистых минералов во фракции <1 мкм в пересчете их содержания на почву в целом, приведенных в предыдущей статье. Подход к представлению результатов расчетов в таблицах развернутого вида описан в [2]. Таблицами такого формата преследуется цель последовательно показать, как складывается общая картина баланса минералов. Напомним, что расчеты проведены по отношению к кварцу, индикатору произошедших в почвах изменений вследствие своей устойчивости к выветриванию, и из допущения изначальной однородности пород. Результаты расчетов, не укладывающиеся в понимание естественного развития процессов выветривания и почвообразования на однородной породе, относили к проявлениям ее неод-

нородности. Термин «баланс минералов» использовали, когда потери и прибавки минералов в конкретном горизонте выражены в кг/100 кг породы, в данном случае в кг/100 кг силикатов горизонта В2 (табл. 1, 2), а термин «баланс масс минералов», когда потери и прибавки минералов выражены с учетом мощности, плотности и массы силикатов всего горизонта в т/га по отношению к тому же горизонту В2 (табл. 3, 4).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим баланс первичных минералов (табл. 1). Тульская почва в сравнении с молдавской заметно легче по гранулометрическому составу, поэтому содержание в ней фракции >1мм, представленной первичными минералами, выше. В то же время горизонты В2, служащие точкой отсчета минералогических изменений по профилю, по содержанию данной фракции близки между собой (65 и 63 %). Вверх по профилю содержание упомянутой фракции в обеих почвах увеличивается, что сопровождается увеличением содержания кварца. Его содержание в тульской почве оказывается существенно выше, чем в молдавской, что может быть следствием, с одной стороны, более легкого гранулометрического состава, с другой – более высокой степени выветренности ее силикатной части.

В отношении других первичных минералов, кроме кварца, следует отметить более высокое содержание калиевых полевых шпатов в тульской почве (10–13 % против 7–9 % в молдавской) и повышенное содержание слюд в молдавской почве (5–7 % против 3–5 % в тульской), а также отчасти повышенное содержание в молдавской почве хлорита.

После приведения содержания минералов по горизонтам к содержанию кварца в горизонте В2 (Мгп) и расчета баланса минералов (Мд), в обеих почвах является отрицательный баланс по всем минералам. В зависимости от группы минералов он измеряется величиной от 0,1 до 3,5 кг/100 кг силикатной части горизонта В2. Относительно небольшие потери минералов объясняются тем, что они характеризуют только верхнюю часть профиля по отношению к горизонту В2, а не весь профиль к породе, как это обычно имеет место быть при однородных породах. В молдавской почве наибольшие потери (2,8–3,5 кг/100 кг) относятся к слюдам в горизонтах А1 и А2. В тульской почве наибольшие потери принадлежат, калиевым полевым шпатам, а также слюдам и в тех же горизонтах. В целом суммарные потери первичных минералов в обеих почвах близки (4–7 кг/100 кг силикатов горизонта В2), они увеличиваются вверх по профилю и несколько выше в горизонтах А1 и А2 молдавской почвы (6–7 кг/100 кг силикатов горизонта В2 против 5 кг/100 кг в тульской почве).

Если по первичным минералам получены реальные данные по их потерям по отношению к горизонту В2, то данные баланса по глинистым минералам таковыми не являются. Дело в том, что иллювиальные горизонты обеих почв, одним из которых является горизонт В2, уже содержат глинистые минералы, перенесенные из элювиальных горизонтов, как установлено в первой статье, посредством лессиважа. Поэтому полученные цифры баланса носят искаженный, завышенный характер. В данном случае результаты больше выполняют демонстрационную роль, хотя по ним можно судить и об объемах произошедших изменений. Их назначение – показать идентичность или различия процессов в молдавской и тульской почвах.

Таблица 1

Баланс первичных минералов в силикатной части серых лесных почв

Гори-зонт	Глубина, см	Содержание первичных минералов, весовой % в силикатной части почвы										Мгп*, кг/100 кг горизонта В2										Мд, кг/100 кг горизонта В2					
		кварц	плагиоклазы	кальцевые полевые шпаты	слюды	хлорит	каолинит	фракция > 1 мкм	кварц	кальцевые полевые шпаты	слюды	хлорит	каолинит	сумма	кварц	плагиоклазы	кальцевые полевые шпаты	слюды	хлорит	каолинит	балланс первичных минералов						
<i>Молдова, серая лесная тяжелосуглинистая, разрез 21, плато, абс. выс. – 297 м</i>																											
Ад	1–7	46,3	10,5	8,9	6,5	1,7	0,2	74,2	36,5	8,3	7,0	5,1	1,3	0,2	58,4	0,0	-0,8	-0,8	-1,8	-0,2	-0,9	-4,5					
А1	7–22	50,4	11,0	8,9	4,7	1,4	0,5	76,8	36,5	8,0	6,4	3,4	1,0	0,4	55,7	0,0	-1,1	-1,4	-3,5	-0,5	-0,7	-7,2					
А2	22–35	44,3	10,0	8,0	5,0	1,2	0,6	69,1	36,5	8,2	6,6	4,1	1,0	0,5	56,9	0,0	-0,9	-1,2	-2,8	-0,5	-0,6	-6,0					
В1	35–66	38,8	9,0	7,1	5,4	1,2	0,6	62,1	36,5	8,5	6,7	5,1	1,1	0,6	58,4	0,0	-0,6	-1,1	-1,8	-0,4	-0,5	-4,5					
В2	66–100	36,5	9,1	7,8	6,9	1,5	1,1	62,9	36,5	9,1	7,8	6,9	1,5	1,1	62,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
<i>Среднерусская возвышенность, серая лесная тяжелосуглинистая, разрез 25, увал, абс. выс. – 235 м</i>																											
Ад	2–11	57,9	10,7	11,8	4,1	1,0	0,6	86,2	40,0	7,4	8,2	2,8	0,7	0,4	59,6	0,0	-1,5	-2,2	-1,3	-0,1	-0,6	-5,6					
А1А2	11–27	60,6	11,4	11,8	5,0	1,1	0,9	90,7	40,0	7,5	7,8	3,3	0,7	0,6	59,9	0,0	-1,4	-2,6	-0,8	-0,1	-0,4	-5,3					
А2В1	27–38	54,2	9,9	13,2	2,9	0,5	1,1	81,7	40,0	7,3	9,7	2,1	0,3	0,8	60,3	0,0	-1,7	-0,7	-2,0	-0,4	-0,1	-4,9					
В1	38–54	45,2	8,1	11,1	2,7	0,5	0,6	68,2	40,0	7,2	9,8	2,4	0,5	0,5	60,4	0,0	-1,8	-0,6	-1,8	-0,3	-0,5	-4,8					
В2	54–115	40,0	9,0	10,4	4,1	0,7	1,0	65,2	40,0	9,0	10,4	4,1	0,7	1,0	65,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					

*Мгп – содержание минерала в горизонте относительно содержания кварца в горизонте В2; Мд – убыль (прибавка) минерала в сравнении с горизонтом В2.

Таблица 2

Баланс глинистых и общий баланс минералов в силикатной части серых лесных почв

Гори-зонт	Глубина, см	Содержание глинистых минералов, весовой % в силикатной части почвы						Мгп*, кг/100 кг горизонта В2						Мд, кг/100 кг горизонта В2						Баланс минералов		
		сметит	иллит	хлорит	каолинит	фракция > 1 мкм	сметит	иллит	хлорит	каолинит	сумма	сметит	иллит	хлорит	каолинит	баланс глинистых минералов	первичных	глинистых	общий баланс			
<i>Молдова, серая лесная почва тяжелосушливая, разрез 21, плато, абс. выс. – 297 м</i>																						
Ад	1–7	11,7	9,7	1,8	2,6	25,8	9,2	7,6	1,4	2,0	20,3	-12,4	-2,6	-1,2	-0,8	-16,9	-4,5	-16,9	-21,3			
А1	7–22	11,1	7,2	2,1	2,8	23,2	8,0	5,2	1,5	2,0	16,8	-13,6	-5,0	-1,1	-0,8	-20,4	-7,2	-20,4	-27,6			
А2	22–35	15,2	10,5	2,2	3	30,9	12,5	8,7	1,8	2,5	25,5	-9,1	-1,5	-0,8	-0,3	-11,7	-6,0	-11,7	-17,7			
В1	35–66	21,3	11,7	2,2	2,6	37,9	20,0	11,0	2,1	2,4	35,6	-1,6	0,8	-0,5	-0,4	-1,6	-4,5	-1,6	-6,1			
В2	66–100	21,6	10,2	2,6	2,8	37,1	21,6	10,2	2,6	2,8	37,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
<i>Среднерусская возвышенность, серая лесная почва тяжелосушливая, разрез 25, увал, абс. выс. – 235 м</i>																						
Ад	2–11	4,7	4,9	0,8	3,4	13,8	3,3	3,4	0,5	2,4	9,6	-15,0	-6,6	-1,4	-2,2	-25,3	-5,6	-25,3	-30,9			
А1А2	11–27	3,1	3,5	0,7	2,0	9,3	2,1	2,3	0,5	1,3	6,1	-16,2	-7,7	-1,4	-3,3	-28,7	-5,3	-28,7	-33,9			
А2В1	27–38	7,6	6,2	1,5	3,0	18,3	5,6	4,6	1,1	2,2	13,5	-12,7	-5,5	-0,9	-2,4	-21,3	-4,9	-21,3	-26,3			
В1	38–54	16,2	9,3	2,0	4,2	31,8	14,4	8,2	1,8	3,8	28,2	-3,9	-1,8	-0,1	-0,8	-6,7	-4,8	-6,7	-11,5			
В2	54–115	18,3	10,0	1,9	4,6	34,8	18,3	10,0	1,9	4,6	34,8	0	0	0	0	0	0,0	0	0,0			

*Мгп – содержание минерала в горизонте относительно содержания кварца в горизонте В2; Мд – убыль (прибавка) минерала в сравнении с горизонтом В2.

Таблица 3

Баланс масс первичных минералов в серых лесных почвах

Горизонт	Глубина, см	Мощность, см	Плотность, г/см ³	Масса, т/га	Баланс масс первичных минералов								Баланс погоризонтный			
					платиооклазы		капишлаты		слюды		хлорит		каолинит		кг/100 кг	т/га
					кг/100 кг	т/га	кг/100 кг	т/га	кг/100 кг	т/га	кг/100 кг	т/га	кг/100 кг	т/га		
<i>Молдова, серая лесная тяжелосуглинистая, разрез 21, плато, абс. выс. – 297 м</i>																
Ад	1–7	6	0,88	528	–0,8	–4	–0,8	–4	–1,8	–9	–0,2	–1	–0,9	–5	–4,5	–24
А1	7–22	15	1,43	2145	–1,1	–24	–1,4	–29	–3,5	–75	–0,5	–10	–0,7	–16	–7,2	–155
А2	22–35	13	1,49	1937	–0,9	–17	–1,2	–23	–2,8	–54	–0,5	–10	–0,6	–12	–6,0	–116
В1	35–66	31	1,53	4743	–0,6	–30	–1,1	–53	–1,8	–86	–0,4	–18	–0,5	–25	–4,5	–213
В2	66–100	–	–	–	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
Профильный баланс минералов, т/га					–	–75	–	–110	–	–226	–	–39	–	–58	–	–508
<i>Среднерусская возвышенность, серая лесная тяжелосуглинистая, разрез 25, увал, абс. выс. – 235 м</i>																
Ад	2–11	9	0,82	738	–1,5	–11	–2,2	–16	–1,3	–9	–0,1	0	–0,6	–4	–5,6	–42
А1А2	11–27	16	1,47	2352	–1,4	–33	–2,6	–60	–0,8	–19	–0,1	–1	–0,4	–9	–5,3	–124
А2В1	27–38	11	1,51	1661	–1,7	–28	–0,7	–11	–2,0	–33	–0,4	–7	–0,1	–2	–4,9	–82
В1	38–54	16	1,52	2432	–1,8	–43	–0,6	–14	–1,8	–43	–0,3	–7	–0,5	–12	–4,8	–118
В2	54–115	–	–	–	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
Профильный баланс минералов, т/га					–	–116	–	–102	–	–106	–	–15	–	–27	–	–366

Таблица 4

Баланс масс глинистых и общий баланс масс минералов в серых лесных почвах

Горизонт	Глубина, см	Мощность, см	Плотность, г/см ³	Масса, т/га	Баланс масс глинистых минералов						Баланс погоризонтный		Общий баланс масс минералов, т/га			
					СМЕКТИТ		ИЛЛИТ		ХЛОРИТ		КАОЛИНИТ		кг/100 кг	т/га	Блм*	Бог
					т/га	кг/100 кг	т/га	кг/100 кг	т/га	кг/100 кг	т/га	кг/100 кг				
<i>Молдова, серая лесная тяжелосуэллинистая, разрез 21, плато, абс. выс. – 297 м</i>																
Ад	1–7	6	0,88	528	-12,4	-65	-2,6	-14	-1,2	-6	-0,8	-4	-17,0	-90		
А1	7–22	15	1,43	2145	-13,6	-292	-5,0	-107	-1,1	-24	-0,8	-17	-20,5	-440		
А2	22–35	13	1,49	1937	-9,1	-176	-1,5	-29	-0,8	-15	-0,3	-6	-11,7	-227		
В1	35–66	33	1,53	4743	-1,6	-76	0,8	38	-0,5	-24	-0,4	-19	-1,7	-81	-508	-1345
В2	66–100	–	–	–	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0		
Профильный баланс минералов, т/га					–	-609	–	-112	–	-69	–	-46	–	-837		
<i>Среднерусская возвышенность, серая лесная тяжелосуэллинистая почва, разрез 25, увал, абс. выс. – 235 м</i>																
Ад	1–7	9	0,82	738	-15,0	-111	-6,6	-49	-1,4	-10	-2,2	-16	-25,2	-186		
А1А2	7–22	16	1,47	2352	-16,2	-381	-7,7	-181	-1,4	-33	-3,3	-78	-28,6	-673		
А2 В1	22–35	11	1,51	1661	-12,7	-211	-5,5	-91	-0,9	-15	-2,4	-40	-21,5	-357		
В1	35–66	16	1,52	2432	-3,9	-95	-1,8	-44	-0,1	-2	-0,8	-19	-6,6	-161	-366	-1742
В2	66–100	–	–	–	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0		
Профильный баланс минералов, т/га					–	-798	–	-365	–	-61	–	-153	–	-1376		

*Блм – баланс масс первичных минералов, Бгм – баланс масс глинистых минералов, Бог – общий баланс масс минералов.

Баланс по всем глинистым минералам в обеих почвах, как и по первичным, отрицательный (табл. 2). Наибольшие потери принадлежат смектиту (2–16 кг/100 кг силикатов горизонта В2) и иллиту (2–8 кг/100 кг силикатов горизонта В2) и в обеих почвах увеличиваются вверх по профилю. Максимальные потери этих минералов принадлежат горизонтам А1 и А1А2. Потери по хлориту и каолиниту составляют 0,3–3,3 кг/100 кг силикатов горизонта В2. Максимальные суммарные потери глинистых минералов отмечены также в горизонтах А1 и А1А2 и достигают 20–29 кг/100 кг силикатов горизонта В2. Еще раз напомним, что вычисленные потери глинистых минералов установлены по отношению к иллювиальному горизонту, куда ранее уже был вынесен определенный объем тех же минералов.

Тульская серая лесная почва в сравнении с молдавской характеризуется более высокими потерями как глинистых минералов, так и суммарными потерями с первичными минералами, достигая максимума в горизонте А1А2 – 34 кг/100 кг силикатов горизонта В2. В молдавской почве тот же показатель составляет 28 кг/100 кг силикатов горизонта В2. Важно отметить, что полученные данные баланса минералов, несмотря на утрированные потери глинистых минералов, демонстрируют однотипное развитие почвенных процессов в исследуемых почвах с тем отличием, что в тульской почве они за счет глинистых минералов протекают в целом более интенсивно.

Оценка изменений, выраженных в потерях вещества силикатов в т/га с учетом мощности и плотности почв по горизонтам (табл. 3, 4), позволяет более наглядно отражать трансформацию в минералогии силикатов почв.

Наибольшие потери первичных минералов в обеих почвах приходится на полевые шпаты и слюды (суммарно 102–226 т/га соответственно). Если потери полевых шпатов в обеих почвах соизмеримы (в молдавской в сумме до 185 т/га, в тульской – 218 т/га), то потери слюд в молдавской почве вдвое выше, чем в тульской (226 т/га против 106 т/га). Последнее можно объяснить более высоким исходным содержанием слюд в молдавской почве (табл. 3). В молдавской почве вдвое более высокие потери слоистых хлорита (39 т/га) и глинистого минерала каолинита (58 т/га), входящего в состав фракции >1 мкм. Надо заметить, что высокие показатели по содержанию слюд и хлорита в молдавской почве являются следствием близости к Карпатам (короткие пути миграции материала пород) и результатом меньшей выветренности почвообразующей породы в сравнении с таковой на Русской равнине.

Суммарные погоризонтные потери первичных минералов в обеих почвах лежат в пределах от 24 до 213 т/га. Они заметно выше в молдавской почве и определяются исходным содержанием, интенсивностью разложения минералов в данном горизонте и его мощностью. Суммарные профильные потери первичных минералов, находящихся в горизонтах выше горизонта В2, по отношению к нему в молдавской почве составили 508 т/га, в тульской – 366 т/га. Более высокая потеря первичных минералов в молдавской почве обусловлена вдвое более мощным горизонтом В1 (31 см против 16 см в тульской почве).

На основании полученных данных можно заключить, что принципиальных различий в ходе процессов выветривания первичных минералов в молдавской и тульской серых лесных почвах по направленности не наблюдается. Различия по объемам выветривания возникают за счет различий в мощности одноименных горизонтов и содержания в них минералов.

Баланс масс глинистых минералов, как и первичных минералов, в обеих почвах отрицательный (табл. 4). Наибольшие потери связаны со смектитом (609–798 т/га) и иллитом (112–365 т/га), существенно меньшие – с хлоритом (61–69 т/га) и каолинитом (46–153 т/га). В тульской почве потери смектита, иллита и каолинита выше, чем в молдавской. Это объясняется более интенсивными разрушением и выносом этих минералов в тульской почве вследствие лессиважа. Напомним, что эти результаты получены на фоне уже вынесенных из элювиальных в иллювиальные горизонты глинистых минералов. По этой причине в обеих почвах они выше истинных потерь примерно вдвое. Вместе с тем полученные результаты свидетельствуют об однотипном развитии процессов, т.е. наличии разложения глинистых минералов наряду с выносом их в иллювиальный горизонт посредством лессиважа и, как следствие, формировании по ним отрицательного баланса. Суммарные потери глинистых минералов в элювиальной части профиля тульской почвы примерно в полтора раза выше, чем в молдавской – 1376 против 837 т/га.

В таблице 4 подведены окончательные результаты баланса масс первичных и глинистых минералов в обеих почвах. Они показывают, что в молдавской почве в сравнении с тульской выше потери первичных минералов (508 против 366 т/га) и ниже – глинистых минералов (837 против 1376 т/га). Суммарные потери обеих групп минералов в молдавской почве составили 1345 т/га, в тульской они за счет глинистых минералов оказались значительно выше, достигнув 1742 т/га.

Проведенные минералогические балансовые исследования, несмотря на вынужденную нестандартную методику (выполнение расчетов по отношению к иллювиальному горизонту), позволили установить, что тульская серая лесная тяжелосуглинистая почва в сравнении с аналогичной молдавской почвой по суммарным потерям первичных и глинистых минералов выступает как продукт более глубоких преобразований ее силикатной части. По первичным минералам такого, казалось бы, заключения сделать нельзя, поскольку их потери в тульской почве ниже, чем в молдавской, но это в основном потому, что в тульской почве горизонт В1 оказался вдвое меньшей мощности. Главные потери силикатов в тульской почве произошли за счет глинистых минералов.

Под вопросом остаются два аспекта данного исследования. Первый: как объяснить, что более древняя серая лесная почва Молдовы (сохранность почвенного покрова из-за отсутствия оледенения) за всю свою историю испытала менее глубокие минералогические преобразования, чем более молодая аналогичная почва Среднерусской возвышенности (Русская равнина)? Второй: как объяснить слишком большую разницу в потерях глинистых минералов в исследуемых почвах, которая оказалась в пользу тульской почвы? Это обстоятельство особо обращает на себя внимание в связи с относительной молодостью данной почвы. Нам представляется, что тульская почва, хотя и относится к тяжелосуглинистым, являет собой более облегченный вариант этой гранулометрической разновидности в сравнении с молдавской почвой. Нельзя исключать, как отмечено в предыдущей статье, вероятность облегчения тульской почвы вверх по профилю. В этой связи тульская почва должна больше содержать кварца и меньше слюд и глинистых минералов, что и установлено. В результате увеличиваются отношения кварца к этим минералам. Наконец, осадочный материал почвообразующих пород Русской равнины из-за более дальних и продолжительных путей миграции, чем

в Молдове, сам по себе должен быть более выветренным образованием. Только совокупностью перечисленных факторов можно объяснить неожиданное, на первый взгляд, явление более высокой выветренности силикатной части серой лесной тяжелосуглинистой почвы Среднерусской возвышенности, более молодой по возрасту в сравнении с аналогичной почвой из Молдовы.

Проведенные исследования и полученные новые сведения дают основания считать, что методика оценки минералогического состояния серых лесных почв, используемая при изучении почв Молдовы, находит свое применение и при изучении серых лесных почв Русской равнины. Однако для большей уверенности в подобном заключении такие исследования следует продолжить.

ВЫВОДЫ

1. Балансовые исследования двух серых лесных тяжелосуглинистых почв на покровном лессовидном суглинке (Молдова) и на моренном покровном суглинке (Среднерусская возвышенность) при их близком минералогическом составе показали соразмерные, в результате выветривания и почвообразования, потери первичных минералов и существенно более значительные потери глинистых минералов в почве на Среднерусской возвышенности. В отношении направленности и хода выветривания первичных и глинистых минералов в молдавской и тульской серых лесных почвах принципиальных различий не установлено.

2. Видимые объемы потерь силикатной части более молодой по возрасту тульской почвы превышают таковые более древней молдавской почвы. Возникшее противоречие объясняется тем, что тульская почва в сравнении с молдавской по гранулометрическому составу представляет собой более облегченный вариант тяжелосуглинистой почвы вместе с возможным облегчением тульской почвы вверх по профилю, повлекшие за собой при балансовых расчетах ряд последствий, в результате которых почва предстала как более выветренное образование. Повышенной видимой выветренности силикатного материала тульской почвы по ее профилю могла способствовать изначально более выветренная, чем в молдавской почве, сама почвообразующая порода.

3. Несмотря на различия в происхождении почвообразующих пород (Молдова – лессовидный покровный суглинок, Среднерусская возвышенность – моренный), их минералогические показатели свидетельствуют о генетической близости данных образований.

Проведенные исследования и полученные новые сведения позволяют считать, что методика оценки минералогического состояния серых лесных почв, используемая при изучении почв Молдовы, находит свое применение и при изучении серых лесных почв Русской равнины. Вместе с тем для большей надежности подобного заключения такие исследования следует продолжить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, В.Е. Сравнительная характеристика минералогического состояния черноземов типичных на покровных отложениях водоразделов Молдовы и Среднерусской возвышенности / В.Е. Алексеев // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 32– 45.

2. Алексеев, В.Е. Черноземы типичные на покровных отложениях водоразделов Молдовы и Среднерусской возвышенности: баланс минералов / В.Е. Алексеев // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 45–54.

GRAY FOREST SOILS ON THE COVERING SEDIMENTS OF MOLDOVA AND THE CENTRAL RUSSIAN UPLAND: THE BALANCE OF MINERALS

V.E. Alekseev

Summary

It is established that irrespective of the origin of the soil-forming rocks (cover loams of different genesis), the gray forest soils of Moldova and the Central Russian upland are similar in mineralogical composition and volumes of losses of primary minerals as a result of weathering and soil formation processes. According to the total losses with clay minerals, the younger age of the soil on the Central Russian upland is ahead of the Moldovan analogue. A corresponding explanation has been proposed for this phenomenon. The identity of the mineralogical composition of the loess-like cover loam of Moldova and the cover loam on the moraine of the Russian plain testifies to the genetic proximity of these formations. It has been established that the methodology for calculating the balance of minerals used in Moldova has found application in the study of soils on the Russian plain.

Поступила 30.03.18

УДК 631:659.78:528(075)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЫ НА ОСНОВЕ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

М.А. Солоха

*Институт почвоведения и агрохимии имени О.Н. Соколовского,
г. Харьков, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

В развитых странах Европы, таких как Германия, Франция, а также в США и Израиле сегодня развивают новое направление мониторинга, которое включает в себя аэрофотосъемку с помощью беспилотников или БАК – беспилотных авиационных комплексов [1–122]. Однако в литературе практически не встречаются работы, посвященные анализу агрохимических показателей с помощью аэрофотосъемки с БАК, за исключением анализа вегетационных индексов, кото-

рые, по мнению автора, малопригодны для решения подобных вопросов. Данное направление является очень актуальным и перспективным, поскольку позволяет оперативно оценивать состояние почвенного покрова.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной целью исследований было: установить связь микрорельефа с почвенными показателями (углерод органического вещества, $pH_{\text{вод}}$, $pH_{\text{сол}}$, катионно-анионный состав, макро- и микроэлементы, гранулометрический состав) и показать результаты по определению этих показателей на основе аэрофотоснимков (ортофотопланов).

Исследования проводились на территории хозяйства «Граковское» Харьковской области, преобладающая почва – чернозем типичный среднесуглинистый, а также на территории н.п. Баратовка Снегиревского района Николаевской области, преобладающая почва – чернозем южный, малогумусный, тяжелосуглинистый.

Использовались классические методы почвоведения – заложение разрезов и прикопок; для определения почвенных показателей – лабораторные методы согласно действующим нормативным документам Украины; дистанционные методы – аэрофотосъемка с помощью беспилотного летательного аппарата.

Регистрацию каналов модели RGB выполняли с помощью фотоаппарата Pentax W60, установленного на БАК. Технические характеристики: 1/2,3" CCD-матрица, затвор при съемке: 1/5-1/320. ISO 50-1600 в режиме Digital SR (5 Мп). Съемка проводилась в дневные часы (с 9.30 до 17.00) с разных позиций и направлений визирования. Высота полета БАК над тестовыми площадками колебалась в диапазоне от 80 м до 100 м, съемка проводилась при разных условиях освещения и облачности для наработки методических решений по снижению их влияния на достоверность информации.

Определение мест отбора проб для последующего инструментального анализа проводилось на картах, которые строились на основе ортофотоплана (аэрофотосъемка с БАК) поля. Ортофотоплану присваивались географические координаты, согласно стандартных методов географической привязки в географической информационной системе (Mapinfo). Графическим инструментарием ГИС дешифрировались контуры растительности в начале и в течение ее вегетации. После чего слой с ортофотопланом отключался, а на слой изолиний, который был создан, намечались точки отбора образцов для последующего инструментального анализа. Съемки и отбор образцов проводили несколько раз в течение года: 05.05.2017 г.; 25.05.2017 г.; 23.06.2017 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На всех объектах контуры полей визуально отделялись на ортофотопланах при любых погодных условиях. Образцы на территории хозяйства «Граковское» отбирались в нескольких местах поля, включая микропонижения, определяемые на основе ортофотопланов. Но если на поле № 1 микропонижения имели размеры более 30 м (более блюдopodobное), то на поле № 2 размер микропонижения

в 10 раз меньше. При учете урожая на обоих участках наблюдалась низкая урожайность как сои (поле № 1) так и озимой пшеницы (поле № 2).

В образцах, отобранных в пределах почвенного контура (фон и в понижении) на территории поля № 1 (рис. 1, номер 1), в результате химического анализа были получены данные по содержанию углерода, $pH_{\text{сол}}$ и $pH_{\text{вод}}$ (табл. 1), катионно-анионному составу (табл. 2), а также гранулометрическому составу (табл. 3).

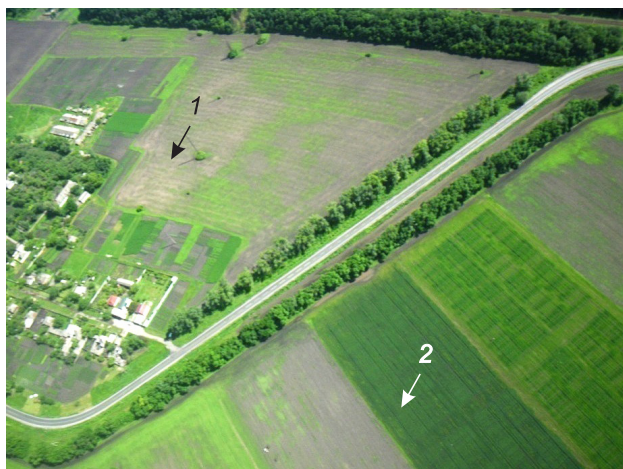


Рис.1. Объекты исследования поля № 1, 2

Таблица 1

Содержание углерода органического вещества и pH в почвенных образцах поля № 1

№ образца	Содержание углерода органического вещества, % 05.05.2017 г.	Содержание углерода органического вещества, % 25.05.2017 г.	Содержание углерода органического вещества, % 23.06.2017 г.	$pH_{\text{сол}}$ 25.05.2017 г.	$pH_{\text{вод}}$ 25.05.2017 г.
1 понижение	2,38	2,74	2,72	4,67	6,44
2 понижение (повторение)	2,43	2,78	2,86	4,78	6,60
3 понижение (повторение)	2,52		2,83	4,70	6,60
4 фон	3,15	3,2	3,16	5,69	7,37
6 фон (повторение)	3,09	–	–	6,26	7,74
6 фон (повторение)	3,06	–	–	5,72	7,35

В блюдоподобном понижении наблюдалось всегда более низкое содержание углерода в слое (0–30 см). Также наблюдалась четкая разница между значениями показателей: $pH_{\text{сол}}$, $pH_{\text{вод}}$, количеством ионов Ca^{2+} образцов, отобранных на фоне и в понижении, что связано с промывкой карбонатов в понижении (табл. 1, 2), в остальных значениях существенная разница отсутствует.

Гранулометрический состав этих образцов существенно не отличался (табл. 3).

Таблица 2

Катионно-анионный состав почвенных образцов поля № 1

№ образца	HCO ₃ ⁻		Cl ⁻		SO ₄ ⁻²		Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺		K ⁺	
	Количество эквивалентов, ммоль/100 г	Массовая часть, %	Количество эквивалентов, ммоль/100 г	Массовая часть, %	Количество эквивалентов, ммоль/100 г	Массовая часть, %	Количество эквивалентов, ммоль/100 г	Массовая часть, %	Количество эквивалентов, ммоль/100 г	Массовая часть, %	Количество эквивалентов, ммоль/100 г	Массовая часть, %	Количество эквивалентов, ммоль/100 г	Массовая часть, %
1 понижение	0,06	0,0037	0,05	0,002	0,12	0,006	0,12	0,002	0,06	0,001	0,03	0,001	0,02	0,0008
2 понижение (повторение)	0,06	0,0037	0,06	0,002	0,13	0,006	0,14	0,003	0,06	0,001	0,03	0,001	0,02	0,0008
3 понижение (повторение)	0,08	0,0049	0,06	0,002	0,11	0,005	0,13	0,003	0,07	0,001	0,03	0,001	0,02	0,0008
4 фон	0,20	0,012	0,07	0,002	0,06	0,003	0,18	0,004	0,10	0,001	0,03	0,001	0,02	0,0008
6 фон (повторение)	0,25	0,015	0,07	0,002	0,09	0,004	0,23	0,005	0,14	0,002	0,03	0,001	0,01	0,0004
6 фон (повторение)	0,14	0,009	0,07	0,002	0,14	0,007	0,16	0,003	0,12	0,001	0,05	0,001	0,02	0,0008

Таблица 3

Гранулометрический состав почвенных образцов поля № 1

№ образца	Содержание гранулометрических фракций, %						Сумма фракций < 0,01
	1-0,25 мм	0,25-0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,001-0,005 мм	0,005-0,001 мм	< 0,001 мм	
1 понижение	4,42	7,88	39,65	10,92	16,02	21,11	48
2 понижение (повторение)	3,76	8,55	38,47	11,53	13,90	23,79	49
3 (фон)	4,16	6,55	42,84	7,93	16,02	22,50	47
4 (фон)	4,14	9,60	37,80	9,58	14,99	23,89	49

В образцах, отобранных в пределах почвенного контура (фон и в понижении) на территории поля № 2 (рис. 2), в результате химического анализа были получены данные по содержанию подвижных соединений фосфора и калия (по Чирикову), а также разных форм азота (табл. 4).

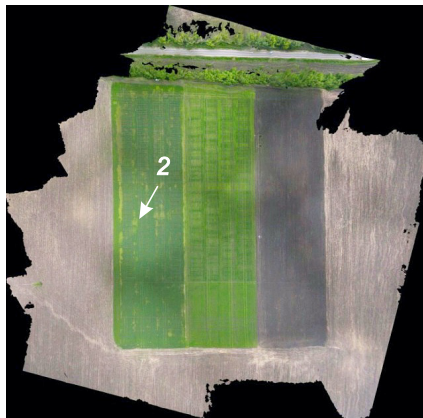


Рис. 2. Пример микропонижения на территории поля № 2

Таблица 4

Агрохимические показатели в грунтовых образцах поля № 2

№ образца	P ₂ O ₅ , мг/кг	P ₂ O ₅ градации	K ₂ O, мг/кг	K ₂ O градации	NO ₃ , мг/кг	NH ₄ , мг/кг	NH ₄ градации
1 понижение	83,30	Среднее	99,41	Повышенное	1,82	3,62	Низкое
2 понижение (повторение)	48,09	Низкое	90,37	Повышенное	1,95	5,39	Низкое
3 (понижение)	62,40	Среднее	63,26	Среднее	1,99	5,32	Низкое
4 (гребень)	46,66	Низкое	81,34	Повышенное	1,55	1,85	Низкое
5 (гребень)	68,13	Среднее	120,50	Высокое	0	2,61	Низкое

Анализ данных табл. 4 существенной разницы между значениями определяемых показателей в образцах отобранных на фоне и в понижении не выявил.

Это можно объяснить активным протеканием процессов денитрификации в условиях долгой весны, что подтверждалось определением азота методом листовой диагностики (уровень содержания хлорофилла (SPAD 502Plus)): в обоих случаях наблюдалось низкое содержание азота в листовых пластинах (35, 38 условных единиц). Возможно в течение нескольких лет при постоянном наблюдении установить зависимости по минеральному азоту (за счет зависимости между хлорофиллом и азотом в растениях).

Не наблюдалось также существенной разницы значений pH водного (во всех случаях было на уровне от 4,67 до 5,99). В отличие от значений pH солевого, для которых наблюдалась четкая разница между определением в микропонижении (4,67–4,80) и фоном (5,69–6,26), что косвенно отразилось в накоплении ионов кальция (соответственно 20,09 и 31,6). Такое содержание кальция является следствием глеевых процессов, при которых могут создаваться различные соединения

(например, железа), что является одним из признаков снижения поглощенного Ca^{2+} .

Анализ гранулометрического состава образцов поля № 2 не выявил существенной разницы между контуром и фоном.

Для исследования содержания микроэлементов в 2015 году на территории хозяйства «Граковское» был заложен опыт, над которым в последующие годы проводились туры аэрофотосъемки, но в результате не получено существенной разницы значений содержания микроэлементов в образцах. Таким образом, зависимость между содержанием микроэлементов в почве и их визуальной индикации на аэрофотоснимках на территории исследования не установлена.

Минимальные колебания микрорельефа (50–60 см) приводят к отставанию в развитии растений в микропонижениях и склонах. Микрорельеф (за годы съемок: 2012–2017 гг.) является постоянным, неизменным на поле и идентифицируется сельскохозяйственными культурами и полевой растительностью (сорняками).

В течение периода наблюдения было установлено, что в период засушливого года или летом особенно четко прослеживается микрорельеф как под растительностью, так и без нее.

Для проверки гипотезы о связи микрорельефа с почвенными показателями также проводилась съемка на территории Снегиревского района Николаевской области (юг Украины), н.п. Баратовка (рис. 3).



Рис. 3. Площадка исследования в с. Баратовка

По результатам съемки было отобрано два образца (табл. 5–7). Оба образца хлоридно-гидрокарбонатно кальциево-натриевые. Почва второго образца имеет более высокую щелочность ($\text{pH}_{\text{сол}}$ 6,88). Также во втором образце в 2,5 раза больше, чем в первом, содержание ионов натрия, что свидетельствует о слабой степени солонцеватости. Содержание углерода органического вещества в микропонижениях отличается от фона на 1–1,2 %.

Таблица 5

Агрохимические показатели почвенных образцов в н.п. Баратовка

№ образца	C, %	$\text{pH}_{\text{вод}}$	$\text{pH}_{\text{сол}}$
1	1,56	7,03	5,62
2	1,59	7,81	6,88

Таблица 6

Гранулометрический состав

№ образца	Содержание гранулометрических фракций, %					Содержание физической глины
	1–0,25 мм	0,25–0,05 мм	0,05–0,01 мм	0,001–0,005 мм	0,005–0,001 мм	
1	1,39	12,50	34,51	6,54	11,12	51,6
2	1,57	11,65	35,48	8,60	8,14	51,3

Таблица 7

Катионно-анионный состав почвенного образца

№ образца	HCO ₃ ⁻		Cl ⁻		SO ₄ ⁻		Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺		K ⁺	
	Количество эквивалентов, ммоль/100 г	Массовая часть, %	Количество эквивалентов, ммоль/100 г	Массовая часть, %	Количество эквивалентов, ммоль/100 г	Массовая часть, %	Количество эквивалентов, ммоль/100 г	Массовая часть, %	Количество эквивалентов, ммоль/100 г	Массовая часть, %	Количество эквивалентов, ммоль/100 г	Массовая часть, %	Количество эквивалентов, ммоль/100 г	Массовая часть, %
1	0,45	0,027	0,13	0,005	0,08	0,004	0,21	0,004	0,04	0,0005	0,39	0,009	0,02	0,0016
2	0,88	0,054	0,33	0,011	0,24	0,011	0,32	0,006	0,05	0,001	0,92	0,021	0,16	0,006

Таким образом, в южных степных районах подтверждается только связь микрорельефа со значением $pH_{\text{сол}}$.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что в оптическом диапазоне в результате анализа модели JPEG наиболее подвержено дешифровке содержание углерода органического вещества, который четко идентифицируется по микрорельефам (западинам). Средний класс диагностики – $pH_{\text{вод}}$, $pH_{\text{сол}}$. Низший класс – ионы Ca^{2+} . В этом случае картосхема агрохимических показателей будет выглядеть следующим образом (рис. 4).



Рис. 4. Картосхема, на основе аэрофотосъемки (над чертой – содержание углерода органического вещества, %; под чертой – $pH_{\text{вод}}$. Замкнутые круги – микрорельефы, установленные по результатам оперативной аэрофотосъемки)

Такого рода оперативные картосхемы целесообразно использовать как промежуточный этап для практических работ, таких как опрыскивание СВР, внесение удобрений и т.д.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что некоторые агрохимические показатели на черноземе типичном в зависимости от микрорельефа могут анализироваться сразу с аэрофотоснимков по измененному цвету растительности (либо отсутствию ее) в микрорельефах при условии более светлого фона микрорельефа по отношению к остальному фону почвы в районе исследования.

2. Перечень показателей, которые могут быть идентифицированы: углерод органического вещества, $pH_{\text{сол}}$, $pH_{\text{вод}}$. Косвенно – Ca^{2+} . В микрорельефах

ниях содержание углерода органического вещества всегда ниже фона, $pH_{\text{вод}}$, $pH_{\text{сол}}$, Ca^{2+} ниже фона на 1, 2 единицы.

3. Зависимостей по другим почвенным показателям в оптическом диапазоне с помощью фотоаппарата Pentax W60 установлено не было.

4. Установлено, что растительность в местах понижений / повышений всегда имеет другой цвет по сравнению с остальной частью поля, который очень четко идентифицируется на аэрофотоснимках и ортофотопланах на их основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Applications of georeferenced highresolution images obtained with unmanned aerial vehicles. Part I: Description of image acquisition and processing / R. Ballesteros [et al.] // Precision Agriculture. – 2014. – Vol. 15/6. – P. 579–592.

2. *Colomina, I.* Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A Review / I. Colomina, P. Molina // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2014. – № 92. – P. 79–97

3. Light Weight Rotatory-Wing UAV for large scale mapping applications / N. Darwin [et al.] // Asia Geospatial Forum. – Kuala Lumpur, Malaysia, 2013. – P. 24–26.

4. *Eisenbeiss, H.* The Potential of Unmanned Aerial Vehicles for Mapping, in: Fritsch/Spiller (eds.) / H. Eisenbeiss // Photogrammetric Week. – Wichmann Verlag, Heidelberg, 2011. – P. 135–145.

5. *Eisenbeiss, H.* UAV Photogrammetry : PhD Dissertation / H. Eisenbeiss; Institute of Geodesy and Photogrammetry – ETH. – Zurich, Switzerland, 2009. – 235 p.

6. *Everaerts, J.* The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVS) for remote sensing and mapping / J. Everaerts // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial G.S.Maddala Introduction to Econometrics. – Macmillan Publ. Co., 2008. – P. 1187–1192

7. *Gilch, E.* Photogrammetric measurements in fixed wing UAV imagery International Archives of the Photogrammetry / E. Gilch // Remote Sensing and Spatial Information Sciences Information Sciences XXXVII (B1). – 2012. – P. 1187–1192.

8. *Jorge, C.* Desenvolvimento de um VANT totalmente configurado para aplicaxes em Agricultura de Preciso no Brasil / C. Jorge, Y. Inamasu, B. Carmo // Anais XV Simpysio Brasileiro. – 2011. – P. 399–406.

9. Low Power Greenhouse Gas Sensors for Unmanned Aerial Vehicles / A. Khan [et al.]. – 2012. – P. 1355–1368.

10. Multispectral Remote Sensing from Unmanned Aircraft: Image Processing Workflows and applications for Rangeland / A. Laliberte [et al.]. – 2011. – P. 2530–2551.

11. *Makridakis, S.* Forecasting: Methods and Applications / S. Makridakis, S.C. Wheelwright, V.E. McGee. – N.Y., Wiley, 1983. – P. 158–159.

12. *Turner, D.* An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, based on structure from motion (SfM) point clouds / D. Turner, A. Lucieer, C. Watson // Remote Sensing. – 2012. – № 4 – P. 1392–1410.

DETERMINATION AGROCHEMICAL SOIL INDICATORS BASED ON UAV AEROPHOTO

M.A. Solokha

Summary

The article shows the results of the work to determine the dependencies of the microrelief on test objects (fields) and agrochemical soil indices. The questions of the methodical character of shooting from a drone, the definition of a list of agrochemical indicators, the search for dependencies between them, and the results of the chemical analysis of soil samples, selected from micro-depressions on the field and background, are considered. As a result of the carried out work, it is established that in the optical range, the sensor from an UAV can indirectly establish the following parameters: carbon of organic matter, pH of salt, pH of water, Ca²⁺.

Поступила 27.04.18

УДК 631.434.1

СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ЛАБИЛЬНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В СТРУКТУРНЫХ АГРЕГАТАХ ПРИ РАЗНЫХ ВИДАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

А.И. Фатеев, В.В. Рябченко

*ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского»,
г. Харьков, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

Структура почвы является одним из главных факторов ее плодородия: в ней создаются оптимальные условия водного, воздушного и теплового режимов, которые обуславливают оптимальную микробиологическую деятельность, а также достаточное содержание и доступность питательных веществ.

В литературных источниках по изучению структуры почвы недостаточно освещен вопрос содержания микроэлементов в структурных фракциях при различных видах использования. В.В. Медведев [10] установил, что в результате длительной распашки черноземов типичных значительно изменяется их структурный состав. Происходит снижение содержания агрономически ценных агрегатов (10–0,25 мм) в пахотных черноземах, а на целине увеличивается количество глыб (>10 мм). В.И. Филон [14] исследовал изменение структуры почвы на удобренном варианте при внесении различных форм минеральных удобрений и на контроле. В результате исследований он обнаружил, что при внесении диааммофоса в почву произошли существенные изменения в структурных фракциях размером >10 мм и <0,25 мм. Если на неудобренных почвах содержание агрегатов >10 мм составило 15,7 %, то на удобренных – 19,8 %. Содержание агрегатов <0,25 мм на указанных вариантах составило соответственно 10,5 % и 11,2 %. О.С. Панасенко [12] установила, что

по сравнению с распахиваемыми почвами на залежи и в лесополосе происходит меньшая потеря гумуса, который формирует структуру чернозема и, как следствие, она претерпевает значительные изменения. Как известно, гумус обеспечивает структуре почвы устойчивость, связывая частицы глины и пылеватые частицы, и играет роль цемента для структуры. Когда почва подсыхает, структура становится более устойчивой. Это автор объясняет переходом части гумуса в необратимое состояние. Продолжая тему гумуса как основного структурообразователя почвы стоит отметить данные, полученные В.В. Дегтяревым [4]. Он установил, что агрегаты пахотных слоев почвы характеризуются значительно меньшим содержанием лабильного органического вещества, чем агрегаты целинного чернозема. Особого внимания заслуживает вопрос влияния лесных насаждений на структурное состояние чернозема. П.Г. Адерихин [1] отмечает, что длительная распашка черноземов ведет к уменьшению агрономически ценных агрегатов в 1,4–1,6 раза и снижению их водопрочности в 11–15 раз по сравнению с аналогичными черноземами лесополос. Лабильные органические вещества существенно влияют на процессы структурообразования [5]. Рядом ученых [3, 11] установлено, что распашка почв ведет к резкому уменьшению содержания подвижного гумуса. Б.С. Носко отмечает, что при распашке почвы количество подвижного гумуса снижается по сравнению с почвой залежи на 30 %, однако внесение минеральных и органоминеральных удобрений существенно повышают содержание подвижного гумуса по сравнению с контролем. Многие исследователи отмечают, что гумусовые вещества способны как увеличивать подвижность микроэлементов, так и уменьшать ее. Выделены два вида реакций с участием гумусовых веществ: реакции, которые сводятся к образованию соединений, способных к миграции по профилю почвы, и реакции формирования в нем органоминеральных соединений, в результате чего происходит накопление в почве многих микроэлементов [2, 3, 13]. А.И. Фатеев пришел к выводу, что в почвах, в которых отмечено избыточное количество микроэлементов, происходит разрушение почвенных агрегатов с образованием больших поверхностей [13]. Следствием этого вместе с диспергацией почвы отмечено и повышенное содержание подвижного органического вещества. Именно поэтому необходимо комплексное исследование вопроса влияния видов использования чернозема типичного на его структуру и содержание микроэлементов в различных структурных фракциях.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Почвенные пробы были отобраны на черноземе типичном тяжелосуглинистом ГП «ОХ Граковское» Чугуевского района Харьковской области, расположенное в 60 км к юго-востоку от г. Харькова. Территория опытного поля относится к Левобережной высокой провинции Лесостепи Украины, почвеннообразующей породой выступают буровато-палевые карбонатные лессовидные суглинки и глины. Климат зоны – умеренно-континентальный. Среднегодовая температура воздуха составляет 6,4 °С. По многолетним данным метеопункта опытного поля среднегодовая сумма атмосферных осадков равна 415,1 мм.

Образцы почвы были отобраны в летний период в четырехкратной повторности на различных видах использования (залежь, лесополоса, удобренный вариант и контроль) и в различных слоях почвы (глубины 0–10, 10–20, 20–40 см). Возраст

залежи и лесополосы составляет 100 и 70 лет соответственно. На удобренной варианте (НРК) удобрения вносились в течение 26 лет. За данный период было внесено $N_{2610}P_{2490}K_{2160}$.

В работе были использованы полевые, аналитические и статистические методы исследований. Отбор почвенных проб проводился по ГСТУ ISO 10381–2: 2004 [9], определение структурно-агрегатного состава – методом Саввинова согласно ГСТУ 4744:2007 [8], определение содержания лабильного органического вещества – по методу Егорова согласно ГСТУ 4732-2007[6], определение микроэлементов – методом Крупского-Александровой согласно ГСТУ 4770.1–9:2007 [7]. Расчетные данные выполнялись в программе Statistica 8.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований определен структурно-агрегатный состав чернозема типичного тяжелосуглинистого ГП «ОХ Граковское» (рис. 1–2).

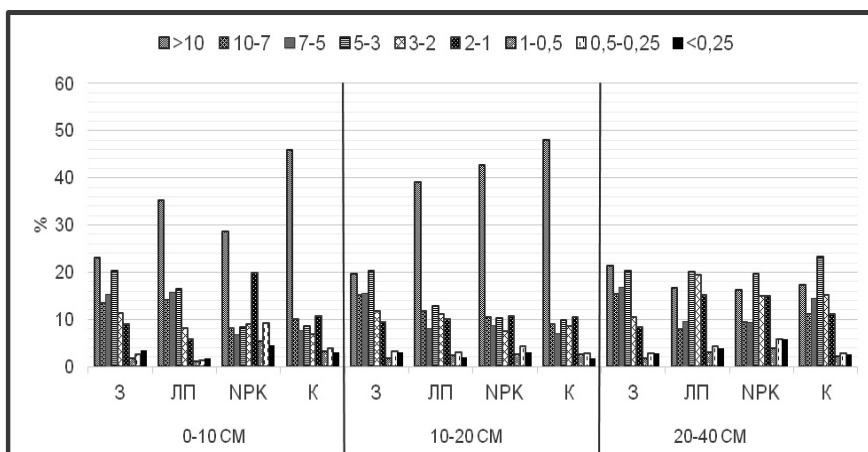


Рис. 1. Структурный состав чернозема типичного при сухом просеивании (3 – залежь, ЛП – лесополоса, НРК – удобренный вариант, К – контроль)

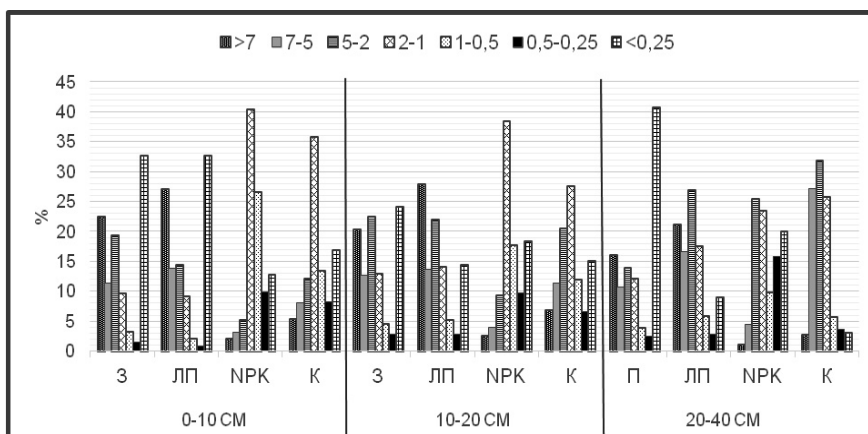


Рис. 2. Агрегатный состав чернозема типичного (при мокром просеивании)

Установлено, что чернозем типичный ГП «ОХ Граковское» имеет высокие параметры структурности, которые прослеживаются как в содержании суммы агрономически ценных агрегатов (0,25–10,0 мм), так и суммы наиболее ценных структурных частиц (1,0–7,0 мм). Такой вывод мы делаем, рассматривая только самый верхний слой почвы. Если же оценивать все три исследуемых слоя почвы, то можно заметить, что существуют определенные различия в распределении параметров структурности с глубиной.

Распределение агрегатов во фракциях >10 и 10–7 мм по глубине одинаково для всех видов использования. Наибольшее их количество наблюдается в слое почвы 10–20 см, наименьшее – в 20–40 см. Содержание агрегатов во фракциях 7–5 мм и 5–3 и 3–2 мм уменьшается в лесополосе, на удобренном варианте и на контроле, но увеличивается на залежи. Во фракциях 2–1 мм и 1–0,5 мм отмечается уменьшение количества агрегатов на залежи, в лесополосе и на контроле. Противоположная ситуация наблюдается на удобренном варианте, где их количество с глубиной возрастает. Количество фракций 1–0,5 мм и 0,5–0,25 мм увеличивается с глубиной на залежи и лесополосе и уменьшается на удобренном варианте и контроле. Содержание микроагрегатов во фракции <0,25 мм уменьшается на залежи и контроле и увеличивается на удобренном варианте и в лесополосе.

Наибольшее количество фракций >10 и 10–7 мм – на контроле, наименьшее – на залежи. Почти одинаковое содержание фракций 7–5 мм и 5–3 и 3–2 мм для почв всех типов использования. Количество фракций 2–1 мм и 1–0,5 мм наибольшее на удобренном варианте и контроле, наименьшее – на залежи. Наибольшее количество фракции <0,25 мм наблюдается на фоне внесения минеральных удобрений.

На основе приведенных данных можно сделать вывод, что на удобренной почве количество мелких фракций (<0,5 мм) растет с глубиной, что можно объяснить диспергирующей ролью минеральных удобрений.

При мокром просеивании на залежи и в лесополосе прослеживается перераспределение фракций по почвенному профилю. Для первого объекта исследования это объясняется длительным неиспользованием в сельскохозяйственном производстве, а для второго – более высокой влажностью и меньшей испаряемостью.

На удобренном варианте опыта и контроле также наблюдается перераспределение мелких фракции (<1 мм), что для первого объекта вызвано действием минеральных удобрений. В слое почвы 10–20 см прослеживается увеличение количества структурных отдельностей по сравнению со слоями 0–10 и 20–40. Вызваны такие различия оборотом пласта при вспашке почвы. Аналогичная ситуация с перераспределением фракций и на контроле.

Распределение агрегатов во фракции >7 мм с глубиной одинаковое для всех видов использования. Содержание агрегатов во фракциях 7–5 мм и 5–2 мм увеличивается с глубиной. Во фракциях 2–1 мм и 1–0,5 мм отмечается уменьшение количества агрегатов на залежи, в лесополосе и на контроле. На удобренном варианте их количество с глубиной возрастает. Содержание фракций 1–0,5 мм и 0,5–0,25 мм увеличивается с глубиной на залежи и лесополосе и уменьшается на фоне удобренного варианта и на контроле. Количество фракции <0,25 мм уменьшается с глубиной на всех видах использования.

В ходе исследований было определено содержание лабильного органического вещества и его распределение в отдельных структурных агрегатах (рис. 3). Наибольшее его содержание отмечено на удобренном варианте в слоях 10–20 и 20–40 см. В слое почвы 0–10 см на залежи более высокое его содержание – во фракции 0,5–0,25 мм, наименьшее – в пылевой (<0,25 мм). В лесополосе ее наибольшее количество наблюдается в глыбистой (>10 мм) фракции, меньшее – в пылевой. На удобренном варианте самое высокое содержание отмечено в наиболее ценных структурных агрегатах (10–0,25 мм), а на контроле, как и на почвах залежи – во фракции 0,5–0,25 мм. Наибольшим содержанием лабильного органического вещества в слое почвы 10–20 см характеризуется удобренный вариант, наименьшим – залежь, где наибольшее содержание подвижного гумуса отмечается в пылевой фракции, а самое маленькое – во фракции 0,5–0,25 мм. В лесополосе распределение аналогичное, но наименьшим количеством характеризуется фракция 2–1 мм. На удобренном варианте более высокое содержание лабильного органического вещества отмечено во фракциях от 2 мм до 0,25 мм, наименьшее – в пылевой фракции. На контроле больше всего подвижного гумуса в глыбистой фракции, меньше всего – во фракции 1–0,5 мм. В слое почвы 20–40 см наибольшее его количество наблюдается в почвах лесополосы и на удобренном варианте, наименьшая – на залежи и контроле. Распределение лабильного органического вещества по структурным фракциям для почв залежи почти одинаково для всех фракций, в лесополосе, в удобренной варианте и контроле наибольшее содержание – в пылевой фракции. На основе полученных данных выявлено, что с глубиной содержание лабильного органического вещества уменьшается. Тенденция его распределения в структурных фракциях следующая: на залежи и контроле во всех исследуемых слоях почвы распределение лабильного органического вещества одинаковое. На удобренном варианте и в лесополосе в слое 0–10 см более высокое его содержание – в наиболее ценных структурных агрегатах, а в слое 10–20 см и 20–40 см – в пылевой фракции. Итак, несмотря на то, что многими исследователями доказано, что распашка чернозема ведет к снижению количества подвижного органического вещества в отличие от почв залежи [1], выявлено, что внесение минеральных удобрений повышает ее количество, что приводит к диспергации почвы и ухудшению структурно-агрегатного состава.

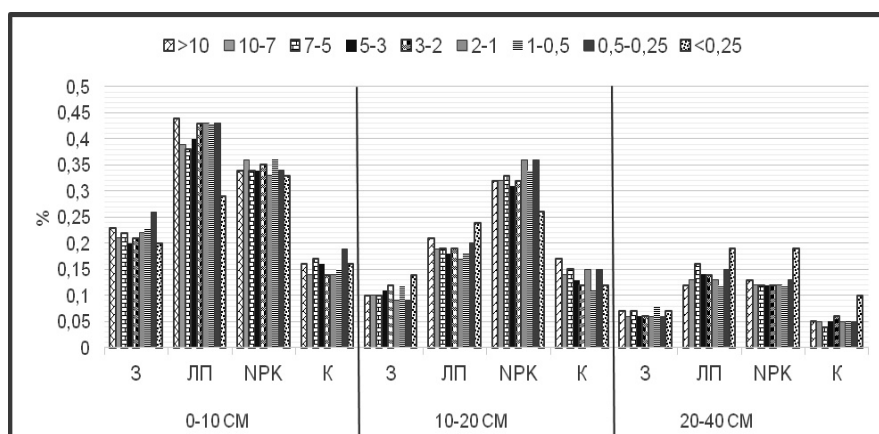


Рис. 3. Содержание подвижного органического вещества в черноземе типичном

Нами был проведен анализ содержания микроэлементов в каждой структурной фракции при разных видах использования (рис. 4–7)

Содержание подвижных форм кобальта на залежи характеризуется уменьшением их количества с глубиной, а в почвах лесополосы и контроля отмечена обратная тенденция. Для удобренного варианта наибольшее содержание отмечено в подпахотном слое почвы. На всех объектах исследования выявлена одинаковая тенденция в содержании подвижных форм кобальта: наибольшие значения отмечены в наиболее ценных структурных агрегатах, наименьшие – в пылевой фракции. Так, в слое 0–10 см на залежи более высокое содержание во фракции 10–7 мм – 1,61 мг/кг, в лесополосе во фракции 2–1 мм – 1,61 мг/кг, в удобренном варианте во фракции 1–0,5 мм – 1,57 мг/кг и на контроле во фракции 3–2 мм – 1,89 мг/кг. Для слоя почвы 10–20 см были получены следующие значения по наибольшей концентрации кобальта: на залежи во фракции 5–3 мм – 1,51 мг/кг, в лесополосе во фракции 5–3 мм – 1,16 мг/кг, на удобренном варианте во фракции 7–5 мм – 2,52 мг/кг и на контроле во фракции 2–1 мм – 1,67 мг/кг. В слое почвы 20–40 см на залежи содержание кобальта более высокое во фракции 1–0,5 мм – 1,41 мг/кг, в лесополосе во фракции 3–2 мм – 2,16 мг/кг, на удобренном варианте 1–0,5 мм – 1,39 мг/кг, на контроле во фракции 7–5 мм – 1,76 мг/кг.

В результате были получены следующие закономерности в распределении кобальта по фракциям: наибольшее содержание на залежи и в лесополосе отмечено в более крупных фракциях, а для распахиваемых почв – в мелких.

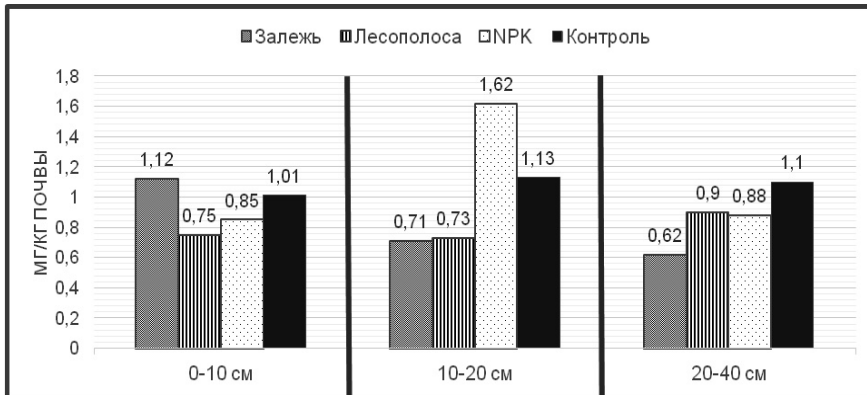


Рис. 4. Содержание подвижных форм кобальта (в среднем по всем структурным фракциям)

Содержание подвижных форм меди на залежи и удобренном варианте увеличивается с глубиной. Под лесополосой и на контроле отмечена обратная тенденция – с глубиной его количество уменьшается.

Установлено, что на залежи и контроле наибольшее количество меди содержится в наиболее ценных структурных агрегатах, в лесополосе в глыбистой фракции, на удобренном варианте в слое почвы 0–10 см в глыбистой, а в слоях 10–20 и 20–40 см – в пылевой. Так, на залежи в слое 0–10 см наибольшее значение во фракции 3–2 мм – 0,48 мг/кг, в лесополосе и на удобренном варианте в

глыбистой фракции – 0,47 и 0,51 мг/кг соответственно и на контроле во фракции 0,5–0,25 мм – 0,63 мг/кг. Для слоя почвы 10–20 см были получены следующие значения по наибольшей концентрации кобальта: на залежи во фракции 7–5 мм – 0,35 мг/кг, в лесополосе в глыбистой фракции – 0,57 мг/кг, на удобренном варианте в пылевой фракции – 0,78 мг/кг и на контроле во фракции 5–3 мм – 0,38 мг/кг. В слое почвы 20–40 см на залежи и контроле содержание кобальта наибольшее во фракции 10–7 мм – 0,58 и 0,57 мг/кг соответственно, в лесополосе в глыбистой фракции – 0,40 мг/кг, на удобренном варианте в пылевой – 0,75 мг/кг.

В итоге были получены следующие закономерности в распределении меди по фракциям: более высокое содержание на залежи и на контроле отмечено в наиболее ценных структурных агрегатах, а в лесополосе и на удобренном варианте – в глыбистой и пылевой.

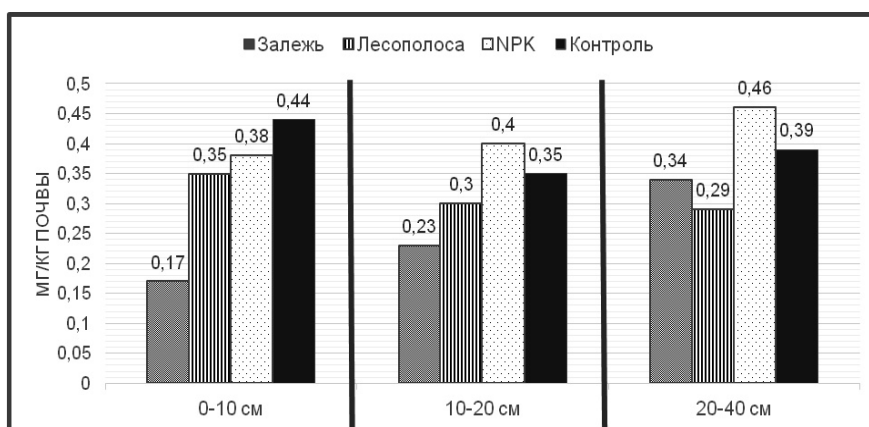


Рис. 5. Содержание подвижных форм меди (в среднем по всем структурным фракциям)

Содержание подвижных форм марганца на всех видах использования уменьшается с глубиной, кроме слоя 10–20 см в лесополосе, где отмечено наибольшее значение.

На залежи для исследуемых слоев почвы (0–10, 10–20 и 20–40 см) более высокие значения – в пылевой фракции, они составили 45,82, 29,80 и 21,02 мг/кг почвы соответственно. В лесополосе, для вышеуказанных слоев почвы, наибольшее содержание марганца во фракции 1–0,5 мм – 43,70, 58,95 и 37,36 мг/кг почвы. В удобренном варианте более высокие значения для слоев почвы 0–10 и 10–20 см отмечены во фракции 0,5–0,25 мм и составили 78,03 и 73,55 мг/кг соответственно. В слое почвы 20–40 см во фракции 5–3 мм – 42,55 мг/кг. На контроле наибольшая концентрация марганца в слоях 0–10, 10–20 и 20–40 см выявлена во фракции 0,5–0,25 мм соответственно 60,52, 58,42 и 21,95 мг/кг почвы.

Результатом исследования содержания подвижных форм марганца стали следующие закономерности: на залежи наибольшее количество марганца содержится в пылевой фракции, а в лесополосе, в удобренном варианте и контроле – в наиболее ценных структурных агрегатах.

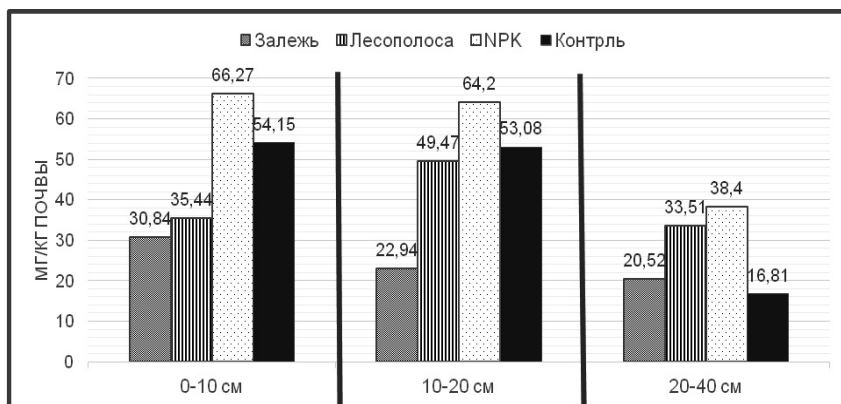


Рис. 6. Содержание подвижных форм марганца (в среднем по всем структурным фракциям)

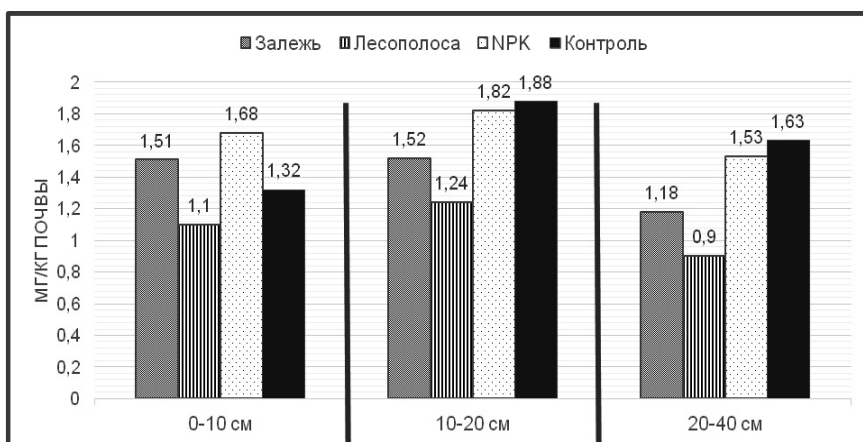


Рис. 7. Содержание подвижных форм цинка (в среднем по всем структурным фракциям)

Содержание подвижных форм цинка на всех видах использования более высокое в слое почвы 10–20 см, наименьшее – в слое 20–40 см, кроме контроля, где более низкие уровни содержания отмечены в слое почвы 0–10 см.

На залежи в слое почвы 0–10 см более высокое содержание цинка в глинистой фракции – 2,18 мг/кг, в лесополосе во фракции 1–0,5 мм – 1,47 мг/кг, на удобренном варианте во фракции 3–2 мм – 3,5 мг/кг и на контроле во фракции 5–3 мм – 2,07 мг/кг. Для слоя почвы 10–20 см были получены следующие значения по наибольшей концентрации элемента: на залежи во фракции 2–1 мм – 1,96 мг/кг, в лесополосе во фракции 1–0,5 мм – 1,47 мг/кг, на удобренном варианте во фракции 2–1 мм – 3,40 мг/кг и на контроле во фракции 0,5–0,25 мм – 3,14 мг/кг. В слое почвы 20–40 см на залежи содержание цинка наибольшее во фракции 10–7 мм – 2,07 мг/кг, в лесополосе во фракции 3–2 мм – 3,50 мг/кг, на удобренном варианте в пылеватой фракции – 2,96 мг/кг, на контроле во фракции 7–5 мм – 2,32 мг/кг.

В целом в распределении цинка по структурным фракциям были получены следующие закономерности: более высокое содержание в почвах лесополосы и на контроле отмечено в наиболее ценных структурных агрегатах, на залежи – в слоях почвы 10–20 и 20–40 см и на удобренном варианте – в слоях 0–10 и 10–20 см. На залежи в слое почвы 0–10 см наибольшие значения для цинка – в глыбистой фракции, а для удобренного варианта в слое почвы 20–40 см – в пылеватой.

Можно сделать вывод, что распахиwanie земель существенно повышает содержание подвижных форм кобальта, меди, марганца и цинка во всех слоях почвы и видах использования по сравнению с залежью, а для удобренного варианта повышенные значения по сравнению с другими видами использования объясняются внесением минеральных удобрений.

ВЫВОДЫ

В результате определения структурно-агрегатного состава чернозема типичного тяжелосуглинистого ГП «ОХ Граковское» выявлено, что ему присуща высокая структурность, особенно в подпахотном слое. Наибольшее количество агрономически ценных агрегатов выявлено на залежи и в лесополосе, наименьшее – на удобренном варианте и контроле, что можно объяснить длительной обработкой почвы и использованием минеральных удобрений. В связи с отсутствием механической обработки, а также значительным количеством травянистой и деревянистой растительности, которые являются одними из основных структурообразующих факторов, более высокая структурность наблюдается на почвах залежи и лесополосы. Наибольшее содержание лабильного органического вещества отмечено на удобренном варианте, наименьшее – на контроле. Нами установлено, что внесение минеральных удобрений повышает его количество по сравнению с контролем и даже залежью, что, в свою очередь, вызывает диспергацию почвы на удобренном варианте опыта. В ходе исследований выявлены закономерности распределения микроэлементов на разных видах использования и в разных структурных фракциях. В частности, наибольшее содержание кобальта на залежи и в лесополосе отмечено в более крупных фракциях, а для распахиваемых земель (удобренного варианта и контроля) – в мелких. Высокое содержание меди в почвах залежи и контроля отмечено в наиболее ценных структурных агрегатах, а в лесополосе и на удобренном варианте – в глыбистой и пылеватой фракциях. Наибольшая концентрация марганца в залежи отмечена в пылеватой фракции, а в лесополосе, на удобренном варианте и контроле – в наиболее ценных структурных агрегатах. Более высокое содержание цинка в лесополосе и на контроле отмечено в наиболее ценных структурных агрегатах в слоях почвы 10–20 и 20–40 см, и на удобренном варианте в слоях 0–10 и 10–20 см. На залежи в слое почвы 0–10 см наибольшие значения для цинка в глыбистой фракции, а для удобренного варианта в слое почвы 20–40 см – в пылеватой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адерихин, П.Г. Изменение черноземных почв ЦЧО при использовании их в сельском хозяйстве / П.Г. Адерихин // Черноземы ЦЧО и их плодородие. – М.: Наука, 1964. – С. 61–89.

2. *Александрова, Л.Н.* Влияние условий трансформации на соотношение процессов минерализации и гумификации растительных остатков / Л.Н. Александрова, М.Ф. Люжин // Гумус и биологическая аккумуляция элементов в почве: зап. Ленингр. с.-х. ин-та. – 1966. – Т. 105. – С. 19–28.
3. *Глазовская, М.А.* Проблемы и методы оценки эколого-геохимической устойчивости почв и почвенного покрова к техногенным воздействиям / М.А. Глазовская // Почвоведение. – 1999. – №1. – С. 114–124.
4. *Дегтярьов, В.В.* Закономерности аккумуляции гумуса в чернозёмных почвах при разных системах удобрений / В.В. Дегтярьов // Вестник ХНАУ, 2012. – № 4. – С. 11–16.
5. *Дегтярьов, В.В.* Гумус чернозёмов Лесостепи и Степи Украины: монография / В.В. Дегтярьов / Харк. нац. аграр. ун-т им. В.В. Докучаева. – Харьков: Майдан, 2011. – 360 с.
6. Качество почвы. Методы определения подвижного органического вещества: ГСТУ 4732-2007. – [Действует от 2008-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України 2005. – 17 с. – (Национальный стандарт Украины).
7. Качество почвы. Определение содержания подвижных форм микроэлементов в почве в буферной ацетатно-аммонийной вытяжке с рН 4,8 методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии: ГСТУ 4770.1-9:2007. – [Действует от 2007-04-28]. – К.: Держспоживстандарт України 2005. – 24 с. – (Национальный стандарт Украины).
8. Качество почвы. Определение структурно-агрегатного состава ситовым методом в модификации Н.И. Саввинова: ГСТУ 4744:2007. – [Действует от 2008-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України 2005. – 15 с. – (Национальный стандарт Украины).
9. Качество почвы. Отбор проб. Часть 2. Установки по методам отбора проб. Указатель и обзор (ISO 10381-2:2002, IDT): ГСТУ ISO 10381-2:2004. – [Действует от 2004-10-30]. – К.: Держспоживстандарт України 2006. – 24 с. – (Национальный стандарт Украины).
10. *Медведев, В.В.* Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана) / В.В. Медведев. – Харьков: 13 типография, 2008. – 406 с.
11. *Носко, Б.С.* Динамика гумусового фонда чернозема типичного после распашки залежи при разных системах удобрения / Б.С. Носко, В.И. Бабынин, Т.А. Юнакова // Агрехимия. 2006. – № 2. – С. 5–15.
12. *Панасенко О.С.* Гумус структурных агрегатов чернозёмов типичных природных и аэрогенных экосистем: монография; под ред. докт. с.-х. н., проф. В.В. Дегтярьова. – Харьков: Майдан, 2015. – 192 с.
13. *Фатеев, А.И.* Состояние коллоидного комплекса и физико-химические свойства почвы при загрязнении тяжелыми металлами / А.И. Фатеев, Н.Н. Мирошниченко // Почвы Украины: экология, эволюция, систематика, окультуривание, оценка, мониторинг, география, использование: Тез. доп. конф; посвященной 50-летию факультету агрохимии и почвоведения. – Харьков. 1996. – С. 182.
14. *Филон, И.В.* Взаимодействие минеральных удобрений с почвой / И.В. Филон // Вестник аграр. науки. – 2009. – № 7. – С. 19–20.

CONTENT OF MICROELEMENTS AND LABILE ORGANIC MATTER IN STRUCTURAL AGGREGATES FOR DIFFERENT TYPE OF USE

A.I. Fatieiev, V.V. Riabchenko

Summary

Established that the typical heavy loam chernozem of the state facility «Experimental farm Grakovskoe» has high structural parameters, which can be traced both in the content of the sum of agronomically valuable aggregates (0,25–10,0 mm) and in the sum of the most valuable structural particles (1,0–7,0 mm). The redistribution of fractions along the soil profile up to the layer of 20–40 cm has been established on the soils of the deposit and forest belts, and on the fertilized version and control – the redistribution of fine fractions (<1 mm) with an increase in their content in the soil layer of 10–20 cm. The largest content of labile organic matter characterized by fertilized soil, the least – the deposit. It was established that the distribution of the labile organic matter is the same on the deposit soil and at the control in all layers and in the fertilized soil, in the forest belt in the 0–10 cm layer its content is higher in the most valuable structural aggregates, and in the 10–20 cm layer and 20–40 cm – in the dusty fraction. It has been established that soil dispersion occurs on the fertilized chernozem. The patterns of distribution of microelements in individual structural fractions are revealed. It has been established that trace elements are mainly contained in the most valuable structural aggregates, but there are some exceptions: on the fertilized soil content of copper in all investigated soil layers is higher in the dusty fraction, like zinc, in the 20–40 cm layer. The largest manganese content on the soils of the deposit in the dusty fraction, and copper in the soils of the forest belts in the lumpy fraction – for all investigated soil layers.

Поступила 04.05.18

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.8:633

РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Г.В. Пироговская¹, В.В. Лапа¹, Д.В. Черняков², Н.Н. Ермакович²

¹Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь

²ОАО «Гомельский химический завод»,
г. Гомель, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Опыт мирового и отечественного земледелия показывает, что рациональное ведение сельскохозяйственного производства возможно только с применением минеральных и органических удобрений, а страны, применяющие более 120 кг/га д.в. удобрений, в достаточной степени обеспечивают свое население продуктами питания [1].

В последние годы в мировой практике идет реформирование рынка минеральных удобрений. К 2021 г. прогнозируется общий объем выпуска минеральных удобрений на уровне 199 млн т питательных веществ. Ожидается ежегодный рост спроса на удобрения: калийные – 2,1 %, фосфорные – 1,5 %, азотные – 1,2 %, при значительном росте производственных мощностей. С 2012 по 2016 гг. производство минеральных удобрений в странах ЕАЭС увеличилось на 19 % и общий объем их выпуска составил 28 млн т д.в., при этом наиболее активно увеличился выпуск калийных удобрений и в меньшей степени – фосфорных. В Российской Федерации было произведено в 2013 году 18,3 млн т д.в. минеральных удобрений, в том числе 8,2 млн т азотных, 3,1 млн т фосфорных и 7,0 млн т калийных, в 2016 г. 20,56 млн т д.в. минеральных удобрений, в том числе 9,4 млн т азотных, 3,48 млн т фосфорных и 7,68 млн т калийных [1 –2].

Производство удобрений в Беларуси за 2012 –2016 гг. выросло на 23 %, достигнув 7,2 млн т д.в., также за счет повышения в основном выпуска калийных удобрений. Структура производства минеральных удобрений в Беларуси – азотные, фосфорные, калийные и комплексные. К концу 2020 года планируется внесение не менее 1,7 млн т д.в. минеральных удобрений, из них 0,7 млн т – азотных, 0,3 млн т – фосфорных и 0,7 млн т калийных удобрений. Соотношение N:P:K в Беларуси составляет 1:0,3:1,3 (2016 г.). Для сравнения, это соотношение в России равно 1:0,4:0,2, в Германии – 1:0,2:0,3. Соотношение элементов питания в комплексных удобрениях различное и зависит от возделываемой сельскохозяйственной культуры [3].

В последние годы во многих странах мира получен широкий спектр новых форм твердых и жидких комплексных удобрений, в состав которых вводятся различные модифицирующие добавки, в том числе микроэлементы (в сульфатной и хелатной форме), а также регуляторы роста растений, пестициды и др. добавки [2, 4–12].

Основные преимущества применения комплексных удобрений, по сравнению со стандартными туками, заключаются в обеспечении сбалансированного соотношения элементов питания под культуры. Экономическая эффективность их основана на сокращении времени и материальных затрат на внесение, при этом обеспечивается более равномерное распределение их по полю, что способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур и улучшению качества продукции.

В настоящее время производство комплексных, или сложно-смешанных удобрений, осуществляется различными компаниями (Группа «Акрон» – ОАО «Акрон», ОАО «Дорогобуж», ОАО «Минудобрения», Группа «ФосАгро»; Холдинг «УралХим» – ОАО «Воскресенские минеральные удобрения», ОАО «Кирово-Чепецкий ХК»; МХК «Еврохим» – ОАО «Невиномысский Азот» (Россия); ОАО «Гомельский химический завод» и ОАО «Беларуськалий» (Беларусь), «Арви» (Литва), «Police» (Польша), «Сумыхимпром» (Украина) и др.

В мире имеется также большой спектр жидких и гранулированных водорастворимых комплексных удобрений, содержащих макро- и микроэлементы, или одни микроэлементы в хелатной форме, применяемых в качестве некорневых подкормок по вегетирующим растениям. Например, Интермаг-ЗЕРНОВЫЕ, Интермаг-Картофель, Интермаг-Пастбища, Валагро-Плантафол, Мастер, Брексил Са, Мегафон, Вива, Басфолиар 34, Басфолиар 36 Экстра и др. Микроэлементы в этих удобрениях в хелатной форме, что способствует хорошему усвоению их растениями [13–17].

Цель исследований – разработка, промышленное освоение и установление влияния новых форм комплексных (твердых и жидких) удобрений (при основном внесении и в подкормки) на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований: новые формы комплексных удобрений (NPK) с модифицирующими добавками для основного внесения в почву и в подкормки под основные сельскохозяйственные культуры (озимые и яровые зерновые культуры, картофель и овощные культуры (морковь, столовая свекла, капуста) и др.); комплексные удобрения без добавок; смеси стандартных туков (карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий).

В качестве биологически активных веществ в составе удобрений использовали различные препараты, в том числе: регуляторы роста растений на основе торфа (гидрогумат), растительного сырья (феномелан); фитогормоны, относящиеся к классу гормонов растений брассиностероиды (эпин), стимулятор роста растений тубелак и средство защиты растений туберит.

Эффективность новых форм комплексных удобрений с модифицирующими добавками при возделывании сельскохозяйственных культур в Беларуси изучалась

в полевых и производственных опытах (2006–2017 гг.) на дерново-подзолистых легкосуглинистых, развивающихся на мощных лессовидных суглинках почвах (СПК «Щемяслица» и ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области), на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных, подстилаемых с глубины 0,35 м рыхлыми песками почвах (КСПУП «Экспериментальная база им. Суворова» и ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области), с овощными культурами – на дерново-подзолистых легкосуглинистых, развивающихся на мощных лессовидных суглинках (РУП «Институт овощеводства» Минского района Минской области) и на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах, подстилаемых рыхлыми песками (КФХ «Горизонт» Мостовского района Гродненской области). Испытания новых форм удобрений проводили на почвах с индексом агрохимической окультуренности от 0,76 до 0,97.

Площадь участков в полевых опытах составляла 18–32 м², учетная – 10–24 м², повторность – 4-кратная, в производственных – от 2 до 20 га, повторность – 2–3-кратная.

Методы исследований: лабораторный, полевой, аналитический.

Закладку и проведение полевых и производственных опытов проводили в соответствии с методическими указаниями по закладке полевых опытов [18].

Статистическая обработка результатов исследований проводилась с использованием программ для дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа.

Температура воздуха, количество атмосферных осадков приводятся по данным, полученным на лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии», а также по данным Гидрометцентра (г. Минск). Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывался по Г.Т. Селянинову.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Эффективность новых форм комплексных удобрений с модифицирующими добавками при возделывании сельскохозяйственных культур изучалась в Республике Беларусь на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава. Агрохимическая характеристика пахотных слоев (0–25 см) почв, на которых проводили исследования была следующая: в СПК «Щемяслица»: рН_{KCl} 5,48–5,60; P₂O₅ – 309–325 мг/кг почвы; K₂O – 150–205; Ca – 1017–1200; Mg – 128–136 мг/кг почвы; содержание гумуса – 2,19–2,21 %; ОАО «Гастелловское»: рН_{KCl} 5,15–5,60; P₂O₅ – 353–592 мг/кг почвы; K₂O – 238–351; Ca – 1284–2012; Mg – 128–136 мг/кг почвы; содержание гумуса – 2,19–2,21 %; КСПУП «Экспериментальная база им. Суворова» и ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского»: рН 5,39–5,41, содержание подвижных форм P₂O₅ – 280–293 и K₂O – 295–316 мг/кг почвы, Ca – 760–801; Mg – 120–155 содержание гумуса – 2,69–2,71 %; с овощными культурами: рН 5,31–6,19, содержание подвижных форм P₂O₅ – 206–214 и K₂O – 348–455 мг/кг почвы, Ca – 1043–1050; Mg – 142–160 мг/кг почвы, гумуса – 2,30–2,35 %.

Метеорологические условия в годы исследований существенно различались как по месяцам, так и по годам. Например, количество атмосферных осадков, температура воздуха и гидротермический коэффициент (ГТК) за вегетационный период (май–сентябрь) на объектах исследований (СПК «Щемяслица»

и ОАО «Гастелловское») были следующие: в 2006 г. выпало атмосферных осадков 446,4 мм, в 2007 г. – 278,8; в 2008 г. – 398,3; в 2009 г. – 446,5; в 2010 г. – 405,0; в 2011 г. – 332,7; в 2012 г. – 275,3; в 2013 г. – 271,5; в 2014 г. – 468,8 и в 2015 г. – 312,4 мм, при среднемноголетнем – 374,0 мм.

ГТК в 2006, 2009, 2010 и 2012 гг. характеризовался как близкий к оптимальному (ГТК = 1,81, 1,67 и 1,42, 1,33), 2007, 2011, 2013 и 2015 гг. – слабозасушливый (ГТК = 1,04, 1,20, 1,05 и 1,26), 2008 и 2014 гг. – влажный (ГТК = 2,64 и 1,88), при среднемноголетнем ГТК = 1,65.

Во все годы исследований сумма температур воздуха за май–сентябрь на объектах исследований составляла от 2373,5 °С (2008 г.) до 2710,1 °С (2010 г.) и превышала среднемноголетнее значение (2269,3 °С).

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ

В Республике Беларусь учеными Института почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Беларуси (лабораторией новых форм удобрений и мелиорантов) совместно с другими научными учреждениями разработана целая серия новых форм комплексных удобрений для почв различного уровня плодородия, содержащих биологически активные соединения и микроэлементы, для ряда сельскохозяйственных культур (лен-долгунец и лен масличный, сахарная свекла, озимые и яровые зерновые культуры, озимый рапс, гречиха, картофель, кукуруза, бобовые и зернобобовые, овощные культуры, многолетние злаковые и бобово-злаковые травы и др.). Удобрения предназначены как для основного внесения в почву, так и для некорневых подкормок по вегетирующим растениям.

Для основного внесения в почву под различные сельскохозяйственные культуры разработано 84 марки комплексных гранулированных удобрений, содержащих азот, фосфор, калий, при необходимости, серу, натрий, магний; микроэлементы, в зависимости от потребности культуры, а также биологически активные соединения и другие модифицирующие добавки.

Для некорневых подкормок по вегетации растений разработаны удобрения жидкие комплексные (11 марок), в том числе и бесхлорные (для моркови, свеклы, капусты, картофеля, зеленых насаждений), зерновых, бобовых и зернобобовых культур, кукурузы, льна-долгунца и льна масличного.

Разработка составов удобрений проводилась с учетом биологических особенностей сельскохозяйственных культур, далее проводилась оценка их агрохимической эффективности в полевых и производственных опытах.

На перспективные формы минеральных удобрений:

- разрабатывались технические условия;
- проводилась токсиколого-гигиеническая экспертиза;
- совместно с центральными заводскими лабораториями изготавливались опытные и опытно–промышленные партии удобрений;
- проводилось патентование заявляемых форм удобрений (*на комплексные удобрения институтом получено 33 патента*);
- проводилась регистрация в Госхимкомиссии, в соответствии с действующим законодательством Республики Беларусь;
- издавались рекомендации по их применению.

ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ

Практика применения комплексных удобрений в Беларуси очень ограничена. В 2013 г. ОАО «Гомельский химический завод» поставлено потребителям Республики 27,8 тыс. т ф.в. комплексных удобрений, в том числе 14,1 тыс. т для льна и 10,1 тыс. т для сахарной свеклы, соответственно в 2014 – 16,8 и 10,7 тыс. т, в 2015 – 2,4 тыс. т для льна и 1,6 тыс. т для сахарной свеклы, в 2016–2017 гг. – около 2 % от общего потребления минеральных удобрений. В настоящее время комплексные удобрения (34 марки) поставляются в основном на экспорт (рис. 1–2).

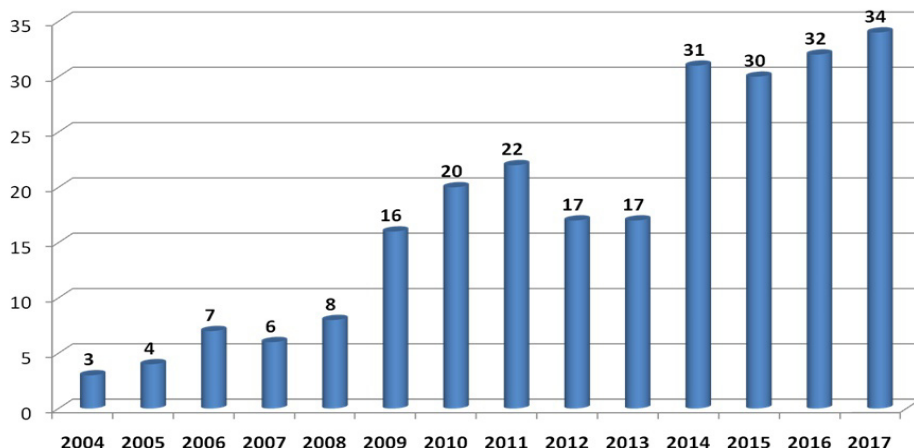


Рис. 1. Количество марок NPK удобрений, поставляемых ОАО «Гомельский химический завод» на экспорт

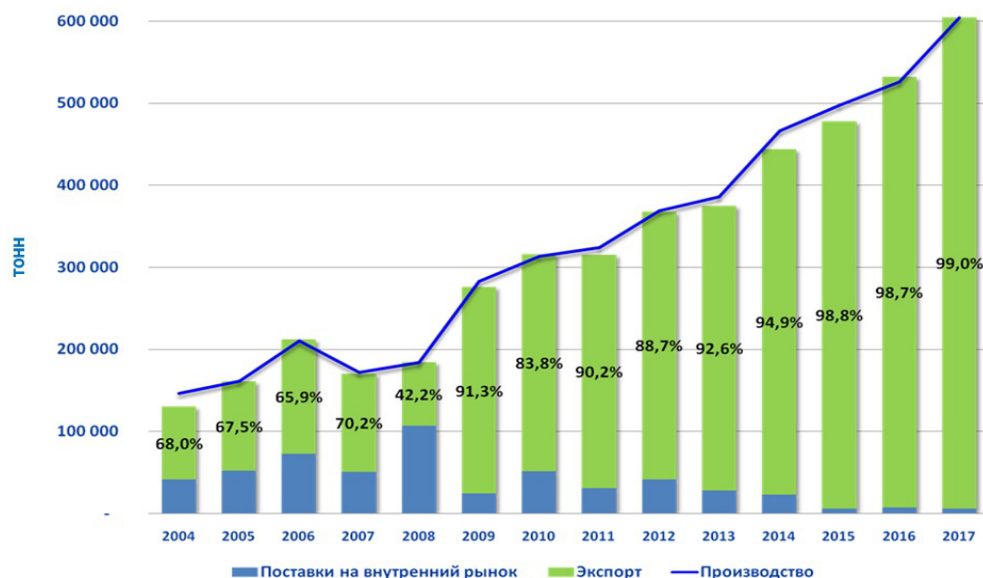


Рис. 2. Динамика производства и поставок NPK удобрений ОАО «Гомельский химический завод» на экспорт и внутренний рынок, т (%)

Вместе с тем ближайшими соседями Республики Беларусь, комплексные удобрения применяются достаточно широко и успешно. По результатам 2017 г. емкость украинского рынка АФК удобрений составила 1640 тыс. т, польские фермеры внесли порядка 1000 тыс. т, литовские – 470 тыс. т ф.в. Российскими производителями в 2017 г. поставлено комплексных удобрений на внутренний рынок 1548,6 тыс. т ф.в., в 2016–2017 гг. – 20 % удобрений, используемых для основного внесения [2]. В Украине в 2016–2017 гг. около 70 % от общих закупок минеральных удобрений составляют комплексные удобрения.

Промышленное производство новых форм комплексных удобрений для основного внесения в почву под основные сельскохозяйственные культуры осуществляется на ОАО «Гомельский химический завод», ОАО «Беларуськалий», удобрений жидких комплексных с хелатными формами микроэлементов для некорневых подкормок по вегетации растений – на ОАО «Гомельский химический завод» (хлорсодержащих), на ОАО «Гомельхимторг» (бесхлорных). Наиболее широко производились комплексные удобрения для льна, сахарной свеклы, озимого рапса, несколько меньше для зерновых культур (озимых и пивоваренного ячменя), кукурузы, подсолнечника, и многолетних трав. Общий объем производства и применения комплексных гранулированных удобрений для основного внесения в почву перед посевом сельскохозяйственных культур составил 483,7 тыс. т ф.в., с общим объемом продаж 112 270,1 тыс. USD, удобрений жидких комплексных с хелатными формами микроэлементов, в том числе и бесхлорных – 640,4 т, с объемом продаж – 404,8 тыс. USD (рис. 3–4).

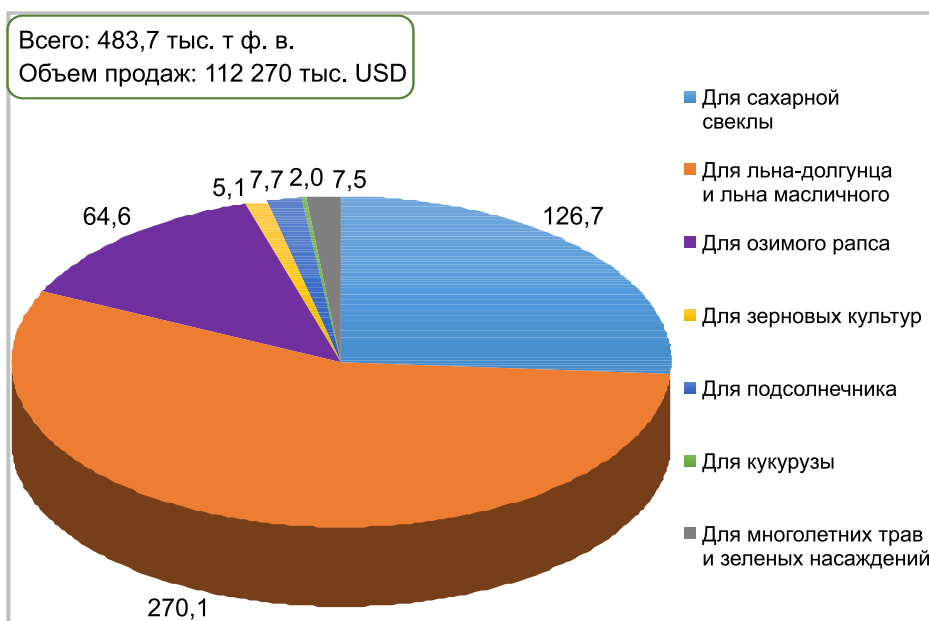


Рис. 3. Объем выпуска и продаж новых форм комплексных гранулированных удобрений с добавками микроэлементов, тыс. т ф.в. (2006–2017 гг.)



Рис. 4. Объем выпуска и продаж новых форм удобрений жидких комплексных с хелатными формами микроэлементов, т (2007–2017 гг.)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НОВЫХ ФОРМ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИЯХ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Эффективность комплексных удобрений с добавками микроэлементов и регуляторов роста растений рассмотрим на примере озимой и яровой пшеницы, картофеля, кукурузы и моркови.

Озимая пшеница. Применение комплексных азотно-фосфорно-калийных удобрений с добавками микроэлементов и регуляторов роста растений (2008–2010 гг.) на озимой пшенице сорта Саната на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве способствовало получению урожайности зерна в среднем за три года (2008–2010 гг.) – 70,1–72,0 ц/га, при урожайности с внесением комплексных удобрений без добавок – 67,7 и стандартных туков (мочевина, аммонизированный суперфосфат хлористый калий) – 66,0 ц/га. Прибавки зерна пшеницы от применения комплексных удобрений с модифицирующими добавками (Cu, Mn и регулятор роста растений гидрогумат), по сравнению с аналогичным комплексным удобрением без добавок, были в пределах: в 2008 г. – от 2,4 до 7,3 ц/га, 2009 г. – 4,1–6,6 и 2010 г. – 2,9–6,8, а в среднем за три года – 3,9–5,8 ц/га. При этом следует отметить, что максимальная прибавка зерна получена при внесении комплексных удобрений, включающих как микроэлементы, так и регулятор роста растений (табл. 1).

Качество зерна озимой пшеницы оценивалось по содержанию клейковины и аминокислотному составу. Содержание клейковины в зерне озимой пшеницы по годам исследований было схожим, и в среднем за 2009–2010 гг., в зависимости от варианта опытов, составляло от 30,1 до 35,5 % и увеличивалось на 2,1–5,4 %, по сравнению с контрольным вариантом.

Таблица 1

**Влияние комплексных удобрений с добавками микроэлементов
и биологически активных веществ на урожайность озимой пшеницы Саната
на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве**

Вариант	Урожайность, ц/га							
	2008 г.	+/-, к варианту 3	2009 г.	+/-, к варианту 3	2010 г.	+/-, к варианту 3	среднее	+/-, к варианту 3
1. Контроль (без удобрений)	47,2	–	39,7	–	36,9	–	41,3	–
2. N ₂₅ P ₅₀ K ₁₁₀ * (стандартные) + N ₁₁₀ **	85,1	–	67,1	–	45,8	–	66,0	–
3. N ₂₅ P ₅₀ K ₁₁₀ без микроэлементов + N ₁₁₀ **	85,1	–	66,9	–	46,5	–	67,7	–
4. N ₂₅ P ₅₀ K ₁₁₀ с Cu + N ₁₁₀ **	91,4	6,3	71,8	4,9	50,0	3,5	71,1	4,9
5. N ₂₅ P ₅₀ K ₁₁₀ с Mn + N ₁₁₀ **	87,5	2,4	73,5	6,6	49,4	2,9	70,1	3,9
6. N ₂₅ P ₅₀ K ₁₁₀ с Cu и Mn + N ₁₁₀ **	90,1	5,0	71,0	4,1	53,3	6,8	71,5	5,3
7. N ₂₅ P ₅₀ K ₁₁₀ с Cu+ Mn и гидрогумат + N ₁₁₀ **	92,4	7,3	71,4	4,5	52,3	5,8	72,0	5,8
HCP ₀₅	5,41	–	4,04	–	3,47	–	2,77	–

* Основное внесение с осени.

** (N_{70м}+N₂₀+ N₂₀) – подкормки азотом.

Применение комплексных удобрений с модифицирующими добавками повышало содержание клейковины на 1,7–3,3 % по сравнению со смесью стандартных удобрений и на 0,5–2,1 % по сравнению с комплексным без добавок (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние комплексных удобрений с добавками микроэлементов
и биологически активных веществ на содержание клейковины
в зерне озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве**

Вариант	Содержание клейковины, %			
	2009 г.	2010 г.	среднее	+/-, к варианту 1
1. Контроль (без удобрений)	33,4	26,8	30,1	–
2. N ₂₅ P ₅₀ K ₁₁₀ * (стандартные) + N ₁₁₀ **	30,7	33,7	32,2	2,1
3. N ₂₅ P ₅₀ K ₁₁₀ без микроэлементов + N ₁₁₀ **	31,4	35,3	33,4	3,2
4. N ₂₅ P ₅₀ K ₁₁₀ с Cu + N ₁₁₀ **	33,0	34,7	33,9	3,8
5. N ₂₅ P ₅₀ K ₁₁₀ с Mn + N ₁₁₀ **	34,4	34,6	34,5	4,4
6. N ₂₅ P ₅₀ K ₁₁₀ с Cu и Mn + N ₁₁₀ **	35,2	35,8	35,5	5,4
7. N ₂₅ P ₅₀ K ₁₁₀ с Cu+ Mn и гидрогумат + N ₁₁₀ **	34,8	33,1	34,0	3,9
HCP ₀₅	2,43	2,58	–	–

* Основное внесение с осени.

** (N_{70м} + N₂₀ + N₂₀) – подкормки азотом.

Сумма определяемых незаменимых аминокислот (треонин, валин, метионин, фенилаланин, изолейцин, лейцин, лизин) в зерне озимой пшеницы на контрольном варианте составила 30,17 г/кг зерна, в вариантах с удобрениями – 29,94–33,40, соответственно критических (треонин, метионин, лизин) – 7,26 и 6,7–8,12 г/кг зерна. Содержание аминокислот изменялось в пределах: треонина от 2,45 до 3,31 г/кг зерна; валина – 5,23–5,75; метионина – 1,92 –2,16; фенилаланина – 5,28–5,95; изолейцина – 4,20–4,73; лейцина – 7,59–8,41, лизина – 2,14–3,21 г/кг зерна. Наибольшее содержание незаменимых аминокислот (32,07–33,40 г/кг зерна) и критических (7,78–8,12 г/кг зерна) было в зерне в вариантах при внесении комплексного удобрения с медью и марганцем, или комплексного с медью, марганцем и регулятором роста растений, при содержании этих значений в варианте с внесением стандартных туков – 29,94 (незаменимых) и 7,46 (критических) г/кг зерна.

Яровые зерновые культуры (яровая пшеница). Исследования по изучению эффективности комплексных удобрений с добавками микроэлементов и биологически активных веществ при возделывании яровых зерновых культур (пшеница, тритикале, ячмень, овес) проводили на тех же дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах, подстилаемых с глубины 0,35 м рыхлыми песками.

Урожайность зерна яровой пшеницы сорта Рассвет на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве изменялась также по годам и вариантам опыта и составляла: в 2006 г. – 44,1–63,8 ц/га; 2007 г. – 41,8–75,7; 2010 г. – 36,3–52,1 ц/га (табл. 3).

Таблица 3

Влияние комплексных удобрений с добавками микроэлементов и биологически активных веществ на урожайность зерна яровой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Вариант	Урожайность, ц/га							
	2006 г.	+/-, к варианту 3	2007 г.	+/-, к варианту 3	2010 г.	+/-, к варианту 3	среднее	+/-, к варианту 3
1. Контроль (без удобрений)	44,1	–	41,8	–	36,3	–	40,7	–
2. N ₉₀ P ₅₅ K ₁₂₀ (смесь стандартных удобрений)	55,9	–	67,4	–	46,0	–	56,4	–
3. N ₉₀ P ₅₅ K ₁₂₀ без микроэлементов	60,8	–	68,1	–	47,2	–	58,7	–
4. N ₉₀ P ₅₅ K ₁₂₀ с Cu	63,8	3,0	73,1	5,0	49,6	2,4	62,2	3,5
5. N ₉₀ P ₅₅ K ₁₂₀ с Cu и гидрогумат	62,9	2,1	73,7	5,6	52,1	4,9	62,2	4,2
6. N ₉₀ P ₅₅ K ₁₂₀ с Cu и Mn	62,9	2,1	75,7	7,6	51,4	4,2	63,3	4,6
НСП ₀₅	5,7	–	5,5	–	3,7	–	2,9	–

Соответственно, прибавки зерна от применения новых форм комплексных удобрений по сравнению с комплексным удобрением без добавок изменялись в

пределах: в 2006 г. – 2,1–3,0, 2007 г. – 5,0–7,6 и 2010 г. – 2,4–4,9 ц/га, со стандартными туками: 2006 г. – от 4,9 до 7,9 ц/га; 2007 г. – 5,7–8,3 и 2010 г. – 3,6–6,1 ц/га, а в среднем за три года – от 3,5 до 4,6 ц/га.

Содержание аминокислот в зерне яровой пшеницы Рассвет зависело, в большей степени, от года исследований, чем от форм применяемых удобрений (табл. 4).

Таблица 4

Влияние комплексных удобрений с добавками микроэлементов и биологически активных веществ на аминокислотный состав зерна яровой пшеницы Рассвет на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, г/кг зерна

Вариант	Треонин*	Валин	Метионин*	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Лизин*	Сумма незаменимых кислот	Сумма критических кислот*
1. Контроль (без удобрений)	2,59	5,19	1,23	4,84	4,34	7,64	3,40	29,23	7,22
2. N ₉₀ P ₅₅ K ₁₂₀ (смесь стандартных удобрений)	3,19	5,69	1,79	5,38	4,87	8,35	3,82	33,09	8,80
3. N ₉₀ P ₅₅ K ₁₂₀ без микроэлементов	3,50	6,46	2,00	6,19	5,60	9,52	3,98	37,25	9,48
4. N ₉₀ P ₅₅ K ₁₂₀ с Cu	3,67	6,52	2,03	6,20	5,64	9,58	3,84	37,48	9,54
5. N ₉₀ P ₅₅ K ₁₂₀ с Cu и гидрогумат	3,73	6,46	2,01	6,18	5,61	9,65	4,20	37,84	9,94
6. N ₉₀ P ₅₅ K ₁₂₀ с Cu и Mn	3,78	6,40	2,00	6,21	5,60	9,72	4,69	38,40	10,47
НСР ₀₅	0,224	0,390	0,131	0,432	0,373	0,688	0,287	–	–

* Критические аминокислоты.

Содержание незаменимых аминокислот в зерне яровой пшеницы распределялось следующим образом: треонина от 2,59 до 3,78 г/кг; валина – 5,19–6,52; метионина – 1,23–2,03; фенилаланина – 4,84–6,21; изолейцина – 4,34–5,64; лейцина – 7,64–9,72 и лизина – 3,40–4,69 г/кг зерна. Сумма незаменимых аминокислот находилась в пределах от 29,23 до 38,40 г/кг, критических – 7,22–10,47 г/кг зерна, в зависимости от вариантов опыта. Наибольшее содержание суммы незаменимых (38,40 г/кг) и критических (10,47 г/кг) аминокислот в зерне было при внесении комплексного удобрения NPK с Cu и Mn в дозе N₉₀P₅₅K₁₂₀. Комплексные удобрения с модифицирующими добавками способствовали увеличению содержания критических аминокислот на 0,74–1,67 г/кг зерна, по сравнению со смесью стандартных туков, и на 0,06–0,99 г/кг зерна, по сравнению с комплексным удобрением без добавок, что обеспечивало улучшение качества зерна (табл. 4).

Аналогичные закономерности отмечались и при использовании комплексных удобрений с микроэлементами и регуляторами роста растений при возделывании других яровых культур: наблюдалось увеличение урожайности зерна ячменя на

1,7–4,3 ц/га, овса – 1,8–4,2, ярового тритикале – на 2,8–3,7 ц/га, при одновременном улучшении качества зерна за счет повышения содержания белка в зерне на 0,2–0,7 %, критических аминокислот – на 1,4–3,3 г/кг, незаменимых аминокислот – на 0,21–0,62 г/кг зерна.

Картофель. Применение комплексных удобрений с модифицирующими добавками (NPK с В, S и Cu; NPK с В, Cu, Mn и NPK с В, S, Cu и регулятором роста растений феномелан) при возделывании картофеля сорта Бриз в дозе $N_{90}P_{55}K_{118}$ обеспечивало на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве увеличение урожайности клубней картофеля в среднем на 26–48 ц/га и окупаемости 1 кг д.в. NPK – на 9,9–18,2 кг клубней, или на 3,0–5,5 к.ед. выше по сравнению с базовым вариантом (табл. 5). Отмечалась тенденция увеличения крахмала (на 0,1–0,2 %), товарности клубней (на 0,9–1,9 %), снижение содержания нитратов (на 16,8–20,0 %), при этом содержание нитратов было более низким в варианте с NPK с В, S и регулятором роста растений феномелан (табл. 5).

Таблица 5

Влияние комплексных удобрений с добавками микроэлементов и биологически активных веществ на урожайность картофеля Бриз на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве

Вариант	Урожайность, ц/га						
	2008 г.	2009 г.	сред- нее	+/-, к вари- анту 2	Показатели (среднее за два года)		
					крах- мал, %	нитра- ты, мг/кг сырого вещества	товар- ные клубни, %
1. Контроль (60 т/га органических удобрений) – фон	289	345	317	–	13,8	95	75,7
2. Фон + $N_{90}P_{55}K_{118}$ смесь стандартных удобрений* + некорневая подкормка в фазу бутонизации (В, Cu, Mn)** – базовый вариант	388	420	404	–	14,1	155	83,6
3. Фон + $N_{90}P_{55}K_{118}$ с В, S и Cu	416	444	430	26	14,2	129	85,5
4. Фон + $N_{90}P_{55}K_{118}$ с В, Cu, Mn	422	471	447	43	14,2	127	84,9
5. Фон + $N_{90}P_{55}K_{118}$ с В, S, Cu и феномелан	427	476	452	48	14,3	124	84,5
НСР ₀₅	10,7	21,3	16,8	–	0,29	21,6	2,79

*Смесь стандартных удобрений (сульфат аммония, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий).

**Микроэлементы вносились в некорневую подкормку в фазу бутонизации картофеля по 50 г/га д.в. каждого микроэлемента.

Применение на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в условиях 2013–2014 гг. стандартных и новых форм комплексных удобрений в дозе $N_{90}P_{56}K_{118}$ под картофель сорта Скарб обеспечило урожайность клубней на уровне 451–514 ц/га, с прибавкой к контрольному варианту – 133–196 ц/га. Внесение в основную заправку почвы новых форм комплексных удобрений с модифицирующими добав-

ками (микроэлементы и микроэлементы с регулятором роста растений гидрогумат) обеспечивало тенденцию или достоверное увеличение урожайности клубней картофеля по сравнению с использованием стандартных туков на 28–63 ц/га. При этом наиболее эффективным оказалось внесение комплексного NPK с S, B, Cu, Mn (прибавка 63 ц/га) и NPK с S, B, Cu и регулятор роста растений гидрогумат (прибавка 50 ц/га) (табл. 6).

Таблица 6

Влияние удобрений на урожайность клубней картофеля Скарб на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (ОАО «Гастелловское» Минского района), 2013–2014 гг.

Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка, ц/га		Окупаемость 1 кг NPK		
	2013 г.	2014 г.	среднее	к контролю	к варианту 2	2013 г.	2014 г.	среднее
1. Контроль (60 т/га органических удобрений) – фон	298	337	318	–	–	–	–	–
2. N ₉₀ P ₅₆ K ₁₁₈ (смесь стандартных удобрений) – базовый вариант	488	413	451	133	–	72	29	51
3. N ₉₀ P ₅₆ K ₁₁₈ с S, B, Cu	537	420	479	161	28	91	31	61
4. N ₉₀ P ₅₆ K ₁₁₈ с S, B, Cu и гидрогумат	554	448	501	183	50	97	42	70
5. N ₉₀ P ₅₆ K ₁₁₈ с S, B, Cu, Mn	537	491	514	196	63	91	58	75
HCP ₀₅	39,3	34,9		37,2		–	–	–

Окупаемость 1 кг NPK при внесении новых форм комплексных удобрений с модифицирующими добавками в среднем за 2013–2014 гг. находилась в пределах от 61 до 75 кг клубней картофеля, что на 10–24 кг больше по сравнению с базовым вариантом.

Качество клубней картофеля оценивалось по содержанию нитратов, крахмала и товарности клубней (табл. 7).

Таблица 7

Влияние комплексных удобрений при основном внесении в почву на показатели качества клубней картофеля Скарб на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (ОАО «Гастелловское» Минского района), 2013–2014 гг.

Вариант	Показатели (среднее за два года)		
	нитраты, мг/кг сырого вещества	крахмал, %	товарность, %
1. Контроль (60 т/га органических удобрений) – фон	74	14,5	75,9
2. N ₉₀ P ₅₆ K ₁₁₈ (смесь стандартных удобрений) – базовый вариант	98	13,2	79,5
3. N ₉₀ P ₅₆ K ₁₁₈ с S, B, Cu	103	12,9	78,2
4. N ₉₀ P ₅₆ K ₁₁₈ с S, B, Cu и гидрогумат	108	13,0	78,8
5. N ₉₀ P ₅₆ K ₁₁₈ с S, B, Cu, Mn	90	13,1	83,0
HCP ₀₅	6,7	0,7	5,8

Содержание нитратов в клубнях картофеля в среднем за 2013–2014 гг. при применении в опыте стандартных и новых форм комплексных удобрений составляло 90–108 мг/кг сырого вещества и не превышало предельно допустимой концентрации (ПДК – 150 мг/кг клубней). Содержание крахмала в клубнях картофеля было наибольшим в контрольном варианте – 14,5 %, при внесении удобрений его содержание снижалось на 1,3–1,6 %. При этом достоверных различий по вариантам опыта со стандартными удобрениями и новыми формами не наблюдалось. Товарность клубней в среднем за два года составляла 75,9 % на контроле и 78,2–83,0 % в вариантах с удобрениями, с тенденцией или достоверным увеличением данного показателя по отношению к контролю на 2,3–7,1 %. Применение в опыте новых форм удобрений с модифицирующими добавками в условиях 2013–2014 гг. не оказывало существенного влияния на изменение товарности клубней. Максимальный показатель товарности клубней (83,0 %) наблюдался при использовании комплексного NPK с S, B, Cu, Mn (табл. 7).

Кукуруза. Урожайность зерна кукурузы Дельфин F1 на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в среднем за 2011–2013 гг. в варианте без применения удобрений составила 74 ц/га и от 104 до 129 ц/га в удобренных вариантах. При использовании комплексного удобрения без модифицирующих добавок (базовый вариант) урожайность была на уровне 104 ц/га, в вариантах с новыми формами комплексных удобрений модифицированными микроэлементами – от 114 до 129 ц/га. Следует отметить, что наибольшая урожайность зерна кукурузы наблюдалась в 2013 г. – 78 ц/га на контроле и 119–156 ц/га в удобренных вариантах, а наименьшая в 2012 г. – 61 и 75–99 ц/га соответственно (табл. 8).

Таблица 8

Влияние минеральных удобрений на урожайность зерна кукурузы и окупаемость минеральных удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, 2011–2013 гг.

Вариант	Урожайность зерна, ц/га					Окупаемость, 1 кг удобрений (в среднем за три года)	
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	среднее	к варианту 2	кг зерна	к варианту 2
1. Контроль (без удобрений)	82	61	78	74	–	–	–
2. N ₁₁₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₁₇ без добавок – базовый	117	76	119	104	–	9,4	–
3. N ₁₁₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₁₇ с Zn (0,15 %)	131	93	136	120	16	14,5	5,1
4. N ₁₁₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₁₇ с Zn (0,20 %)	140	86	147	124	20	15,8	6,4
5. N ₁₁₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₁₇ с Zn (0,35 %)	144	81	136	120	16	14,4	5,0
6. N ₁₁₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₁₇ с Zn и Cu	128	98	143	123	19	15,5	6,1
7. N ₁₁₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₁₇ с Zn, Cu, Mn	135	99	138	124	20	12,8	3,4
8. N ₁₁₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₁₇ с Zn, Cu, Mn, B)	156	75	156	129	25	17,0	7,6
9. N ₁₁₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₁₇ с Zn, Mn	133	76	133	114	10	12,5	3,1
10. N ₁₁₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₁₇ с Zn, Cu и гидрогумат	145	78	155	126	22	16,2	6,8

Вариант	Урожайность зерна, ц/га					Окупаемость, 1 кг удобрений (в среднем за три года)	
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	среднее	к варианту 2	кг зерна	к варианту 2
11. N ₁₁₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₁₇ с Zn, Cu и туберит	132	90	139	120	16	14,2	4,8
12. N ₁₁₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₁₇ с Zn, Cu и тубелак	140	88	142	123	19	15,5	6,1
13. N ₁₁₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₁₇ с Zn, Mn и туберит	141	80	134	118	14	13,9	4,5
14. N ₁₁₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₁₇ с Zn, Mn и тубелак	157	95	134	129	25	17,2	7,8
НСР ₀₅	12,8	10,1	10,5	9,7			

Наиболее высокоэффективными при возделывании кукурузы на зерно были удобрения комплексные NPK с Zn, Cu, Mn, В и NPK с Zn, Mn и стимулятором роста растений тубелак, с урожайностью 129 ц/га (прибавка к базовому – 25 ц/га), а также NPK с Zn, Cu и регулятором роста растений гидрогумат, с урожайностью 126 ц/га (прибавка – 22 ц/га). Окупаемость 1 кг удобрений при внесении комплексного удобрения без добавок в 2011 г. составила 10,6 кг зерна, а новых форм твердых комплексных удобрений с модифицирующими добавками – 13,9–22,7 кг зерна, с прибавкой к базовому 3,3–12,1 кг зерна; соответственно в 2012 г. – 4,9 и 3,7–12,3 кг зерна, с прибавкой 0,6–7,4 кг зерна, в 2013 г. – 12,6 и 17,0–24,2 кг зерна, а в среднем за три года – 9,4 и от новых форм удобрений 12,5–17,2 кг зерна, с прибавкой к базовому – 3,1–7,8 кг зерна (табл. 8).

Содержание протеина, сбор протеина, сбор кормовых единиц и обеспеченность протеином 1 кормовой единицы в зерне кукурузы изменялось в зависимости от вариантов опыта и находилось в пределах: на контроле в 2011 г. сбор кормовых единиц с гектара – 95,1 ц/га, содержание сырого протеина составило 10,7 %, сбор протеина – 7,6 ц/га, при содержании протеина в 1 к.ед. – 80,0 г; в 2012 г. – 82,1 к.ед. ц/га, 11,4 %, 6,0 ц/га и 73,2 г в 1 к.ед.; в 2013 г. – 104,9 ц/га к.ед., 9,4 %, 6,3 ц/га и 60,1 г. В среднем за три года (2011–2013 гг.) эти показатели были следующие: сбор кормовых единиц с гектара составил 94,0 ц/га, содержание протеина – 10,5 %, сбор протеина – 6,6 ц/га, при содержании протеина в 1 к.ед. – 71,1 г.

В варианте с использованием комплексного удобрения без модифицирующих добавок (базовый вариант) – в 2011 г. сбор к.ед. составил 156,8 ц/га, содержание протеина – 10,5 %, сбор протеина – 10,6 ц/га, обеспеченность 1 к.ед. протеином – 67,7 г; в 2012 г. – 102,0 ц/га к.ед., 10,9 %, 8,3 и 81,0 г; в 2013 г. – 158,9 ц/га к.ед., 10,1 %, 10,3 ц/га и 64,8 г. В среднем за три года сбор кормовых единиц с гектара составил 139,2 ц/га, содержание протеина – 10,5 %, сбор протеина – 9,7 ц/га, при содержании протеина в 1 к.ед. – 71,2 г.

В вариантах с применением новых форм твердых комплексных удобрений с различными модифицирующими добавками в 2011 г. сбор к.ед. был в пределах от 151,4 до 183,6 ц/га, содержание протеина – 10,0–11,2 %, сбор протеина –

11,3–14,7 ц/га, при содержании протеина в 1 к.ед. – 74,4–83,3 г; в 2012 г. – 100,4–132,8 ц/га к.ед., 10,9–12,1 %, 7,4–10,8 ц/га и 70,0–81,3 г в 1 к.ед., в 2013 г. – 178,0–208,7 ц/га к.ед., 10,0–10,7 %, 11,4–13,9 ц/га и 64,0–68,9 г. В среднем за три года сбор кормовых единиц был в пределах от 144,0 до 163,8 ц/га, с тенденцией, или достоверной прибавкой к базовому варианту в пределах от 4,8 до 24,6 ц/га к.ед.; соответственно содержание протеина – 10,5–11,2 %, с тенденцией его увеличения в отдельных вариантах опыта; сбор протеина – 10,2–12,3 ц/га и повышением его на 0,5–2,6 ц/га, при содержании протеина в 1 к.ед. – 71,5–75,5 г с тенденцией или достоверным увеличением (на 0,3–4,3 г) в отдельных вариантах опыта.

Содержание крахмала в зерне изменялось в зависимости от вариантов опыта и находилось в пределах от 64,1 до 72,0 %. При этом необходимо отметить, что изменения в его содержании по вариантам опыта, по сравнению с контрольным вариантом, были не существенными.

Лучшими удобрениями, обеспечившими по итогам трехлетних исследований максимальный сбор протеина, сбор кормовых единиц и более высокую обеспеченность 1 кормовой единицы протеином были NPK с Zn, Mn и стимулятором роста растений тубелак, NPK с Zn, Cu и регулятором роста растений гидрогумат, NPK с Zn, Cu, Mn, B и NPK с Zn, Cu и средством защиты растений туберит.

Овощные культуры (морковь). Влияние новых комплексных удобрений (хлорсодержащих и бесхлорных) с добавками микроэлементов и регулятора роста растений при основном внесении в почву и при некорневых подкормках на урожайность и качество овощных культур (морковь, столовая свекла, капуста) изучалось на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах (2005–2007 гг.) и на дерново-подзолистой временно избыточно увлажняемой рыхлосупесчаной почве (2011–2013 гг.).

По данным агрохимической эффективности новых форм комплексных удобрений при возделывании овощных культур на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах установлено, что:

– применение под морковь сорта Лявониха комплексных азотно-фосфорно-калийных хлорсодержащих удобрений (NPK с S; B, Cu) обеспечивало урожайность корнеплодов на уровне 45,6–50,0 т/га, бесхлорных NPK с Mg, S; B, Cu и регулятором роста растений эпин – 47,4–50,2 т/га (в зависимости от доз и форм удобрений), при урожайности на смеси стандартных удобрений – 43,9 и 46,8 т/га. Оптимальной дозой комплексных хлорсодержащих удобрений под морковь была $N_{70}P_{65}K_{102}$ и бесхлорных – $N_{70}P_{38}K_{118}$ кг/га д.в., которые обеспечивали повышение урожайности корнеплодов моркови на 3,8–5,5 т/га, в том числе стандартной продукции на 1,3–3,5 т/га, сухого вещества – на 0,5–0,7 т/га по сравнению со смесью односторонних удобрений, с выходом стандартной продукции 81,5–84,5 %;

– применение под столовую свеклу сорта Прыгажуня комплексных азотно-фосфорно-калийных хлорсодержащих удобрений (NPK с B, Na, Mn, S) обеспечивало урожайность на уровне 44,3–49,0 т/га, бесхлорных (NPK с Mg, S, B, Mn, Fe и регулятором роста растений эпин) – 43,4–50,1 т/га, смеси стандартных удобрений – 42,1 и 43,4 т/га. Оптимальной дозой под столовую свеклу оказалась $N_{90}P_{83}K_{131}$ (NPK хлорсодержащее) и $N_{90}P_{49}K_{118}$ (NPK бесхлорное), обеспечившие повышение урожайности корнеплодов столовой свеклы на 6,0–8,9 т/га, в том числе

стандартной продукции на 6,0 т/га, сухого вещества – на 0,4–0,7 т/га по сравнению со смесью односторонних удобрений, с выходом стандартной продукции 75,4–81,6 %;

– применение под капусту сорта Мара комплексных азотно-фосфорно-калийных хлорсодержащих удобрений NPK с S, B, Zn, Mo, Fe обеспечивало урожайность на уровне 83,8–89,9 т/га, бесхлорных NPK с Mg, S, B, Zn, Mo, Co, Fe – 79,3–88,6 т/га, смеси стандартных удобрений – 78,5 и 79,2 т/га. Лучшей дозой комплексных хлорсодержащих удобрений под капусту была $N_{90}P_{83}K_{131}$ и бесхлорных $N_{90}P_{49}K_{118}$, которые увеличивали урожайность кочанов на 6,4–14,1 т/га, сухого вещества – 0,6–1,8 т/га, стандартной продукции соответственно на 9,8–10,3 и 0,7–1,3 т/га по сравнению со смесью односторонних удобрений с выходом стандартной продукции 81,7–87,2 %.

Включение регулятора роста растений эпин в состав комплексных бесхлорных удобрений с добавками микроэлементов способствовало увеличению урожайности моркови и столовой свеклы на 1,1–1,9 т/га и снижению нитратов в продукции исследуемых культур на 11–20 %.

Применение стандартных и новых форм комплексных удобрений с модифицирующими добавками на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в фермерском хозяйстве «Горизонт» обеспечило при ранних сроках уборки моркови урожайность корнеплодов (в среднем за 2011–2013 гг.) с вариантах с удобрениями – 28,8–37,8 т/га, на контроле без удобрений – 22,3 т/га. При использовании комплексного хлорсодержащего NPK с S, B, Cu (марка 14–10–19) в дозах $N_{70-110}P_{50-78}K_{95-149}$ кг/га д.в. получена урожайность 28,8–33,6 т/га. Внесение медленнодействующих комплексных удобрений $N_{90}P_{64}K_{122}S_{71}B_{1,29}Cu_{0,96}$ и $N_{90}P_{64}K_{122}S_{71}B_{1,29}$ обеспечило урожайность на уровне 34,6–35,9 т/га, с прибавкой корнеплодов моркови 4,8–6,1 т/га, от комплексных бесхлорных – на 4,8–8,0 т/га по сравнению с внесением стандартных удобрений. Включение различных модифицирующих добавок в состав указанных комплексных удобрений позволяло получить тенденцию или достоверное повышение урожайности на 1,5–3,2 т/га по сравнению с аналогичными удобрениями без добавок (табл. 9), [19].

При поздних сроках уборки моркови лучшими оказались: комплексные хлорсодержащие удобрения $N_{110}P_{78}K_{149}S_{86}B_{1,57}Cu_{1,18}$ с прибавкой в 6,3 т/га, а также медленнодействующее $N_{90}P_{64}K_{122}S_{71}B_{1,29}Cu_{0,96}$ (9,2 т/га) по сравнению с внесением стандартных туков. При внесении комплексных бесхлорных ($N_{90}P_{48}K_{104}S_{71}$, $N_{90}P_{48}K_{104}Mg_{9,6}S_{71}B_{1,29}Cu_{0,96}$, $N_{90}P_{48}K_{104}Mg_{9,6}S_{71}B_{1,29}Cu_{0,96}$ с эпином) получена урожайность корнеплодов моркови на уровне 72,9–77,6 т/га (табл. 9).

Применение новых форм минеральных удобрений обеспечивало содержание бора в корнеплодах в пределах от 16,1 до 20,8 мг/кг сухого вещества, меди – 4,4–5,8 мг/кг, цинка – 21,2–25,6 мг/кг, марганца – 15,8–16,9 мг/кг, что соответствовало средним значениям этих элементов для моркови.

При использовании комплексных хлорсодержащих удобрений выход стандартной продукции (товарность) в среднем за 2011–2013 гг. при ранних сроках уборки моркови находился в пределах от 79 до 87 %, комплексных бесхлорных – 83–88 %, при поздних сроках уборки – 75–81 и 71–78 %. Содержание нитратов в корнеплодах при применении разных форм и доз минеральных удобрений при различных сроках уборки моркови не превышало ПДК (август – 400 и сентябрь – 250 мг/кг сырого вещества, для детского питания – 200 мг/кг сырого вещества).

Таблица 9
Влияние минеральных удобрений на урожайность корнеплодов моркови раннего и позднего сроков уборки, 2011–2013 гг.

Вариант	Урожайность, т/га									
	ранние сроки уборки					поздние сроки уборки				
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	в сред- нем за 3 года	+/-, к базово- му	2011 г.	2012 г.	2013 г.	в сред- нем за 3 года	+/-, к базово- му
1. Без удобрений (контроль)	32,0	16,1	18,8	22,3	–	52	43,5	58,8	51,4	–
2. N ₉₀ P ₆₄ K ₁₂₂ (стандартные) – базовый 1	44,7	20,8	23,9	29,8	–	86,7	59,6	64,4	70,2	–
<i>Комплексные хлорсодержащие</i>										
2а. N ₉₀ P ₆₄ K ₁₂₂ S ₇₁	45,4	21,5	26,1	31,0	1,2	85	60,8	65,8	70,5	0,3
3. N ₇₀ P ₅₀ K ₉₅ S ₅₅ B _{1,0} Cu _{0,75}	40,0	21,4	25,1	28,8	–1,0	86,6	59,2	61,5	69,1	–1,1
4. N ₉₀ P ₆₄ K ₁₂₂ S ₇₁ B _{1,29} Cu _{0,96}	51,3	22,5	27,0	33,6	3,8	89,6	62,3	67,9	73,3	3,1
5. N ₁₁₀ P ₇₈ K ₁₄₉ S ₈₆ B _{1,57} Cu _{1,18}	50,7	20,9	26,8	32,8	3,0	92,6	65,3	71,6	76,5	6,3
6. N ₉₀ P ₆₄ K ₁₂₂ S ₇₁ B _{1,29} Cu _{0,96} (мд)	52,3	23,3	28,1	34,6	4,8	98,3	67,5	72,4	79,4	9,2
7. N ₉₀ P ₆₄ K ₁₂₂ S ₇₁ B _{1,29} (мд)	57,3	22,0	28,5	35,9	6,1	98,1	68,3	70,2	78,9	8,7
<i>Комплексные бесхлорные</i>										
8. N ₉₀ P ₄₈ K ₁₀₄ S ₇₁ – базовый 2	53,3	22,0	28,5	34,6	–	90,9	60,9	66,8	72,9	–
9. N ₉₀ P ₄₈ K ₁₀₄ Mg _{9,6} S ₇₁ B _{1,29} Cu _{0,96}	56,7	22,6	29,1	36,1	1,5	92,8	62,7	70,5	75,3	2,4
10. N ₉₀ P ₄₈ K ₁₀₄ Mg _{9,6} S ₇₁ B _{1,29} Cu _{0,96} с эпином	60,7	22,8	30,0	37,8	3,2	98,5	62,4	71,9	77,6	4,7
НСР ₀₅	5,3	1,4	2,4	3,4	–	3,7	3,8	3,4	4,7	–

Внесение комплексного хлорсодержащего удобрения, в том числе и медленнодействующей его формы ($N_{90}P_{64}K_{122}$), обеспечило при ранних сроках уборки моркови содержание каротина в корнеплодах на уровне 5,8–7,3 мг/100 г, витамина С – 2,1–2,6 мг/100 г, растворимых сахаров – 7,3–8,7 %, пектиновых веществ – 0,7–0,8 %; комплексных бесхлорных удобрений с добавками – содержание каротина – 7,3–7,5 мг/100 г, витамина С – 2,2–2,5 мг/100 г, растворимых сахаров – 7,8–8,6 %, пектиновых веществ – 0,7–0,8 %. При поздних сроках уборки эти показатели улучшались и были следующие: при внесении комплексных хлорсодержащих с модифицирующими добавками содержание каротина было в пределах от 7,5 до 10,8 мг/100 г, витамина С – 4,3–5,4 мг/100 г, растворимых сахаров – 7,4–8,5 %, пектиновых веществ – 0,8–1,0 %; комплексных бесхлорных с добавками – каротина на уровне 10,0–10,1 мг/100 г, витамина С – 4,1 мг/100 г, растворимых сахаров – 7,7–7,8 %, пектиновых веществ – 0,8 %.

Эффективным приемом при возделывании моркови является применение некорневых подкормок по вегетирующим растениям: внесение микроэлементов в форме химических солей или хелатов, удобрений жидких комплексных (табл. 10).

Таблица 10

Влияние некорневых подкормок на урожайность корнеплодов моркови раннего и позднего сроков уборки, 2011–2013 гг.

Вариант	Урожайность, т/га									
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	в среднем за 3 года	+/- к базовому	2011 г.	2012 г.	2013 г.	в среднем за 3 года	+/- к базовому
	ранние сроки уборки					поздние сроки уборки				
4. $N_{90}P_{64}K_{122} S_{71}B_{1,29}Cu_{0,96}$ – базовый	51,3	22,5	27,1	33,6	–	89,6	62,3	67,9	73,3	–
8. $N_{90}P_{64}K_{122} S_{71}B_{1,29}Cu_{0,96}$ + удобрения жидкие комплексные (3 + 2 л/га)	59,7	25,4	30,7	38,6	5,0	93,6	69,1	75,8	79,5	6,2
9. $N_{90}P_{64}K_{122} S_{71}B_{1,29}Cu_{0,96}$ + удобрения жидкие комплексные с гидрогуматом (3 + 2 л/га)	59,2	25,2	31,1	38,5	4,9	98,0	70,3	77,5	81,9	8,6
10. $N_{90}P_{64}K_{122} S_{71}B_{1,29}Cu_{0,96}$ + Лифдрил (5 + 5 кг/га)	56,9	23,6	29,1	36,5	2,9	92,8	70,8	74,1	79,2	–
НСР ₀₅	3,5	1,4	3,5	3,0	–	2,6	3,0	6,7	4,5	–

Рациональная листовая подкормка не только дополняет корневое питание, но и корректирует питание культуры в критические периоды вегетации. В среднем за 2011–2013 гг. дополнительное применение некорневых подкормок удобрениями комплексными на фоне основного внесения в почву $N_{90}P_{64}K_{122}S_{71}B_{1,29}Cu_{0,96}$ обеспечило урожайность корнеплодов моркови при ранних сроках уборки в пределах от 36,5 до 38,6 т/га, при урожайности в фоновом варианте 33,6 т/га. Максимальная урожайность (38,5–38,6 т/га) получена при двукратном применении некорневых подкормок жидкими комплексными удобрениями с добавками. Эффективность

некорневых подкормок удобрением Лифдрип (зарубежный аналог) была выше по сравнению с базовым на 2,9 т/га, но несколько ниже, чем в варианте с удобрением жидким комплексным (4,9–5,0 т/га). В вариантах с некорневыми подкормками наблюдалась тенденция или достоверное увеличение в корнеплодах моркови азота на 0,02–0,14 %, фосфора – 0,01–0,05 % и магния – на 0,02–0,05 %, при содержании калия и кальция на уровне фона.

При поздних сроках уборки моркови урожайность корнеплодов изменялась в пределах от 73,3 (фон) до 79,2–81,9 (с некорневыми подкормками) т/га. При применении некорневых подкормок по вегетирующим растениям моркови всеми изучаемыми препаратами урожайность корнеплодов увеличивалась на 5,9–8,6 т/га. Наиболее эффективной была подкормка удобрением жидким комплексным с микроэлементами и регулятором роста растений гидрогумат, обеспечившая урожайность корнеплодов на уровне 81,9 т/га, с прибавкой 8,6 т/га или на 11,7 % выше фона. В корнеплодах увеличивалось содержание азота на 0,14–0,23 %, фосфора и кальция – на 0,06–0,08 %, бора – на 0,6 и марганца – на 0,8 мг/кг сухого вещества, повышался общий и удельный вынос основных элементов питания при разных сроках уборки, по сравнению с вариантами с внесением только комплексных удобрений.

Использование некорневых подкормок удобрениями жидкими комплексными на фоне основного внесения минеральных удобрений улучшало качество корнеплодов: при ранних сроках уборки моркови повышалась товарность корнеплодов моркови на 6–7 %, поздних – на 1,0 %; при разных сроках уборки моркови увеличивалось содержание каротина (на 0,3–2,4 мг/100 г), витамина С (на 0,2–1,3 мг/100 г) и растворимых сахаров (на 0,1–0,9 %) по сравнению с аналогичными вариантами без некорневых подкормок.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментальные исследования, проведенные в Республике Беларусь на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава, свидетельствуют, что одним из перспективных агротехнических приемов при возделывании сельскохозяйственных культур по интенсивным технологиям, является применение новых форм комплексных удобрений с добавками микроэлементов и регуляторов роста растений, которые могут увеличить производство сельскохозяйственной продукции с улучшением ее качества.

2. Применение новых форм комплексных удобрений при основном внесении в почву обеспечивает, по сравнению с аналогичными комплексными удобрениями без добавок, а также стандартными туками, увеличение их продуктивности и улучшение качества продукции при внесении удобрений:

➤ *под озимую пшеницу* – повышение урожайности зерна в среднем на 3,9–5,8 ц/га, улучшение показателей качества зерна за счет увеличения содержания сырого белка на 0,24–0,50 %, клейковины на 0,6–3,3 % и суммы незаменимых аминокислот на 2,13–3,46 и критических – на 0,32–0,66 г/кг зерна;

➤ *под яровые зерновые культуры* – увеличение урожайности зерна яровой пшеницы на 3,5–4,6 ц/га, ячменя – 1,7–4,3, ярового тритикале – 2,8–3,7, овса – 1,8–4,2 ц/га и содержания белка в зерне на 0,2–0,7 %; суммы критических аминокислот на 0,06–1,67 г/кг зерна, незаменимых аминокислот – на 0,23–5,31 г/кг зерна;

➤ *под картофель* – повышение урожайности клубней от 26 до 63 ц/га, при одновременном улучшении качества клубней за счет повышения крахмала (на 0,1–0,2 %), товарности клубней (на 0,9–1,9 %) и снижения содержания нитратов (на 16,8–20,0 %);

➤ *под кукурузу* – увеличение урожайности зерна кукурузы на 10–25 ц/га с улучшением качества зерна за счет повышения содержания протеина и его сбора, обеспеченности 1 к. ед. протеином;

➤ *под овощные культуры* – увеличение урожайности сухого вещества корнеплодов моркови на 0,5–0,7 т/га, столовой свеклы – 0,4–0,7, капусты – 0,6–1,8 т/га, при снижении уровня накопления нитратов в продукции на 11–20 %, и, в большей степени, от комплексных бесхлорных удобрений с модифицирующими добавками.

3. Применение некорневых подкормок удобрениями жидкими комплексными вышеуказанных культур, на фоне стандартных туков и комплексных удобрений, позволяет: повысить урожайность зерна озимых и яровых зерновых на 5,0–7,4 ц/га; клубней картофеля на 9–12 ц/га; зерна кукурузы – на 3–5 ц/га, корнеплодов моркови (сухое вещество) на 0,2–0,4 т/га, при одновременном улучшении показателей качества продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчаренко, М.М. Агрохимия и плодородие / М.М. Овчаренко // The Chemical Journal. – 2014. – № 11. – С. 22–25.

2. Современные тенденции в производстве и применении фосфорсодержащих удобрений и неорганических кислот: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 26 мая 2015 г. / АО «НИУИФ»; под ред. В.И. Суходолова. – М., 2015. – 128 с.

3. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы / Постановление Совета Министров Республики Беларусь (№ 196 от 11 марта 2016 г.) «О Государственной программе развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы и внесении изменений в постановление Совета Министров Республики Беларусь от 16 июня 2014 г. № 585).

4. Удобрение и их использование: справочник / И.У. Марчук [и др.]; под общ. ред. И.У. Марчук. – М., 2011. – 350 с.

5. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь: составители А.В. Пискун [и др.]. – Минск: Изд-во ООО «Промкомплекс», 2017. – 688 с.

6. Калиниченко, В.Г. Эффективность комплексных удобрений на землях Нечерноземья / В.Г. Калиниченко – Л.: Колос. Ленинградское отделение, 1984. – 88 с.

7. Комплексные удобрения: справ. пособие / В.Г. Минеев [и др.]; под общ. ред. В.Г. Минеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. – 252 с.

8. Katalogas KEMIRA UAB KEMIRA AGRO VILNIUS, 98 – pavasaris 99. – 113 p.

9. Применение новых форм комплексных удобрений под основные сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Г.В. Пироговская [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2011. – 48 с.

10. Эффективность новых форм комплексных удобрений для основного внесения в почву при возделывании кукурузы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Г.В. Пироговская [и др.] // Агрохимия. – 2015. – № 4. – С. 34–43.

11. Влияние новых форм комплексных удобрений при основном внесении в почву на урожайность и качество маслосемян подсолнечника / Г.В. Пироговская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 1 (56). – С. 176–192.
12. Новые формы минеральных удобрений с биологически активными добавками / Г.В. Пироговская [и др.] // Система создания кормовой базы животноводства на основе интенсификации растениеводства и использования природных кормовых угодий: материалы Междунар. науч. конф., Алмалыбак (Казахстан), 27–28 мая 2016 г. – Алмалыбак, 2016. – С. 251–252.
13. Янишевский, Ф.В. Агрохимия жидких комплексных удобрений / Ф.В. Янишевский. – М.: Наука, 1978. – 208 с.
14. Жидкие удобрения для внекорневой подкормки сельскохозяйственных культур // Рекламный проспект, отпечатан в типографии ООО «Поликрафт».
15. Информационный меморандум ЗАО «УКАГРО НПК» // ЗАО «УКАГРО НПК» [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа [http:// www.intermag. Com.ua/pages/98](http://www.intermag.com.ua/pages/98). – Дата доступа: 10.09.2010.
16. Применение удобрений жидких комплексных с хелатными формами микроэлементов под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Г.В. Пироговская [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 40 с.
17. Worldwide Congress of Mineral fertilizers. Pesticide producers // Presentations Abstracts of the Congress SCIF 2018 // ORBI GROUP, Rustavi. – 2018. – 68 p.
18. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
19. Влияние комплексных удобрений с микроэлементами и орошения на урожайность и качество моркови на дерново-подзолистой супесчаной почве: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Д.Г. Мысливец; РУП «Ин-т почвоведения и агрохимии». – Минск, 2015. – 21 с.

DEVELOPMENT, PRODUCTION AND USE OF COMPLEX FERTILIZERS IN THE AGRICULTURAL SECTOR OF THE REPUBLIC OF BELARUS

G.V. Pirahouskaya, V.V. Lapa, D.V. Chernyakov, N.N. Ermakovich

Summary

The article presents the results of experimental scientific research (2006–2015) on the development and industrial production of new forms of solid granular and liquid complex fertilizers with chelate forms of microelements, including chlorine-free ones. They are used for basic application to soil and for foliar top dressing vegetative plants of agricultural crops, as well as their effectiveness in the cultivation of grain crops (winter and spring wheat), potatoes, corn, carrots on sod-podzolic soils of different granulometric structure. It has been established that the use of new forms of complex fertilizers with microelements and plant growth regulators is one of the most promising agrotechnical methods for cultivating agricultural crops using intensive technologies, which ensures an increase in yields while improving the quality of products.

Поступила 15.05.18

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ ЗЕРНА

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Ячмень – важнейшая зернофуражная культура разностороннего использования. Агро-климатические условия в Беларуси благоприятны для возделывания этой культуры, в связи с чем она получила широкое распространение. Посевные площади ярового ячменя в среднем по Республике Беларусь за последние пять лет составили 580 тыс. га, при 34 ц/га урожайности зерна [1]. В прошлые годы основное место в группе яровых зерновых культур занимал ячмень, возделываемый на продовольственные и фуражные цели. Из зерна ячменя производят различные виды круп, но основная масса полученного зерна используется на нужды животноводства в составе комбикормов для различных видов и групп животных и птицы [2]. Основной задачей в системе удобрения данной культуры являлось повышение урожайности и содержания белка в зерне. Сегодня по этим вопросам накоплен большой экспериментальный материал, имеется ряд современных рекомендаций по технологиям возделывания для специалистов хозяйств.

Качество продуктов растениеводства – понятие весьма многоплановое. Одно и то же растение в зависимости от целей использования оценивается по разным показателям качества. Наряду с продовольственным (значительно в меньшей мере) и фуражным назначением, ячмень используется в пивоваренной промышленности. Пивоваренный ячмень не является особенной культурой, а скорее, отличается технологией возделывания ярового ячменя, предназначенного для специфического целевого использования. К зерну пивоваренного ячменя предъявляются особые требования, отличающиеся от требований к фуражному или продовольственному. Технология возделывания пивоваренного ячменя отличается рядом особенностей, связанных, прежде всего, с задачей получения высококачественного сырья для целей пивоварения. При этом важное значение имеет уровень содержания белка в зерне.

Основное значение при возделывании ярового ячменя на те или иные цели приобретает технология возделывания культуры, и в частности – установление экологически безопасной, экономически обоснованной системы удобрения, позволяющей создать оптимальные условия для роста и развития растений, формирования высокой урожайности зерна с заданными характеристиками его качества с учётом уровня обеспеченности почвы питательными веществами.

Наиболее пригодными для возделывания ярового ячменя являются суглинистые почвы со слабокислой реакцией почвенного раствора (5,6–6,0 и выше), повышенным содержанием гумуса (не менее 1,8 %), подвижных соединений фос-

фора и калия – не менее 150 мг/кг почвы, благоприятными агрофизическими свойствами пахотного слоя [3]. В Беларуси около четверти площадей дерново-подзолистых суглинистых почв характеризуется избыточным (выше оптимальных показателей) содержанием подвижных соединений фосфора, около трети – калия [4]. Изучение специфики минерального питания зерновых культур, в том числе ярового ячменя на таких почвах является актуальным направлением исследований.

Цель исследований – установить агроэкономически обоснованные уровни применения минеральных удобрений, обеспечивающие высокую и устойчивую урожайность ярового ячменя, возделываемого на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высоким содержанием подвижных соединений фосфора и калия, для различного целевого назначения использования зерна.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Стационарный технологический опыт заложен в трёх последовательно открываемых полях в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощном легком лессовидном суглинке в зернопропашном севообороте со следующим чередованием культур: вико-рапсовая смесь (2012–2014 гг.) – кукуруза на зеленую массу (2013–2015 гг.) – яровая пшеница (2014–2016 гг.) – яровой ячмень (2015–2017 гг.).

В опыте предусматривалось применение различных доз и сочетаний минеральных удобрений на фоне последствия 60 т/га солоमистого навоза (табл. 1). Органическое удобрение вносили осенью после уборки вико-рапсовой смеси. Минеральные удобрения в виде карбамида, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия внесены весной под предпосевную культивацию, и, кроме того, карбамид вносили в подкормку в дозе N_{30} в стадию первого узла развития культуры.

Повторность вариантов в опыте четырёхкратная. Общая площадь делянки – 36 м² (6×6), учётная – 24 м² (4×6).

Агрохимическая характеристика пахотного слоя: pH_{KCl} 6,00–6,29, содержание подвижных P_2O_5 – 650–750, K_2O – 400–500 мг/кг почвы, гумуса – 2,03–2,57 %.

Исследования проводили с пивоваренным яровым ячменём сорта Стратус, агротехника возделывания – общепринятая для Республики Беларусь, включающая интегрированную защиту растений от сорной растительности, вредителей и болезней [3].

Содержание белка в зерне ячменя определяли на инфракрасном спектрофотометре «Infraneo».

Так как зерно ячменя для продовольственных целей используется в значительно меньших объёмах, при расчёте экономической эффективности брали стоимость зерна для фуража. Экономическая эффективность рассчитана согласно методике определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений по И.М. Богдевич [5] по уровню цен на 2018 г.: стоимость 1 т зерна ярового ячменя на кормовые цели – 100 USD, пивоваренного – 160 USD; затраты на уборку и доработку 1 т зерна – 25 USD; стоимость минеральных удобрений с затратами на их внесение: 1 т д. в. азота – 466 USD,

фосфора – 913 USD, калия – 95 USD; затраты на приготовление и внесение на расстояние 5 км 1 т навоза КРС – 1,5 USD. Затраты на приготовление, доставку и внесение подстилочного навоза под ячмень – третью культуру севооборота (2-й год последствия) брали из расчета 10 % от общей суммы затрат.

Дисперсионный анализ экспериментальных данных выполнен согласно методике полевого опыта Б.А. Доспехова [6] с использованием программы MS Excel.

Метеорологические условия в период проведения исследований были в целом благоприятные для роста и развития ярового ячменя. Следует отметить, что в погодных условиях 2017 г. урожайность зерна в среднем по опыту оказалась на 20 % выше показателя предыдущего года исследований и на 15 % ниже показателя 2015 года.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки эффективности применяемых систем удобрения используют показатели агрономической и экономической эффективности. К основным показателям агрономической эффективности относят прибавку урожайности, окупаемость удобрений урожаем, а также качество товарной продукции.

Анализ данных урожайности ячменя показал, что в среднем за 3 года исследований за счет плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы сформировано 35 ц/га зерна (табл.1).

Таблица 1

Агрономическая эффективность систем удобрения при возделывании ярового ячменя (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га			Окупаемость, кг	
		к варианту без удобрений	от N	от РК	1 кг N	1 кг РК
Без удобрений	35,0	–	–	–	–	–
ПН* – Фон 1	39,1	4,1	–	–	–	–
Фон 1 + N ₆₀	51,1	16,1	12,0	–	20,0	–
Фон 1 + N ₆₀₊₃₀	56,6	21,6	17,5	–	19,4	–
Фон 1 + N ₉₀₊₃₀	58,7	23,7	19,6	–	16,3	–
ПН* + P ₂₀ K ₄₅ – Фон 2	42,0	7,0	–	2,9	–	4,5
Фон 2 + N ₆₀	55,1	20,1	13,1	–	21,8	–
Фон 2 + N ₆₀₊₃₀	59,4	24,4	17,4	–	19,3	–
Фон 2 + N ₉₀₊₃₀	63,6	28,6	21,6	–	18,0	–
ПН* + P ₄₀ K ₉₀ – Фон 3	42,8	7,8	–	3,7	–	2,8
Фон 3 + N ₆₀	55,6	20,6	12,8	–	21,3	–
Фон 3 + N ₆₀₊₃₀	60,4	25,4	17,6	–	19,6	–
Фон 3 + N ₉₀₊₃₀	62,5	27,5	19,7	–	16,4	–
НСР ₀₅	2,6	–	–	–	–	–

*ПН – последствие 60 т/га соломистого навоза (2-й год).

В зависимости от системы удобрения урожайность зерна по вариантам опыта варьировала в пределах от 39,1 до 63,6 ц/га.

За счет последействия 60 т/га соломистого навоза урожайность зерна увеличилась на 12 % относительно неудобренного варианта при окупаемости 1 т навоза 6,8 кг зерна ячменя.

Установлено, что наиболее эффективным агрономическим приёмом повышения продуктивности ярового ячменя является применение азотных удобрений – достоверная прибавка урожайности зерна отмечается на всех изучаемых фонах. Максимальные прибавки получены от применения дозы N_{90+30} , что в среднем по опыту составило 20,3 ц/га. При этом эффективность азотных удобрений была равноценной и не зависела от фона. За счёт фонового внесения доз фосфорных и калийных удобрений, рассчитанных на дефицитный баланс этих элементов ($P_{20}K_{45}$), дополнительно получено 2,9 ц/га зерна. Удвоение доз этих удобрений оказалось низкоэффективным приёмом – дополнительный сбор зерна по отношению к дозе $P_{20}K_{45}$ составил 0,8 ц/га, что статистически недостоверно. При этом каждый килограмм РК окупался 4,5 и 2,8 кг зерна соответственно. Наиболее эффективной системой удобрения ярового ячменя с агрономической точки зрения явилось комплексное применение $N_{90+30}P_{20}K_{45}$ на фоне последействия 60 т/га соломистого навоза, которое обеспечило дополнительный сбор зерна 28,6 ц/га относительно неудобренного варианта.

Экономическая эффективность возделывания ярового ячменя в большей мере определяется направлением его использования. Одним из основных показателей качества зерна культуры, определяющих его целевое назначение (для пивоваренного, кормового или продовольственного использования), является содержание сырого белка, которое находится в прямой зависимости от уровня азотного питания. В наших исследованиях в зависимости от уровня урожайности зерна, доз азотных удобрений и фона, содержание белка в зерне ячменя по опыту варьировало от 10 до 13,8 % с максимальными показателями от применения N_{90+30} на органоминеральных фонах.

Известно, что для использования зерна ячменя на пивоваренные цели допустимое содержание сырого белка составляет 9,5–11,5 % при оптимальном показателе 10,5 %. Содержание белка менее 8 % нежелательно, так как определённый минимум белковых веществ необходим для питания дрожжей, образования стойкой пены, создания вкуса и букета пива [7].

Установлено, что зерно с таким целевым назначением получено на органическом и органоминеральных фонах с применением фосфорных и калийных удобрений, а также – на органоминеральных фонах с применением азотных удобрений в дозе N_{60} . Содержание сырого белка варьировало от 10,0 до 11,4 % при его сборе от 3,4 до 5,4 ц/га (табл. 2).

Таблица 2

Влияние систем удобрения на содержание сырого белка в зерне ярового ячменя (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант	Сырой белок, % (на сухое вещество)	+/- к фону	Сбор сырого белка, ц/га
Без удобрений	9,9	–	3,0
ПН – Фон 1	10,0	–	3,4

Вариант	Сырой белок, % (на сухое вещество)	+/- к фону	Сбор сырого белка, ц/га
Фон 1 + N ₆₀	11,8	1,8	5,2
Фон 1 + N ₆₀₊₃₀	12,8	2,8	6,2
Фон 1 + N ₉₀₊₃₀	12,9	2,9	6,5
ПН + P ₂₀ K ₄₅ – Фон 2	10,0	–	3,6
Фон 2 + N ₆₀	11,3	1,3	5,3
Фон 2 + N ₆₀₊₃₀	12,8	2,8	6,6
Фон 2 + N ₉₀₊₃₀	13,7	3,7	7,5
ПН + P ₄₀ K ₉₀ – Фон 3	10,0	–	3,7
Фон 3 + N ₆₀	11,4	1,4	5,4
Фон 3 + N ₆₀₊₃₀	13,0	2,0	6,8
Фон 3 + N ₉₀₊₃₀	13,8	2,8	7,4
НСР ₀₅	0,8	–	–

Расчеты показали, что применение систем удобрения, позволяющих получать зерно ячменя пивоваренного назначения, экономически оправдано в основном за счёт повышенных цен на закупку зерна с низким содержанием белка.

Исключение азотных удобрений из системы удобрения обусловило невысокие прибавки урожайности зерна ячменя, что компенсировалось его высокой закупочной ценой. Прибыль при возделывании ячменя на фоне последствий соломистого навоза составила 46 USD/га при максимальной по опыту 241 % рентабельности. Однако, применение такой системы удобрения нежелательно с позиции сохранения плодородия почвы.

Известно, что фосфорные и калийные удобрения практически не оказывают положительного влияния на белковость зерна, а в отдельных случаях даже снижают его содержание [7]. В наших исследованиях применение доз фосфорных и калийных удобрений, рассчитанных на дефицитный (P₂₀K₄₅) и поддерживающий (P₄₀K₉₀) балансы этих элементов питания, не оказали влияния на направленность синтеза белка в зерне ячменя, что характерно для почвы с очень высоким содержанием этих элементов. Органоминеральная система удобрения, рассчитанная на дефицитный баланс фосфора и калия без внесения азотных удобрений, оказалась также экономически обоснованной. Уровень рентабельности достиг 128 % при 63 USD/га прибыли. Увеличение доз вносимых фосфора и калия (в расчёте на поддерживающий баланс элементов) обусловило, при более низком доходе, 70 % рентабельности (табл. 3).

Таблица 3

**Экономическая эффективность систем удобрения при возделывании
ярового ячменя разного целевого назначения**

Вариант	Стоимость продукции	Общие затраты	Прибыль	Рентабельность, %
	USD/га			
<i>Пивоваренное назначение</i>				
Последствие навоза, 60 т/га (ПН) – Фон	65	19	46	241

Вариант	Стоимость продукции	Общие затраты	Прибыль	Рентабельность, %
	USD/га			
P ₂₀ K ₄₅	112	49	63	128
P ₂₀ K ₄₅ + N ₆₀	322	110	212	193
P ₄₀ K ₉₀	125	74	51	70
P ₄₀ K ₉₀ + N ₆₀	330	134	196	147
<i>Фуражное назначение</i>				
ПН, 60 т/га (ПН) – фон	41	19	22	113
N ₆₀	161	77	84	109
N ₆₀₊₃₀	216	105	111	106
N ₉₀₊₃₀	237	124	113	91
P ₂₀ K ₄₅	70	49	21	43
P ₂₀ K ₄₅ + N ₆₀	201	110	91	83
P ₂₀ K ₄₅ + N ₆₀₊₃₀	245	135	110	81
P ₂₀ K ₄₅ + N ₉₀₊₃₀	286	159	127	80
P ₄₀ K ₉₀	78	74	4	6
P ₄₀ K ₉₀ + N ₆₀	156	134	22	54
P ₄₀ K ₉₀ + N ₆₀₊₃₀	254	160	94	59
P ₄₀ K ₉₀ + N ₉₀₊₃₀	273	179	94	54

Высокие дозы азота способствуют усилению синтеза белка в зерне ячменя. Однако, оптимальное азотное питание растений на начальных этапах его органогенеза, когда идет закладка генеративных органов, является важным элементом технологии возделывания зерновых культур [7]. В наших исследованиях применение N₆₀ на органоминеральных фонах, при существенном повышении урожайности культуры (на 30–31 %), обусловило допустимое его содержание в зерне ячменя на пивоваренные цели – 11,3–11,4 %. Прибыль при этом составила 196–212 USD/га при рентабельности на уровне 147–193 %.

Отмечено более существенное влияние дозы N₆₀ на органическом фоне на синтез белка в зерне ячменя. При такой системе удобрения содержание протеина в зерне составило 11,8 % – его использование рекомендуется на кормовые цели.

Изучаемые системы удобрения ярового ячменя могут быть применены и при возделывании его исключительно на фураж, в связи с чем расчет экономической эффективности представлен для всех применяемых систем удобрения, независимо от уровня содержания белка в зерне (табл. 3).

Для ячменя кормового назначения важным показателем качества является содержание белка в зерне, существенное влияние на синтез которого оказывает повышенное азотное питание. Известно, что эффективность азотных удобрений наиболее полно проявляется на хорошем фосфорном и калийном фоне [7]. В наших исследованиях применяемые фосфорные и калийные удобрения в целом не обусловили повышение эффективности азотных для синтеза белка, что, возможно, является следствием предполагаемого дисбаланса минерального питания почвы в связи с очень высоким содержанием в ней подвижных соединений фосфора и калия.

За счёт азотной подкормки растений в фазу первого узла культуры содержание сырого протеина в зерне ячменя увеличилось до 12,8–13,8 %. На органическом фоне содержание белка возросло на 2,8–2,9 %, а на органоминеральном с применением $P_{20}K_{45}$ – на 2,8–3,7 %, с применением $P_{40}K_{90}$ – на 3,0–3,8 %.

Оценка эффективности систем удобрения, обеспечивающих получение зерна ячменя фуражного назначения, показала, что все применяемые системы удобрения культуры экономически эффективны. Так, на органическом фоне, в зависимости от уровня азотного питания, прибыль составила 22–113 USD/га при 91–113 % рентабельности. На органоминеральных фонах с применением фосфорных и калийных удобрений, рассчитанных на дефицитный и поддерживающий балансы этих элементов, прибыль составила 21–127 и 4–94 USD/га при уровне рентабельности 43–83 и 6–59 % соответственно. Наилучший агроэкономический эффект получен от применения $N_{90+30}P_{20}K_{45}$ на органическом фоне, где при урожайности зерна ячменя 63,6 ц/га с содержанием белка 13,7 % прибыль составила 127 USD/га при 80 % рентабельности.

ВЫВОДЫ

В полевом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высоким содержанием подвижных соединений фосфора и калия проведены исследования по установлению влияния различных систем удобрения на продуктивность и качество зерна ярового ячменя с дифференцированным подходом к расчёту их экономической эффективности с учётом целевого назначения зерна.

Установлено, что:

– применение органической, а также органоминеральных систем удобрения, рассчитанных на дефицитный и поддерживающий балансы фосфора и калия, в комплексе с N_{60} обеспечило формирование урожайности зерна ячменя на уровне 39,1–55,6 ц/га, с уровнем содержания белка, отвечающим требованиям пивоваренного назначения, и обусловило получение прибыли 46–212 USD/га при 70–241 % рентабельности. Наилучший агроэкономический эффект получен от применения $N_{60}P_{20}K_{45}$ на органическом фоне, где при урожайности зерна ячменя 55,1 ц/га с содержанием белка 11,3 % прибыль составила 212 USD/га при 193 % рентабельности;

– применение азотных удобрений в дозах N_{90-120} способствовало увеличению содержания белка в зерне ячменя до 12,8–13,8 % в зависимости от фона, обусловив фуражную направленность его использования. Система удобрения, включающая комплексное применение $N_{90+30}P_{20}K_{45}$ на органическом фоне, обеспечила формирование 63,6 ц/га зерна с содержанием белка в нём на уровне 13,7 % с уровнем рентабельности 80 % и 127 USD/га прибыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белстат [Электронный ресурс] / Официальная статистика. Сельское и лесное хозяйство. – Минск, 2018. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika>. – Дата доступа 01.04.2018 г.
2. Удобрения и качество урожая сельскохозяйственных культур: монография / И.Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Технопринт, 2005. – 276 с.

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

4. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016) / И.М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И.М. Богдевича. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 275 с.

5. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И.М. Богдевич [и др.]; РУП Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 24 с.

6. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

7. *Минеев В.Г.* Удобрение и качество продукции / В.Г. Минеев. – М.: Знание, 1980. – 64 с.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF FERTILIZATION SYSTEMS OF SPRING BARLEY DEPENDING ON THE PURPOSE OF GRAIN

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

Summary

Studies were conducted on sod-podzolic light loamy soil with a very high content of mobile compounds of phosphorus and potassium. The influence of various fertilizer systems on the productivity of spring barley with a differentiated approach to the calculation of their economic efficiency, taking into account the purpose of the grain is studied. The application of $N_{60}R_{20}K_{45}$ on an organic background ensures the formation of barley grain with a profit level of 212 USD/ha with a profitability of 193 % is established. Application of $N_{90+30}P_{20}K_{45}$ on an organic background is provides forage grain formation with a profitability level of 80 % and 127 USD/ha profit.

Поступила 02.05.18

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД ЯРОВУЮ ПШЕНИЦУ НА АНТРОПОГЕННО- ПРЕОБРАЗОВАННОЙ ТОРФЯНОЙ ПОЧВЕ

Н.Н. Цыбулько¹, А.В. Шашко²

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

*²Институт радиологии,
г. Гомель, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

На территории Белорусского Полесья в составе сельскохозяйственных земель около 0,7 млн га занимают осушенные торфяно-болотные почвы [1]. Вследствие длительного интенсивного сельскохозяйственного использования возникла проблема трансформации агроландшафтов с органогенными торфяно-болотными почвами. В структуре почвенного покрова мелиорированных земель появились новые разновидности торфяных почв с уменьшающимся содержанием органического вещества. В результате эти земли стали представлять собой сложные почвенные комбинации, различающиеся водно-воздушным режимом, содержанием органического вещества и другими свойствами [2, 3]. На месте торфяно-болотных почв образовались антропогенно-преобразованные торфяные почвы, включающие деградированные торфяно-минеральные, минеральные остаточно-торфяные и минеральные постторфяные почвы, которые согласно классификации отнесены к дегроторфяным разной степени минерализации [4, 5].

В настоящее время площади антропогенно-преобразованных торфяных почв составляют около 200 тыс. га, в перспективе могут достигнуть 350 тыс. га и более [6, 7]. По уровню содержания органического вещества, водно-физическим и агрохимическим свойствам эти почвы значительно отличаются как от торфяных, так и от минеральных почв [8, 9].

За последние годы проведен целый ряд исследований, в которых изучались диагностические признаки, свойства и плодородие антропогенно-преобразованных торфяных почв, режимы минерального питания сельскохозяйственных культур на этих почвах [10–13].

Цель исследований – изучить эффективность разных доз азотных и калийных удобрений при возделывании яровой пшеницы на антропогенно-преобразованной торфяной почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в 2012–2014 гг. в стационарных полевых опытах на территории землепользования государственного предприятия «Новое Полесье» Лунинецкого района Брестской области. Объектом исследования являлась антропогенно-преобразованная торфяная почва. Агрохимические показатели пахотного (0–25 см) слоя почвы следующие (средние значения): органическое веществ-

во – 60,4 %, $N_{\text{общ}}$ – 1,71 %, pH в KCl – 5,44; подвижные формы (в 0,2 М HCl) P_2O_5 – 748 и K_2O – 625 мг/кг почвы.

В опыте возделывали яровую пшеницу сорта Ростань. Схема опыта включала следующие варианты (дозы удобрений в кг/га действующего вещества):

1. Контроль (без удобрений);
2. $P_{60}K_{80}$;
3. $P_{60}K_{120}$;
4. $P_{60}K_{160}$;
5. $P_{60}K_{120} + N_{60}$ – перед посевом;
6. $P_{60}K_{120} + N_{60}$ – перед посевом + N_{30} – в начале фазы выхода в трубку (первый узел стебля);
7. $P_{60}K_{120} + N_{60}$ – перед посевом + N_{60} – в начале фазы выхода в трубку (первый узел стебля);
8. $P_{60}K_{120} + N_{60}$ – перед посевом + $N_{30} + Cu_{200}$ + регуляторы роста растений – в начале фазы выхода в трубку (первый узел стебля) + N_{30} – в начале фазы колошения.

Технология возделывания культуры соответствовала принятому отраслевому регламенту [14]. Обработка почвы включала зяблевую вспашку, культивацию в два следа с боронованием, предпосевную культивацию с прикатыванием агрегатом АКШ–7,2.

Фосфорные в форме суперфосфата аммонизированного и калийные в форме калия хлористого удобрения вносили перед посевом яровой пшеницы. Азотные удобрения применяли в форме карбамида в основное внесение и в подкормку в начале фазы колошения, в форме смеси растворов мочевины и аммиачной селитры (КАС) – в подкормку в начале фазы выхода в трубку. Медьсодержащее удобрение в форме сульфата меди в дозе 200 г/га и регуляторы роста растений (терпал в дозе 2 л/га и экосил в дозе 100 мл/га) применяли совместно с азотными удобрениями при подкормке в фазу выхода в трубку.

Размещение делянок в опыте рендомизированное. Общая площадь делянки 29 м², учетная площадь – 24 м². Повторность вариантов в опыте четырехкратная. Уборку культуры проводили вручную, поделяночно.

Агрохимические показатели почв определяли по методикам: органическое вещество – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212–91 [15]; pH_{KCl} – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483–85 [16]; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207–91 [17]; общий азот – по ГОСТ 26107–84 [18].

Полученные данные обрабатывали методами корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа [19] с использованием компьютерного программного обеспечения (Excel 7.0, Statistic 7.0).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За годы исследований (2012–2014 гг.) метеорологические условия вегетационных периодов (апрель–август) различались. По степени увлажнения 2012 и 2014 годы характеризовались как влажные – ГТК составили соответственно 1,66 и 2,02, а 2013 год был слабозасушливым – ГТК равен 1,16.

Продуктивность яровой пшеницы существенно различалась по годам исследований. В 2012 г. она колебалась по вариантам опыта от 22,8 до 46,9 ц/га, в 2013 г. – от 20,6 до 36,1 ц/га и в 2014 г. – от 17,3 до 31,2 ц/га. Урожайность зерна в контрольном варианте (без удобрений) изменялась по годам от 17,3 до 22,8 ц/га (табл. 1).

В 2012 году, при содержании в антропогенно-преобразованной торфяной почве P_2O_5 и K_2O соответственно 743 и 598 мг/кг, применение фосфорных и калийных удобрений в дозах $P_{60}K_{80}$ обеспечило прибавку зерна по отношению к контролю 5,7 ц/га. При внесении более высоких доз калия (K_{120} и K_{160}) получены прибавки соответственно 8,1 и 9,7 ц/га, но они были несущественными по отношению к варианту $P_{60}K_{80}$.

Таблица 1

**Влияние разных доз азотных и калийных удобрений
на продуктивность яровой пшеницы**

Вариант опыта	2012 г.			2013 г.			2014 г.		
	Урожайность, ц/га	Прибавка зерна, ц/га		Урожайность, ц/га	Прибавка зерна, ц/га		Урожайность, ц/га	Прибавка зерна, ц/га	
		к контролю	к фону $P_{60}K_{120}$		к контролю	к фону $P_{60}K_{120}$		к контролю	к фону $P_{60}K_{120}$
1. Контроль	–	–	–	20,6	–	–	16,1	–	–
2. $P_{60}K_{80}$	28,5	5,7	–	24,4	3,8	–	20,6	4,5	–
3. $P_{60}K_{120}$	30,9	8,1	–	26,6	6,0	–	22,0	5,9	–
4. $P_{60}K_{160}$	32,5	9,7	–	27,4	6,8	–	22,5	6,4	–
5. $N_{60}P_{60}K_{120}$	40,3	17,5	9,4	30,3	9,7	3,7	25,0	8,9	3,0
6. $N_{90}P_{60}K_{120}$	42,6	19,8	11,7	32,7	12,1	6,1	27,8	11,7	5,8
7. $N_{120}P_{60}K_{120}$	43,3	20,5	12,4	32,8	12,2	6,2	28,2	12,1	6,2
8. $N_{120}P_{60}K_{120} + Cu_{200} + PP$	46,9	24,1	16,0	36,1	15,5	9,5	31,2	15,1	9,2
HCP_{05}	4,58	–	–	2,10	–	–	2,63	–	–

В варианте с предпосевным внесением под яровую пшеницу азотных удобрений в дозе 60 кг/га на фоне $P_{60}K_{120}$ сформирована урожайность зерна 40,3 ц/га. Прибавка по отношению к контролю составила 17,5 ц/га и к фосфорно-калийному фону – 9,4 ц/га. Дополнительная азотная подкормка посевов дозой 30 кг/га действующего вещества (вариант 6) в фазу выхода в трубку не способствовала существенному увеличению урожайности яровой пшеницы по отношению к варианту 5 с предпосевным внесением N_{60} . Прибавка зерна составила 2,3 ц/га при HCP_{05} 4,58 ц/га. Также не привело к достоверному росту урожайности увеличение дозы азотной подкормки в фазу выхода в трубку до 60 кг/га (вариант 7).

В то же время дробное применение N_{120} (N_{60} перед посевом + N_{30} в фазу выхода в трубку + N_{30} в фазу колошения) совместно с медьсодержащим удобрением (Cu_{200}) и регуляторами роста растений обеспечило существенную (6,6 ц/га) прибавку зерна по отношению к варианту, где вносили перед посевом 60 кг/га азота удобрений.

В 2013 г. общая продуктивность яровой пшеницы была ниже, чем в предыдущем 2012 г., а также меньшими были прибавки зерна от применения минеральных удобрений.

В контрольном варианте урожайность зерна пшеницы составила 20,6 ц/га. При внесении фосфорных и калийных удобрений в дозах соответственно 60 и 80 кг/га действующего вещества получена достоверная прибавка зерна по отношению к контролю, составившая 3,8 ц/га при НСР₀₅ = 2,10 ц/га.

Применение дозы калия 120 кг/га (вариант 3) обеспечило существенное увеличение урожайности по отношению к варианту P₆₀K₈₀, тогда как более высокая его доза (K₁₆₀) не привела к достоверному повышению прибавки зерна яровой пшеницы.

Прибавки урожайности от азотных удобрений в засушливом (ГТК = 1,16) 2013 г. были на 40–60 % ниже, чем в 2012 г. Предпосевное внесение под яровую пшеницу N₆₀ на фоне P₆₀K₁₂₀ обеспечило урожайность зерна 30,3 ц/га, а прибавку к фосфорно-калийному фону – 3,7 ц/га. Дополнительная азотная подкормка посевов дозой N₃₀ (вариант 6) в фазу выхода в трубку растений достоверно увеличила урожайность по отношению к варианту с предпосевным внесением N₆₀. Азотная подкормка посевов в эту фазу в дозе 60 кг/га (вариант 7) не обеспечила существенного увеличения урожайности по сравнению с дробным внесением N₉₀.

Наиболее высокая урожайность яровой пшеницы, составившая 36,1 ц/га, получена в варианте с дробным применением N₁₂₀ совместно с медьсодержащим удобрением и регуляторами роста растений. Прибавка зерна по отношению к фону РК составила 9,5 ц/га. Достоверной она также была по отношению к другим вариантам с азотными удобрениями.

В 2014 г. урожайность яровой пшеницы была наиболее низкой по сравнению с другими годами. В контроле она составила 16,1 ц/га. Фосфорные и калийные удобрения в дозах P₆₀K₈₀ обеспечили прибавку зерна к контролю 4,5 ц/га. Применение более высоких доз калия (120 и 160 кг/га) не привело к существенному увеличению урожайности.

При внесении разных доз азотных удобрений прибавки зерна к фону РК колебались от 3,0 до 6,2 ц/га. Варианты с дробным применением N₉₀ и N₁₂₀ существенно различались между собой. Как и в предыдущие годы, наиболее высокая урожайность получена при совместном внесении азотных удобрений, медьсодержащего удобрения и регуляторов роста растений.

В среднем за 3 года исследований при содержании в антропогенно-преобразованной торфяной почве P₂O₅ и K₂O соответственно 743 и 598 мг/кг и урожайности яровой пшеницы в контрольном варианте 19,8 ц/га от применения фосфорных и калийных удобрений в дозах P₆₀K₈₀ сформирована прибавка зерна 4,7 ц/га. При внесении более высоких доз калийных удобрений 120 и 160 кг/га д. в. получены прибавки соответственно 6,7 и 7,7 ц/га (табл. 2).

Применение перед посевом яровой пшеницы азотных удобрений в дозе 60 кг/га на фоне P₆₀K₁₂₀ обеспечило урожайность 31,9 ц/га и прибавку к фосфорно-калийному фону 5,4 ц/га. Азотная подкормка растений дозой N₃₀ в фазу выхода в трубку несущественно увеличила урожайность по отношению к N₆₀ в основное внесение. Прибавка зерна к этому варианту составила 2,5 ц/га при НСР₀₅ = 3,10 ц/га. Также не привело к достоверному росту урожайности увеличение дозы азотной подкормки до 60 кг/га в фазу выхода в трубку.

Влияние разных доз азотных и калийных удобрений на продуктивность яровой пшеницы и окупаемость минеральных удобрений прибавкой зерна, в среднем за 3 года исследований

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка зерна, ц/га		Окупаемость удобрений прибавкой зерна, кг		
		к контролю	к P ₆₀ K ₁₂₀	PK	N	NPK
1. Контроль	19,8	–	–	–	–	–
2. P ₆₀ K ₈₀	24,5	4,7	–	3,4	–	–
3. P ₆₀ K ₁₂₀	26,5	6,7	–	3,7	–	–
4. P ₆₀ K ₁₆₀	27,5	7,7	–	3,5	–	–
5. N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	31,9	12,1	5,4	–	9,0	5,0
6. N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀	34,4	14,6	7,9	–	8,8	5,4
7. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	34,8	15,0	8,3	–	6,9	5,0
8. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + Cu ₂₀₀ + PP	38,1	18,3	11,6	–	–	–
HCP ₀₅	3,10	–	–	–	–	–

Самая высокая урожайность яровой пшеницы за 3 года исследований, составившая 38,1 ц/га, получена при дробном применении N₁₂₀ (N₆₀ перед посевом + N₃₀ в фазу выхода в трубку р + N₃₀ в фазу колошения) совместно с медьсодержащим удобрением (Cu₂₀₀) и регуляторами роста растений. Прибавка зерна к контролю составила 17,9 ц/га, к фосфорно-калийному фону – 11,6 ц/га. В этом варианте наблюдалось и наиболее низкое накопление ¹³⁷Cs в зерне.

В среднем по Беларуси норматив окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур на дерново-подзолистых почвах составляет 6,2 кг зерна на 1 кг NPK, в том числе прибавкой урожая яровой пшеницы – 6,0 кг зерна [20].

По результатам полевого опыта на антропогенно-преобразованной торфяной почве проведена оценка эффективности разных доз внесения минеральных удобрений при возделывании яровой. Установлено, что окупаемость фосфорных и калийных удобрений прибавкой урожая несущественно зависела от уровней применения калийных удобрений и колебалась в пределах 3,4–3,7 кг зерна. Эффективность азотных удобрений определялась дозами внесения. Наблюдалось снижение окупаемости азотных удобрений с 9,0 кг зерна при дозе N₆₀ до 6,9 кг зерна – при дозе N₁₂₀. Окупаемость полного (NPK) минерального удобрения по вариантам опыта изменялась в пределах 5,0–5,4 кг зерна. Наиболее эффективным оказался вариант с применением N₁₂₀P₆₀K₁₂₀ совместно с медьсодержащим удобрением (Cu₂₀₀) и регуляторами роста растений. Окупаемость средств химизации составила 6,1 кг зерна.

Основным принципом оценки экономической эффективности удобрений является сопоставление стоимости прироста урожая с дополнительными затратами на его получение. Исходя из этого, на основе данных стоимости прибавки урожая, действующих закупочных цен на зерно и производственных затрат на возделывание яровой пшеницы, проведены расчеты экономической эффективности применения минеральных удобрений под данную культуру [21].

Производственные затраты, включающие эксплуатационные затраты, стоимость семян, удобрений и пестицидов, затраты на уборку, транспортировку и

доработку дополнительной продукции, колебались по вариантам опыта в зависимости от доз применения минеральных удобрений от 371,73 до 773,18 руб. на 1 га (от 187,4 до 389,7 долларов США) (табл. 3).

Таблица 3

Производственные затраты на возделывание яровой пшеницы, в среднем за 3 года исследований

Вариант опыта	Производственные затраты всего, рублей на 1га	В том числе, рублей на 1 га	
		затраты на удобрения и пестициды	затраты на уборку и доработку дополнительной продукции
1. Контроль	511,13	10,16	–
2. P ₆₀ K ₈₀	633,76	104,41	28,38
3. P ₆₀ K ₁₂₀	648,54	111,67	41,58
4. P ₆₀ K ₁₆₀	661,17	119,04	48,18
5. N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	704,54	181,87	77,22
6. N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀	733,69	216,87	93,72
7. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	738,19	251,87	96,36
8. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + Cu ₂₀₀ + PP	773,18	364,37	118,14

Курс доллара США 1,9839 рублей.

Удельный вес эксплуатационных затрат, включая все производственные затраты, в контрольном варианте составил 87 %, в вариантах с применением фосфорных и калийных удобрений – 69–73 и в вариантах с полным (NPK) минеральным удобрением – 4858 %.

Затраты на применение минеральных удобрений колебались в зависимости от их доз от 104,41 до 364,37 руб./га (от 52,6 до 183,7 долл. США/га). Удельный вес затрат на удобрения в производственных затратах варьировал от 16,5 до 47,1 %.

Затраты на производство (себестоимость) 1 т зерна снижались по мере повышения продуктивности яровой пшеницы с 258,15 руб. (130,1 доллара США) на контроле при урожайности 19,8 ц/га до 202,93 руб. (102,3 доллара США) в варианте 8 при урожайности 38,1 ц/га (рис. 1).

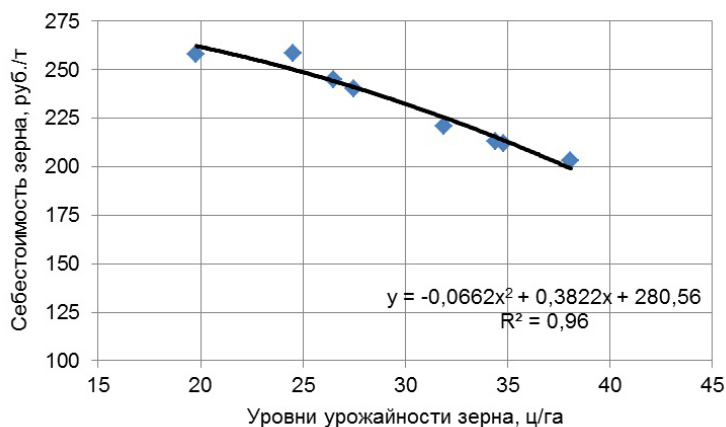


Рис. 1. Зависимость себестоимости 1 т зерна от уровней урожайности яровой пшеницы

Цена зерна яровой пшеницы мягкой (ГОСТ 9353-90 с изменением № 1 ВУ, 2 ВУ) с массовой долей клейковины не менее 23 % (класс 3) согласно установленным предельным максимальным ценам на сельскохозяйственную продукцию (растениеводства) урожая 2017 г. составляет 303,58 руб. за 1 т.

Расчеты показали, что прибыль при производстве зерна яровой пшеницы существенно колеблется в зависимости от урожайности, обусловленной применением разных доз удобрений (табл. 4).

Таблица 4

**Экономическая эффективность возделывания яровой пшеницы
в зависимости от доз внесения минеральных удобрений**

Вариант	Стоимость продукции	Производствен- ные затраты	Прибыль	Рентабельность производства, %
	рублей на 1 га			
1. Контроль	601,09	511,13	89,96	17,6
2. P ₆₀ K ₈₀	743,77	633,76	110,01	17,4
3. P ₆₀ K ₁₂₀	804,49	648,54	155,95	24,0
4. P ₆₀ K ₁₆₀	834,85	661,17	173,68	26,3
5. N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	968,42	704,544	263,88	37,5
6. N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀	1044,32	733,694	310,63	42,3
7. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	1056,46	738,198	318,26	43,1
8. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + Cu ₂₀₀ + PP	1156,64	773,18	383,46	49,6

Курс доллара США 1,9839 рублей.

В контроле (без удобрений) при урожайности зерна 19,8 ц/га прибыль составила 89,96 руб. на 1 га (45,3 долларов США), а рентабельность производства 17,6 %. В вариантах с применением фосфорных и калийных удобрений прибыль изменялась от 110,01 до 173,68 руб./га (от 55,5 до 87,5 долл./га). Рентабельность производства зерна возросла до 24,0–26,3 %.

Применение на фоне P₆₀K₁₂₀ азотных удобрений в дозах от 60 до 120 кг/га способствовало существенному повышению эффективности возделывания яровой пшеницы. Так, в варианте N₆₀P₆₀K₁₂₀ прибыль составила 263,88 руб./га (133,0 долл. США/га) при рентабельности производства зерна 37,5 %. При дробном внесении под яровую пшеницу на фоне P₆₀K₁₂₀ азотных удобрений в дозах 90 и 120 кг/га получена прибыль соответственно 310,63 и 318,26 руб. на 1 га (156,6 и 160,4 доллара США на 1 га) с уровнями рентабельности производства 42,3 и 43,1 %. Наиболее эффективным оказался вариант с применением N₁₂₀P₆₀K₁₂₀ совместно с медьсодержащим удобрением (Cu₂₀₀) и регуляторами роста растений. Прибыль составила 383,46 руб./га (193,3 долл. США/га) и рентабельность производства зерна 49,6 %.

Как показывают данные, приведенные на рис. 2, рентабельность возделывания яровой пшеницы определялась уровнем урожайности. При уровнях урожайности 20–25 ц/га рентабельность производства не превышала 20 %, при 25–30 ц/га она колеблется в пределах 23–30 % и при 35–40 ц/га – 43–50 %.

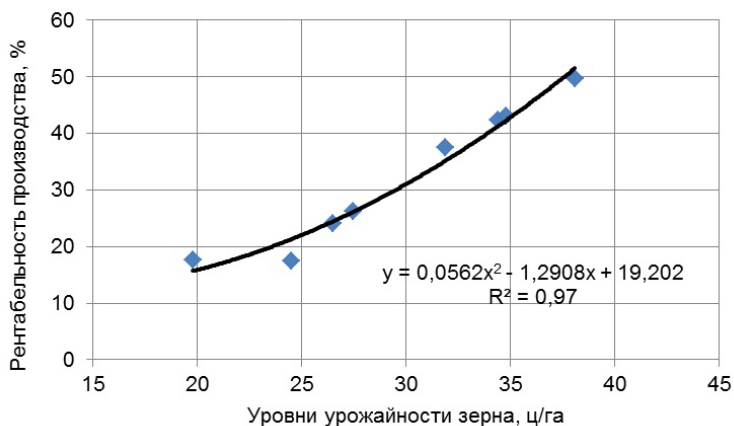


Рис. 2. Зависимость рентабельности производства зерна от уровней урожайности яровой пшеницы

ВЫВОДЫ

1. На антропогенно-преобразованной торфяной почве при содержании в ней подвижных соединений фосфора 740–750 и калия 600–650 мг/кг почвы оптимальными дозами фосфорных и калийных удобрений под яровую пшеницу являются $P_{60}K_{120}$. Увеличение дозы калия до 160 не способствует существенному росту урожайности зерна.

2. При запасах в ранневесенний период минерального азота в почве 90–100 кг/га наибольшую продуктивность яровой пшеницы 38,1 ц/га обеспечивает дробное внесение азота в дозе 120 кг/га на фоне $P_{60}K_{120}$ совместно с медьсодержащим удобрением Cu_{200} и регуляторами роста растений.

3. На яровой пшенице окупаемость фосфорных и калийных удобрений, внесенных в дозах $P_{60}K_{80-160}$, прибавка урожая несущественно зависит от уровней применения калия и колеблется в пределах 3,4–3,7 кг зерна. Окупаемость азотных удобрений определяется их дозами – наблюдается ее снижение с 9,0 кг зерна при дозе N_{60} до 6,9 кг зерна – при дозе N_{120} .

4. Затраты на производство (себестоимость) 1 т зерна снижаются по мере повышения продуктивности яровой пшеницы. При уровнях урожайности 20–25 ц/га рентабельность производства зерна не превышает 20 %, при 25–30 ц/га она колеблется в пределах 23–30 % и при 35–40 ц/га – 43–50 %.

5. При рентабельности производства зерна яровой пшеницы 24,0 % на фоне $P_{60}K_{120}$ предпосевное применение азотных удобрений в дозе 60 кг/га обеспечивает рентабельность 37,5 % и прибыль 263,88 руб./га (133,0 долл. США/га).

Дробное внесение N_{90} и N_{120} способствует существенному увеличению прибыли и рентабельности соответственно 310,63 и 318,26 руб. на 1 га (156,6 и 160,4 доллара США на 1 га) и 42,3 и 43,1 %. Наиболее эффективным под яровую пшеницу является применение $N_{120}P_{60}K_{120}$ совместно с медьсодержащим удобрением (Cu_{200}) и регуляторами роста растений, обеспечивая прибыль 383,46 руб./га (193,3 долл. США/га) и рентабельность производства зерна 49,6 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вахонин, Н.К.* Эколого-экономические аспекты эффективности мелиорации и сельскохозяйственного использования земель Полесья // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. докл. Междунар. науч. конф. (Минск, 14–17 сент. 2016 г.) в 2 т. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: В.Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2016. – С. 26–31.
2. *Мееровский, А.С.* Сохранение и эффективное использование мелиорированных земель в Белорусском Полесье // Европейское Полесье – хозяйственная значимость и экологические риски: материалы Междунар. семинара, г. Пинск, 19–21 июня 2007 г. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: И.И. Лиштван [и др.]. – Минск: Минсктиппроект, 2007. – С. 37–39.
3. *Мееровский, А.С.* Проблемы использования и сохранения торфяных почв / А.С. Мееровский, В.П. Трибис // Новости науки и технологий. – 2012. – № 4(23). – С. 3–9.
4. Полевая диагностика почв Беларуси. Практическое пособие; под ред. Г.С. Цытрон. / Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь, Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Учебн. центр подгот., повышения квалификации и переподгот. кадров землеустроит. и картографогеодез. службы. – 2011. – 175 с.
5. *Цытрон, Г.С.* Антропогенно-преобразованные почвы Беларуси / Г.С. Цытрон. – Минск, 2004. – 124 с.
6. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие; под ред. Г.И. Кузнецова, Н.И. Смяяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.
7. 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.
8. Пригодность почв Республики Беларусь для возделывания отдельных сельскохозяйственных культур: рекомендации / В.В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – 64 с.
9. Эколого-экономическое обоснование мелиорации торфяно-болотных комплексов и технологии их рационального использования / под общ. ред. проф. Ю.А. Мажайского. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2012. – 302 с.
10. Адаптивные системы комплексного применения удобрений, регуляторов роста и пестицидов при уходе за посевами зерновых культур на антропогенно-преобразованных торфяных почвах (рекомендации) / Мин. сельск. хоз. и прод. Респ. Беларусь, РУП «Научн.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию», РУП «Ин-т мелиорации», РУП «Ин-т защиты растений». – Минск, 2008. – 48 с.
11. *Семененко, Н.Н.* Экономическая эффективность комплексного применения средств интенсификации возделывания озимого тритикале на антропогенно-преобразованных торфяных почвах / Н.Н. Семененко // Мелиорация. – 2010. – № 2(64). – С. 123–128.
12. Применение биотехнологических мероприятий и средств интенсификации нового поколения при возделывании кукурузы на антропогенно-преобразованных торфяных почвах Полесья (методические рекомендации) / РУП «Ин-т мелиорации». – Минск, 2013. – 40 с.

13. Семененко, Н.Н. Торфяно-болотные почвы Полесья: трансформация и пути эффективного использования / Н.Н. Семененко. – Минск: Беларус. навука, 2015. – 282 с.
14. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов / рук. разработ. Ф.И. Привалов [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 288 с.
15. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212–91. – Введ. 1993.07.01. – Минск: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
16. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение рН по методу ЦИНАО: ГОСТ 26483–85. – Введ. 07.01.86. – Минск: Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1987. – 4 с.
17. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26207–91. – Введ. 07.01.93. – Минск: Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 6 с.
18. Почвы. Методы определения общего азота: ГОСТ 26107-84. – Введ. 07.01.85. – Минск: Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1985. – 6 с.
19. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
20. Справочник нормативных материалов для агрохимического окультуривания почв и эффективного использования удобрений / В.В. Лапа [и др.]. – Минск, Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 60 с.
21. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И.М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

EFFICIENCY OF APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS FOR SPRING WHEAT ON ANTHROPOGENIC-TRANSFORMED PEAT SOIL

N.N. Tsybulka, A.V. Shashko

Summary

Anthropogenic-transformed peat soil has been used to study the effectiveness of different rates of nitrogen and potassium fertilizers in the cultivation of spring wheat. It was found that with the content of mobile compounds of phosphorus 740–750 and potassium 600–650 mg/kg in soil, the optimal rates of phosphorus and potassium fertilizers are $P_{60}K_{120}$. An increase in the rate of potassium to 160 does not contribute to a significant increase in the yield of grain. The greatest productivity of spring wheat is 38,1 centners per hectare. It is provided by fractional application of nitrogen at a rate of 120 kg, with reserves in the early spring period of mineral nitrogen in the soil of 90–100 kg/ha.

The cost of producing 1 ton of grain decreases as the productivity of spring wheat increases. At yield levels of 20–25 centners/ha, the profitability of grain production does not exceed 20 per cent, at 25–30 centners/ha it fluctuates within 23–30 per cent

and at 35–40 centners/ha 43–50 per cent. With a profitability of grain production of 24,0 % against $P_{60}K_{120}$, presowing application of nitrogen fertilizers at a dose of 60 kg/ha provides a profitability of ,5 % and a profit of 263,88 rubles/ha (133,0 \$/ha). The fractional introduction of N_{90} and N_{120} contributes to a significant increase in profits, respectively, 310,63 and 318,26 rubles per 1 ha (156,6 and 160,4 us dollars per 1 ha) with profitability levels of 42,3 and 43 %. The most effective for spring wheat is the use of $N_{120}P_{60}K_{120}$ in conjunction with copper-containing fertilizer (Cu_{200}) and plant growth regulators, providing a profit of 383,46 rubles per 1 ha (193,3 \$/ha) and a profitability of grain production of 49,6 %.

Поступила 22.03.18

УДК 631.862:632.15:631.445.2

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НАГРУЗОК ЖИДКОГО НАВОЗА КРС И СВИНЫХ НАВОЗНЫХ СТОКОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Е.Н. Богатырева, Т.М. Серая, А.В. Юхновец, Т.М. Кирдун, М.М. Торчило

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

ВВЕДЕНИЕ

Почва, обладая многофункциональными свойствами, является наиболее важным и уникальным компонентом агробиоценоза, определяющим его продуктивность и устойчивое развитие в условиях научно обоснованной системы ведения сельскохозяйственного производства. Учитывая тот фактор, что почва играет огромную роль в регулировании экологических функций, обуславливающих устойчивость агроценозов и биосферы в целом, проблема нарастающего риска функционирования системы «почва – растение – человек» порождает необходимость учитывать экологический аспект любой хозяйственной деятельности, а также объясняет его приоритет в научных разработках. Важным моментом в этом направлении является предотвращение антропогенного загрязнения земель сельскохозяйственного назначения и получение экологически чистой растениеводческой продукции.

При современных тенденциях развития сельскохозяйственного производства строительство животноводческих комплексов с высокой концентрацией поголовья на ограниченных площадях выдвигает необходимость утилизации отходов животноводства, которые накапливаются в больших объемах. На сегодняшний день в Республике Беларусь функционирует 198 животноводческих комплексов, в том числе 78 комплексов по откорму КРС и 120 свинокомплексов. Общая численность

поголовья КРС на выращивании и откорме в сельскохозяйственных организациях составляет 4188,1 тыс., свиней – 2734,5 тыс. голов [1]. При существующем поголовье скота ежегодно в организациях агропромышленного комплекса накапливается более 12 млн тонн экскрементов, при смывании которых технологической водой, в зависимости от ее количества, образуется жидкий навоз и навозные стоки. Во всем мире отходы предприятий животноводства используют в качестве органических удобрений, поскольку они являются источником макро- и микроэлементов и, при правильном использовании, оказывают благоприятное влияние на плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур [2–8]. Однако в условиях реального производства в силу экономических причин, отсутствия необходимых объемов навозохранилищ, недостаточности оснащения технического парка, а также ограниченности имеющихся в хозяйствах земель эти удобрения в основном вносят в радиусе 5–6 км от животноводческих комплексов. В результате нагрузка жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на 1 га пахотных земель в отдельных сельскохозяйственных организациях может составлять 600 тонн и более. Поступление в почву тяжелых металлов (ТМ) с рекомендуемыми дозами органических удобрений под сельскохозяйственные культуры заметно не меняет природных уровней их содержания в почвах и не представляет опасности с точки зрения загрязнения [9–11]. Более напряженный баланс тяжелых металлов складывается в почвах при их интенсивном внесении [12–14]. При поступлении в почву ТМ включаются в биохимический круговорот, в ходе которого активно трансформируются и претерпевают ряд изменений, что может привести к деградации и уменьшению устойчивости агроценозов, нанося ущерб сельскохозяйственным угодьям. Из почвы они способны также поступать в растения, снижая в отдельных случаях урожай и, что самое главное, его качество, поскольку эти элементы в агробиоценозе играют двойную роль. С одной стороны, ТМ являются неотъемлемым компонентом нормальных физиологических процессов, с другой – они токсичны при повышенных концентрациях, приводящих к нарушению метаболизма и функционирования растений на любой стадии онтогенеза.

В республике в последние годы исследований по изучению воздействия жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах в зависимости от интенсивности их внесения практически не проводилось. Важным моментом выполненной работы является оценка влияния дозовых нагрузок этих органических удобрений на накопление ТМ в дерново-подзолистых почвах, на долю которых в Республике Беларусь приходится основная часть сельскохозяйственных земель, и которые довольно чувствительны к агрогенному воздействию.

Цель исследований – оценить влияние интенсивных дозовых нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах, расположенных вблизи животноводческих комплексов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований были дерново-подзолистые почвы, подвергающиеся регулярному воздействию жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков. Почвенные образцы отобраны на сельскохозяйственных землях в ОАО «Гастелловское»

Минского района (поголовье КРС 1,5 тыс. голов), ГП «Путчино» Дзержинского района (поголовье КРС 2,8 тыс. голов), СПК «Лань-Несвиж» Несвижского района (поголовье свиней 20,9 тыс. голов), ОАО «Вишневецкий-Агро» Столбцовского района (поголовье свиней 19,5 тыс. голов), ОАО «АгроВидзы» (поголовье КРС 5,1 тыс. голов) и СПК «Маяк Браславский» (поголовье свиней 21,2 тыс. голов) Браславского района.

Почвенные образцы отбирали весной при проведении маршрутных обследований до посева яровых культур при помощи агрохимического бура на глубину 0–25 см в 5 разных точках с расстоянием 150–200 м между ними. На луговых и пахотных землях, где были посеяны озимые культуры, отбор проб был произведен в начале ранневесенней вегетации растений. На всех сельскохозяйственных землях почвенные образцы без нагрузки жидких органических удобрений и при их внесении отбирали на участках, расположенных в сходных условиях рельефа и в пределах той же почвенной разности.

Содержание тяжелых металлов в жидком навозе КРС и свиных навозных стоках, отобранных в хозяйствах в период проведения маршрутного обследования, представлено в табл. 1.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в жидком навозе КРС и свиных навозных стоках, мг/кг (на естественную влажность)

Элемент	Жидкий навоз КРС	Свиные навозные стоки
Железо	167–221	150–220
Медь	1,31–3,38	1,93–7,64
Цинк	6,67–37,1	13,0–22,5
Марганец	10,4–13,8	5,57–11,0
Кадмий	Не обнаружено – 0,01	0,003–0,01
Свинец	0,16–0,27	0,02–0,03
Никель	0,62–1,34	0,18–0,33
Кобальт	0,11–0,16	0,08–0,13
Хром	0,87–2,18	0,05–0,20
Влажность, %	92,5–93	97,0–97,8

Для экстракции подвижных соединений тяжелых металлов, которые считают доступными для растений, применяют различные экстрагенты, идентичные по принципу своего действия на почвенные частицы воздействию природных вод и корневых выделений растений. В Республике Беларусь и странах СНГ наибольшее распространение получили ацетатно-аммонийный буфер (ААБ, рН 4,8) и разбавленные растворы кислот (1М HCl, 1М HNO₃). По мнению В. Б. Ильина [15] и В.Г. Минеева с соавторами [16], солянокислая вытяжка извлекает из почвы «пул» тяжелых металлов, который предположительно характеризует потенциальный запас их подвижных соединений, так называемый «ближний резерв». Экстрагируемые ацетатно-аммонийным буферным раствором соединения металлов, часто называемые обменными, характеризуют, как правило, актуальный запас подвижных форм металлов в почве. В настоящей работе для экстракции подвижных форм ТМ из дерново-подзолистых почв использовали ААБ (рН 4,8). Выбор данного экстрагента обусловлен тем, что он позволяет оценить не толь-

ко количество доступных для растений тяжелых металлов, но и экологическое состояние почв, поскольку в Республике Беларусь на его основе регламентируется допустимый уровень ПДК [17, 18]. В почвенных образцах содержание валовых (после разложения смесью азотной, фтористоводородной и хлорной кислот) и подвижных (ААБ, рН 4,8) форм тяжелых металлов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на атомно-абсорбционном спектрометре ICE 3000 Series [19]. В отобранных пробах органических удобрений содержание тяжелых металлов определяли в зольном остатке после сухой минерализации при температуре 525–530 °С.

При классификации дерново-подзолистых почв по содержанию подвижных форм тяжелых металлов, экстрагируемых ацетатно-аммонийным буфером, использовали шкалу, которая предложена авторами работ [20, 21] (табл. 2).

Для количественной характеристики степени загрязнения почв ТМ использовали коэффициент опасности (K_o) и коэффициент техногенной концентрации элемента (K_c) [2]. Коэффициент опасности показывает, во сколько раз реальное содержание элемента в почве (C_i) превышает установленное ПДК (ОДК) – $K_o = C_i/\text{ПДК (ОДК)}$.

Таблица 2

Классификация почв по содержанию подвижных форм тяжелых металлов (ААБ, рН 4,8), мг/кг [20, 21]

Градации	Cu	Zn	Pb	Ni	Co
<i>Содержание</i>					
Очень низкое	< 0,2	< 1	< 0,2	< 0,2	< 0,1
Низкое	0,2–0,5	1–2	0,2–0,5	0,2–0,5	0,1–0,2
Среднее	0,5–2,0	2–5	0,5–1,5	0,5–1,5	0,2–0,5
Высокое	2,0–5,0	5–20	1,5–5,0	1,5–5,0	0,5–3
<i>Загрязнение</i>					
Слабое	5–10	20–50	5–10	5–10	3–5
Среднее	10–50	50–100	10–50	10–50	5–25
Сильное	50–100	100–200	50–100	50–100	25–50

Коэффициент техногенной концентрации элемента характеризует, во сколько раз содержание ТМ в дерново-подзолистых почвах, подвергающихся воздействию жидких органических удобрений, превышает его содержание в почвах без нагрузок – $K_c = C_i/C_f$. Дополнительно произведен расчет суммарного показателя загрязнения (Z_c), который равен сумме коэффициентов техногенных концентраций элементов и выражен следующей формулой (где n – число суммируемых элементов при $K_c > 1$):

$$Z_c = \sum_{j=1}^n K_c - (n-1).$$

Оценку загрязнения дерново-подзолистых почв, расположенных в зоне влияния животноводческих комплексов, тяжелыми металлами осуществляли согласно градации, представленной в Инструкции 2.1.7.11–12–5–2004 [22]: $Z_c < 16$ – допустимое загрязнение; $Z_c = 16–32$ – умеренно опасное; $Z_c = 32–128$ – опасное загрязнение.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным маршрутного обследования валовое содержание меди в дерново-подзолистых почвах без нагрузок составляло 2,1–7,4 мг/кг, цинка – 11,5–30,0 мг/кг, свинца – 7,5–11,6 мг/кг, никеля – 2,3–9,0 мг/кг, кобальта – 1,7–4,4 мг/кг, хрома – 12,2–22,5 мг/кг, что значительно ниже и только в некоторых случаях приближается к уровню региональных кларков [23] (табл. 3). По оценкам А.П. Виноградова [24] кларк Fe составляет 38000 мг/кг, в исследуемых почвах без нагрузок его содержание варьировало в пределах 2770–13078 мг/кг. Кларк Mn в почвах республики составляет 247 мг/кг. Содержание этого элемента в образцах, отобранных на дерново-подзолистых почвах без нагрузок, находилось на уровне 128–380 мг/кг, превышая региональный кларк на 10–54 % в хозяйствах ОАО «Гастелловское», ОАО «Лань-Несвиж» и ОАО «АгроВидзы».

Результаты исследований показали, что во всех хозяйствах в дерново-подзолистых почвах, подвергающихся воздействию жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков, содержание валовых и, как следствие, подвижных форм кадмия находилось ниже предела обнаружения. Валовое содержание железа составило 2815–9200 мг/кг, что было практически на уровне его содержания в почвах без нагрузки (дополнительный прирост не более 7 %).

Не выявлено изменений в показателях по валовому содержанию всех изучаемых ТМ в ОАО «Лань-Несвиж», где на луговые земли в течение 5 лет регулярно вносили свиные навозные стоки в дозе 300–400 т/га, а дозовая нагрузка на почвы пахотных земель на протяжении 5–10 лет составила 200–300 т/га. Аналогично в ОАО «Гастелловское» ежегодное внесение жидкого навоза КРС в дозе 600–700 т/га в течение 3-х лет не влияло на их общее количество в суглинистой почве.

По истечении 22–25 лет в ОАО «АгроВидзы» и ОАО «Маяк Брагславский», содержание валовых форм ТМ в почвах при постоянно вносимых дозах жидкого навоза КРС 100–200 т/га и навозных стоков свиней 300–400 т/га, несмотря на довольно длительный период воздействия, также не претерпевало изменений по сравнению с почвами без внесения (исключение составили только луговые земли, в которых содержание Zn увеличилось на 15 %).

В хозяйствах ГП «Путчино», ОАО «АгроВидзы», ОАО «Маяк Брагславский» и ОАО «Вишневецкий-Агро» под влиянием интенсивных дозовых нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков от 500–600 до 900–1000 т/га в течение 20–30 лет не установлено различий лишь в валовом содержании Pb, Ni, Co и Cr. При этом только в этих хозяйствах из всех изучаемых тяжелых металлов наблюдалось увеличение валового содержания цинка и меди: для Zn данный показатель варьировал в пределах 22,4–43,1 мг/кг, Cu – 3,8–9,8 мг/кг против 11,5–25,5 мг/кг и 2,1–4,7 мг/кг в удобренных почвах. Количество Mn увеличилось в среднем на 13 % только в ГП «Путчино» и ОАО «АгроВидзы».

Концентрация подвижных соединений Co в дерново-подзолистых почвах без нагрузок варьировала в пределах 0,13–0,31 мг/кг, Pb – 0,20–1,12 мг/кг, что характеризовало уровень их обеспеченности этими элементами согласно градации, представленной в табл. 2, от низкого до среднего (табл. 4). В почвенных образцах, отобранных в ГП «Путчино», ОАО «Гастелловское» и ОАО «Вишневецкий-Агро», содержание подвижных форм Co ниже чувствительности прибора. Подвижных соединений Ni в удобренных почвах содержалось 0,11–0,60 мг/кг, что позволило их отнести к категориям от очень низкообеспеченных до средних. Количество подвижных форм Cr было на уровне 0,12–1,01 мг/кг.

Таблица 3

Влияние регулярных дозовых нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание валовых форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах, мг/кг почвы

Вид земель	Период внесения, лет	Ежегодная нагрузка ОУ ¹ , т/га	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Co	Cr
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму крс (ГП «Путчино» Дзержинский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	8849	4,2	25,5	220	7,5	9,0	2,6	14,7
	30	500–600	9200	5,2	43,1	249	7,7	10,1	2,8	16,6
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «Гастелловское», Минский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	8375	4,9	19,8	380	8,4	9,0	4,3	22,5
	3	600–700	8464	5,1	20,6	405	8,5	8,9	4,1	22,5
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму крс (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	4550	2,1	11,5	128	7,6	3,9	2,5	14,1
	25	900–1000	4883	4,3	22,4	170	7,4	4,0	2,6	15,0
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	6550	4,6	14,4	203	8,6	3,8	2,5	22,2
	20	500–600	6560	7,1	24,3	207	8,8	3,7	2,5	23,2
		700–800	6946	9,8	38,6	226	8,8	4,0	2,4	22,0
	–	Без нагрузки	4178	3,7	16,0	179	9,7	3,1	2,1	19,4
	22	500–600	4315	5,3	23,3	190	9,7	3,3	2,0	19,6
Луговые	–	Без нагрузки	13078	7,4	23,4	252	8,8	8,9	4,4	18,7
	22	300–400	13575	8,1	26,8	263	9,0	8,7	4,6	18,9
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Лань-Несвиж», Несвижский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	7717	4,7	22,8	242	10,9	6,4	3,7	22,1
	5	200–300	7660	4,7	23,1	242	10,9	6,6	3,5	21,4
			7718	4,9	24,3	245	10,8	6,6	3,8	22,2
Луговые	–	Без нагрузки	7648	4,5	21,9	304	11,6	6,0	4,2	21,9
	5	300–400	7528	4,6	23,3	298	11,3	6,4	4,1	21,9
<i>Супесчаная почва, комплекс по откорму крс (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	8736	6,3	30,0	271	11,4	6,8	3,0	16,1
	25	100–200	8785	6,0	32,3	280	11,6	7,1	3,0	16,9
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	2770	4,7	16,6	130	7,6	2,3	1,7	12,2
	22	700–800	2815	8,7	39,8	143	7,9	2,2	1,8	12,6
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Вишневецкий-Агро» Мтолбовский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	6378	3,2	20,3	236	8,1	5,7	3,8	20,3
	25	500–600	6684	4,0	23,5	245	8,1	6,1	4,0	20,1
			6314	3,8	24,3	229	7,5	5,6	3,8	20,8
			Региональный кларк [24]	38000 ³	13	35	247	12	20	6
Пдк, одк ²			1	33–132	55–220	1500 ⁴	32	20–80	20	100

Примечание. ¹ОУ – органические удобрения; ²ОДК – утверждены для почв с учетом уровня реакции среды и гранулометрического состава; ³кларк Fe – по А. П. Виноградову [24]; ⁴ПДК Mn – согласно [22].

Влияние регулярных дозовых нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах, мг/кг

Вид земель	Период внесения, лет	Ежегодная нагрузка ОУ, т/га	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Co	Cr
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ГП «Путчино», Дзержинский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	8,09	0,37	1,07	18,6	0,20	0,38	н/о ¹	0,16
	30	500–600	11,9	0,73	2,97	44,3	0,18	0,40	н/о	0,22
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «Гастелловское», Минский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	3,51	0,25	1,01	16,0	0,74	0,11	н/о	0,14
	3	600–700	3,65	0,27	1,08	20,3	0,70	0,11	н/о	0,15
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	3,58	0,07	1,03	11,6	0,57	0,22	0,15	0,28
	25	900–1000	10,7	0,22	4,90	31,9	0,59	0,26	0,18	0,33
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	9,69	0,30	1,45	13,4	0,87	0,35	0,20	0,67
	20	500–600	19,9	0,81	4,45	23,5	0,84	0,35	0,20	0,68
		700–800	46,1	1,35	13,9	56,1	1,04	0,53	0,31	1,01
	22	Без нагрузки	12,9	0,27	1,68	12,2	0,89	0,28	0,16	0,60
Луговые	–	Без нагрузки	14,2	0,52	1,62	17,4	0,76	0,60	0,42	0,70
	22	300–400	22,5	0,85	2,22	20,2	0,79	0,60	0,38	0,73
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Лань-Несвиж», Несвижский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	12,7	0,51	0,96	21,1	0,70	0,40	0,27	0,43
	5	200–300	28,5	1,00	2,22	32,1	0,87	0,53	0,34	0,69
	10		14,1	0,57	1,07	22,1	0,69	0,43	0,27	0,45
Луговые	–	Без нагрузки	12,1	0,39	1,53	23,9	0,60	0,52	0,32	0,57
	5	300–400	13,4	0,44	1,74	24,1	0,55	0,51	0,31	0,60
<i>Супесчаная почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	6,41	0,18	1,37	22,5	1,12	0,14	0,13	0,33
	25	100–200	7,24	0,20	1,66	31,0	1,18	0,14	0,13	0,34
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	8,87	0,31	0,97	10,9	0,87	0,21	0,17	0,51
	22	700–800	22,8	1,02	6,28	25,7	0,79	0,24	0,18	0,54
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Вишневецкий-Агро», Столбцовский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	4,12	0,15	0,91	10,1	0,30	0,11	н/о	0,12
	25	500–600	6,39	0,28	2,59	15,4	0,30	0,12	н/о	0,13
			5,60	0,27	2,34	13,3	0,25	0,12	н/о	0,12
ПДК			–	3	23	60–100 ²	6	4	5	6

Примечание. ¹н/о – ниже предела обнаружения; ²ПДК Mn – утверждены для дерново-подзолистых почв с учетом уровня реакции среды.

Систематическое внесение жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков в дозах от 100–200 до 500–600 т/га независимо от времени воздействия практически не оказало влияния на содержание подвижных соединений Pb, Ni, Cr и Co по сравнению с почвами без нагрузок. Наблюдаемые различия не превышали 9 %, что, по-видимому, обусловлено невысоким их содержанием в применяемых органических удобрениях.

Анализ органических удобрений, отобранных в период проведения исследований, показал, что в зависимости от их вида и дозы внесения ежегодно на 1 га почв в среднем поступало всего 8–200 г свинца, 45–737 г никеля, 19–124 г кобальта, 35–960 г хрома.

Дополнительный прирост по никелю, кобальту и хрому (на 14–55 %) обеспечила лишь ежегодная нагрузка свиных навозных стоков и жидкого навоза КРС из расчета 700–800 т/га и 900–1000 т/га соответственно в течение 20–25 лет на пахотные земли в ОАО «Маяк Браславский» и ОАО «АгроВидзы», а также в ГП «Путчино» только по хрому (на 38 %) после регулярного 30-летнего внесения жидкого навоза КРС в дозе 500–600 т/га. При этом наиболее высокая подвижность этих элементов наблюдалась на суглинистой почве в ОАО «Маяк Браславский», что, скорее всего, вызвано не только интенсивной нагрузкой свиных навозных стоков, но и среднекислой реакцией почвенной среды (pH_{KCl} 4,9), поскольку при возрастании кислотности почвы подвижность многих тяжелых металлов увеличивается [25, 26]. Данное предположение можно сделать исходя из того, что при нагрузке навозных стоков свиней 500–600 т/га на близлежащее поле (pH_{KCl} 6,7) в этом хозяйстве уровень содержания подвижных соединений Ni, Co и Cr составил всего 65–66 % от количеств, полученных при их внесении из расчета 700–800 т/га, и не превышал аналогичные показатели почвы, где эти удобрения не вносили. В ОАО «Лань-Несвиж» на суглинистой почве пахотных земель, где в течение 5 лет вносили свиные навозные стоки в дозе 200–300 т/га, выход подвижных соединений Ni, Co и Cr при экстракции ацетатно-аммонийным буфером составил 0,53 мг/кг, 0,34 и 0,69 мг/кг, что на 23–53 % выше, чем при такой же дозовой нагрузке в течение 10 лет. Причина таких различий обусловлена, по-видимому, как и в ОАО «Маяк Браславский», более низким показателем pH_{KCl} , который был на уровне 4,6 против 6,1 в почве, где удобрение вносили не менее 10 лет. Содержание остальных тяжелых металлов (Fe, Cu, Zn, Mn, Pb) в суглинистых почвах с показателем pH_{KCl} 4,6–4,9 также характеризовалось более высокими значениями относительно сравниваемых почв.

Не установлено изменений в содержании подвижных форм железа, меди и цинка в суглинистой почве, расположенной в ОАО «Гастелловское» в зоне влияния животноводческого комплекса по откорму КРС, при ежегодном внесении жидкого навоза в дозе 600–700 т/га не более 3-х лет, за исключением марганца, подвижность которого увеличилась на 27 % по сравнению с неудобренной почвой. Регулярное применение в ОАО «Лань-Несвиж» свиных навозных стоков в дозе 200–300 т/га в течение 10 лет на почвы пахотных земель и в дозе 300–400 т/га в течение 5 лет на лугопастбищные угодья не оказало влияния на подвижность марганца, способствуя увеличению содержания подвижных форм Fe, Cu и Zn, всего на 11–14 %.

Во всех остальных случаях (ГП «Путчино, ОАО «АгроВидзы», ОАО «Маяк Браславский», ОАО «Вишневецкий-Агро») на фоне интенсивных дозовых нагруз-

зок жидких органических удобрений в течение более длительного времени (20–30 лет) наблюдался прирост в содержании подвижных соединений Fe, Cu, Zn и Mn в дерново-подзолистых почвах сельскохозяйственного назначения по сравнению с неудобренной почвой. В ОАО «АгроВидзы» при дозе внесения жидкого навоза КРС 100–200 т/га количество подвижных соединений железа в супесчаной почве увеличилось на 13 %, марганца – на 38 %, меди – на 11 %, цинка – на 21 %; в ОАО «Маяк Браславский» при нагрузке свиных навозных стоков 300–400 т/га на суглинистую почву – на 58 %, 16, 63 и 37 % соответственно.

При дозовой нагрузке жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на дерново-подзолистые почвы от 500–600 до 900–1000 т/га (без учета суглинистой почвы с pH_{KCl} 4,9 в ОАО «Маяк Браславский») в обследуемых хозяйствах прирост в содержании подвижных форм Fe составил 1,48–16,2 мг/кг (36–199 %), Mn – 2,2–25,7 мг/кг (32–175 %), Cu – 0,12–0,71 мг/кг (80–229 %). Наибольшая прибавка в содержании подвижных форм из всех изучаемых тяжелых металлов отмечена для Zn (157–547 %) при максимальном показателе в супесчаной почве на фоне ежегодных нагрузок свиных навозных стоков 700–800 т/га в течение 22 лет. Различия в накоплении подвижных форм тяжелых металлов в исследуемых почвах, возможно, связаны не только с их физико-химическими свойствами, условиями увлажнения и другими особенностями, но обусловлены также разным содержанием элементов в используемых удобрениях. Более высокий уровень накопления подвижного цинка в этой почве, по-видимому, обусловлен разным его содержанием в применяемых удобрениях. Так, согласно нашим расчетам, ежегодно на 1 гектар почвы со свиными навозными стоками при дозе внесения 700–800 т/га поступало около 17 кг цинка, в то время как с жидким навозом КРС при дозе 900–1000 т/га – всего 6 кг.

Согласно классификации почв по содержанию подвижных форм тяжелых металлов, экстрагируемых ацетатно-аммонийным буфером, дерново-подзолистые почвы без нагрузок очень низко- и низкообеспечены медью и цинком. По истечении 20–30 лет при регулярных дозовых нагрузках жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков от 500–600 до 900–1000 т/га обеспеченность почв Cu оценивалась от низкой до средней, Zn – от средней до высокой.

В целом, исходя из предлагаемой в табл. 2 градации, дерново-подзолистые почвы, находящиеся в зоне влияния животноводческих комплексов, по содержанию подвижных форм изучаемых тяжелых металлов пока не загрязнены ими. Тем не менее, например, после 22 лет дозовой нагрузки свиных навозных стоков 700–800 т/га в ОАО «Маяк Браславский» супесчаная почва из разряда очень низкой по обеспеченности цинком перешла в разряд высокой, что свидетельствует о возможных негативных последствиях при более длительном воздействии сверхвысоких доз этих удобрений, в частности, избыточном накоплении Zn в пахотном слое.

По мнению А. Р. Сибиркиной [27], определение доли подвижных форм металлов в их валовом содержании позволяет выявить экологически неблагоприятные компоненты ландшафта, способные служить источником химического загрязнения сопряженно произрастающей растительности. Анализ показал, что в обследуемых дерново-подзолистых почвах без нагрузок доля подвижных соединений тяжелых металлов в их валовом содержании невелика и не превышает в основном 11 % при минимальном показателе для Fe (0,04–0,3 %) (табл. 5). При этом сопостав-

ление данных по доле подвижных форм Pb, Ni, Cr и Co в их валовом содержании показало, что между дерново-подзолистыми почвами без нагрузок и подвергающихся воздействию жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков, независимо от периода использования и дозы внесения, различий в их долевом участии практически не наблюдалось (за исключением почв в ОАО «Маяк Браславский» и ОАО «Лань-Несвиж» с $pH_{КС}$ 4,6–4,9).

Таблица 5

Доля подвижных форм тяжелых металлов по отношению к их валовому содержанию в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния животноводческих комплексов, %

Вид земель	Период внесения, лет	Ежегодная нагрузка ОУ, т/га	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Co	Cr
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ГП «Путчино», Дзержинский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	0,09	8,8	4,2	8,5	2,7	4,2	–	1,1
	30	500–600	0,13	14,0	6,9	17,8	2,3	4,0	–	1,3
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «Гастелловское», Минский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	0,04	5,1	5,1	4,2	8,8	1,2	–	0,6
	3	600–700	0,04	5,3	5,2	5,0	8,2	1,2	–	0,7
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	0,1	3,3	9,0	9,1	7,5	5,6	6,0	2,0
	25	900–1000	0,2	5,1	21,9	18,8	8,0	6,5	6,9	2,2
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	0,1	6,5	10,1	6,6	10,1	9,2	8,0	3,0
	20	500–600	0,3	11,4	18,3	11,4	9,5	9,6	8,0	2,9
		700–800	0,7	13,8	36,0	24,8	11,8	13,3	12,9	4,6
	–	Без нагрузки	0,3	7,3	10,5	6,8	9,2	9,0	7,6	3,1
	22	500–600	0,7	16,0	31,0	12,4	9,6	8,8	8,5	3,1
Луговые	–	Без нагрузки	0,1	7,0	6,9	6,9	8,6	6,7	9,5	3,7
	22	300–400	0,2	10,5	8,3	7,7	8,8	6,9	8,3	3,9
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Лань-Несвиж», Несвижский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	0,2	10,9	4,2	8,7	6,4	6,3	7,3	1,9
	5	200–300	0,4	21,3	9,6	13,3	8,0	8,0	9,7	3,2
			10	0,2	11,6	4,4	9,0	6,4	6,5	7,1
Луговые	–	Без нагрузки	0,2	8,7	7,0	7,9	5,2	8,7	7,6	2,6
	5	300–400	0,2	9,6	7,5	8,1	4,9	8,0	7,6	2,7
<i>Супесчаная почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	0,07	2,9	4,6	8,3	9,8	2,1	4,3	2,0
	25	100–200	0,08	3,3	5,1	11,1	10,2	2,0	4,3	2,0
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	0,3	6,6	5,8	8,4	11,4	9,1	10,0	4,2
	22	700–800	0,8	11,7	15,8	18,0	10,0	10,9	10,0	4,3
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Вишневецкий-Агро», Столбцовский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	0,06	4,7	4,5	4,3	3,7	1,9	–	0,6
	25	500–600	0,10	7,0	11,0	6,3	3,7	2,0	–	0,6
			0,09	7,1	9,6	5,8	3,3	2,1	–	0,6

Результаты расчетов показали также отсутствие изменений в долевом участии Fe, Cu, Zn и Mn в ОАО «Гастелловское» (за исключением марганца, доля подвижных форм у которого возросла на 19 %) и в ОАО «Лань-Несвиж» (исключение суглинистая почва с pH_{KCl} 4,6, где превышение по этим элементам составило 1,5–2,3 раза), независимо от условий землепользования при сроке внесения органических удобрений не более 10 лет.

При воздействии жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на дерново-подзолистые почвы в течение более длительного времени установлено повышение подвижности Fe, Cu, Zn и Mn, что проявилось в увеличении долевого участия их подвижных форм в валовом содержании. При этом наибольшей изменчивостью характеризовались Zn и Fe при нагрузках органических удобрений от 500–600 до 900–1000 т/га: доля их подвижных форм в почвах (без учета суглинистой почвы с pH_{KCl} 4,9) составила 6,9–31,0 % и 0,09–0,8 %, что выше по сравнению с неудобренными почвами в 1,6–3,0 и 1,4–2,8 раза. На втором месте находятся Cu и Mn, доля подвижных форм которых была на уровне 5,1–16,0 % и 5,8–18,8 % от валового содержания, что превышало показатели почв без нагрузок в 1,5–2,2 и 1,4–2,1 раза соответственно. Более низкие показатели по изменению долевого участия этих элементов в их валовом содержании получены для дерново-подзолистых почв с дозовой нагрузкой свиных навозных стоков 100–200 и 300–400 т/га: увеличение составило всего 1,1–1,2 раза по сравнению с почвами без нагрузок.

На основании выполненной работы определено, что содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах, расположенных вблизи животноводческих комплексов, значительно ниже установленных нормативов ПДК и ОДК [17, 18].

При этом по мнению некоторых исследователей [15, 28, 29], использование для оценки степени загрязнения почв тяжелыми металлами только показателя ПДК не всегда позволяет реально оценить уровень их загрязнения. Одним из основных показателей, характеризующих опасность загрязнения почв химическими элементами, является коэффициент опасности (K_o), в соответствии с которым опасность загрязнения почвы тем выше, чем больше его значение превышает единицу. В проведенных исследованиях рассчитанные K_o были ниже единицы, что свидетельствует об отсутствии на данном этапе опасности накопления в дерново-подзолистых почвах вблизи животноводческих комплексов валовых и подвижных соединений тяжелых металлов выше уровня ПДК (ОДК), несмотря на внесение в некоторых хозяйствах довольно высоких доз жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков в течение длительного периода. Так, определено: при нагрузках этих удобрений от 500–600 до 900–1000 т/га содержание подвижных соединений Ni и Co в почвах составляло не более 0,10 ПДК, Cr – 0,11 ПДК, Pb – 0,16 ПДК, что было на уровне почв, где удобрения не вносили. В то же время, количество Cu достигло 0,07–0,27 ПДК, Zn – 0,10–0,31 ПДК, Mn – 0,13–0,44 ПДК против 0,02–0,12 ПДК, 0,04–0,07 ПДК и 0,10–0,19 ПДК соответственно в почвах без нагрузок, что указывает на потенциальную опасность загрязнения почв сельскохозяйственного назначения, находящихся в зоне влияния животноводческих комплексов, этими элементами.

Для более полной количественной характеристики уровня загрязнения дерново-подзолистых почв, подвергающихся воздействию интенсивных нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков, а также оценки полиэлементного загрязнения изучаемых территорий в качестве индикаторов неблагоприятного

воздействия использовали коэффициент техногенной концентрации элемента (K_c) и суммарный показатель загрязнения (Z_c).

Рассчитанные значения K_c валовых форм свидетельствуют о достаточно слабом влиянии регулярных нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков, независимо от доз их внесения и времени воздействия, на накопление валовых форм Fe, Pb, Ni, Co, Cr и Mn (K_c не превышал 1,1 ед.), за исключением суглинистой почвы в ОАО «АгроВидзы» при внесении жидкого навоза КРС из расчета 900–1000 т/га, где K_c Mn составил 1,3 ед. В то же время при их ежегодной нагрузке от 500–600 до 900–1000 т/га в течение 20–30 лет K_c цинка и меди были на уровне 1,2–2,7 и 1,2–2,1 соответственно. При этих дозовых нагрузках суммарный показатель загрязнения тяжелыми металлами дерново-подзолистых почв достиг 1,4–4,1 ед. (1,0–1,4 ед. во всех остальных изучаемых почвах), что, тем не менее, не превышало допустимой категории загрязнения ($Z_c < 16$) (табл. 6).

Более реально оценить степень загрязнения тяжелыми металлами дерново-подзолистых почв, расположенных в зоне влияния животноводческих комплексов, позволяют данные показатели, рассчитанные через их подвижные формы. В обследуемых почвах практически не наблюдалось накопления подвижных форм Pb, Ni, Co и Cr, на что указывают коэффициенты техногенной концентрации этих элементов. Только при нагрузке свиных навозных стоков в хозяйствах ОАО «Маяк Браславский» 700–800 т/га и ОАО «Лань-Несвиж» 200–300 т/га на суглинистые почвы K_c по этим элементам достигали значений 1,2–1,6.

По истечении 5–10 лет не выявлено также загрязнения суглинистых почв разного сельскохозяйственного использования в ОАО «Лань-Несвиж» подвижными соединениями меди, цинка, железа и марганца при дозовой нагрузке свиных навозных стоков от 200–300 до 300–400 т/га ($K_c \leq 1,1$ ед.). Аналогичная закономерность отмечена в ОАО «Гастелловское» при дозе внесения жидкого навоза КРС 600–700 т/га в течение 3-х лет. В результате суммарный показатель загрязнения составил только 1,4–1,5 ед. (исключение почва с pH_{KCl} 4,6, где коэффициенты техногенной концентрации подвижных форм Fe, Cu, Zn, и Mn достигли 1,5–2,3 ед., $Z_c = 6,2$ ед.).

При длительном применении жидкого навоза КРС в рекомендуемых дозах 100–200 т/га в ОАО «Агро-Видзы» K_c Fe и Cu были на уровне 1,1 при несколько более высоких показателях по Zn и Mn, однако в целом величина Z_c составила всего 1,9 ед. Наибольшая степень загрязнения тяжелыми металлами характерна для дерново-подзолистых почв, подвергающихся воздействию жидких органических удобрений в дозах от 500–600 до 900–1000 т/га на протяжении 20–30 лет: коэффициент техногенной концентрации подвижных форм Cu достиг уровня 1,8–3,3 ед., Zn – 2,6–6,5 ед., Mn – 1,3–2,8 ед., Fe – 1,4–3,0 ед. при суммарном показателе загрязнения 4,1–12,0 ед. Максимальной величиной Z_c на уровне 21,8 ед. характеризовалась суглинистая почва в ОАО «Маяк Браславский», что, по-видимому, обусловлено двумя причинами: высокой дозой внесения свиных навозных стоков (700–800 т/га) и среднекислой реакцией почвенного раствора (pH_{KCl} 4,9).

В соответствии с рассчитанными коэффициентами техногенного загрязнения при воздействии жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков в течение 20–30 лет основными загрязнителями дерново-подзолистых почв сельскохозяйственного назначения в зоне влияния животноводческих комплексов являются цинк, который занимает доминирующее положение, а далее по значимости следуют медь, железо и марганец:

$$Zn_{1,2-6,5} > Cu_{1,1-3,3} > Fe_{1,1-3,0} > Mn_{1,2-2,8} > Cr_{1,0-1,4} \approx Ni_{1,0-1,2} \approx Co_{0,9-1,2} \approx Pb_{0,8-1,2}$$

**Количественная оценка степени загрязнения дерново-подзолистых почв
тяжелыми металлами при регулярных нагрузках жидкого навоза КРС
и свиных навозных стоков**

Вид земель	Период внесе- ния, лет	Ежегодная нагрузка ОУ, т/га	Коэффициент техногенной концентрации элемента, K_c								Z_c
			Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Co	Cr	
Валовые формы тяжелых металлов											
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ГП «Путчино», Дзержинский район)</i>											
Пахотные	30	500–600	1,0	1,2	1,7	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1	2,5
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «Гастелловское», Минский район)</i>											
Пахотные	3	600–700	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>											
Пахотные	25	900–1000	1,1	2,0	1,9	1,3	1,0	1,0	1,0	1,1	3,5
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>											
Пахотные	20	500–600	1,0	1,5	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,3
		700–800	1,1	2,1	2,7	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	4,1
Луговые	22	500–600	1,0	1,4	1,5	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	2,1
		300–400	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,4
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Лань-Несвиж», Несвижский район)</i>											
Пахотные	5	200–300	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0
	10		1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
Луговые	5	300–400	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,2
<i>Супесчаная почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>											
Пахотные	25	100–200	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>											
Пахотные	22	700–800	1,0	1,9	2,4	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0	3,5
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Вишневецкий-Агро», Столбцовский район)</i>											
Пахотные	25	500–600	1,0	1,3	1,2	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0	1,6
			1,0	1,2	1,2	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,4
Подвижные формы тяжелых металлов											
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ГП «Путчино», Дзержинский район)</i>											
Пахотные	30	500–600	1,5	2,0	2,8	2,4	0,9	1,1	н/о	1,4	6,0
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «Гастелловское», Минский район)</i>											
Пахотные	3	600–700	1,0	1,1	1,1	1,3	0,9	1,0	н/о	1,1	1,5
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>											
Пахотные	25	900–1000	3,0	3,1	4,8	2,8	1,0	1,2	1,2	1,2	11,2
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>											
Пахотные	20	500–600	2,1	2,7	3,1	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	6,6
		700–800	4,8	4,5	9,6	4,2	1,2	1,5	1,6	1,5	21,8
Луговые	22	500–600	2,3	3,1	4,3	1,9	1,0	1,0	1,1	1,0	8,8
		300–400	1,6	1,6	1,4	1,2	1,0	1,0	0,9	1,0	2,7

Вид земель	Период внесения, лет	Ежегодная нагрузка ОУ, т/га	Коэффициент техногенной концентрации элемента, K_c									Z_c
			Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Co	Cr		
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Лань-Несвиж», Несвижский район)</i>												
Пахотные	5	200–300	2,2	2,0	2,3	1,5	1,2	1,3	1,3	1,6	6,2	
	10		1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,5	
Луговые	5	300–400	1,1	1,1	1,1	1,0	0,9	1,0	1,0	1,1	1,4	
<i>Супесчаная почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>												
Пахотные	25	100–200	1,1	1,1	1,2	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,9	
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>												
Пахотные	22	700–800	2,6	3,3	6,5	2,4	0,9	1,1	1,1	1,1	12,0	
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Вишневецкий-Агро», Столбцовский район)</i>												
Пахотные	25	500–600	1,6	1,9	2,8	1,5	1,0	1,1	н/о	1,1	5,0	
			1,4	1,8	2,6	1,3	0,8	1,1	н/о	1,0	4,1	

Согласно экологической оценке по Z_c дерново-подзолистые почвы в обследуемых хозяйствах характеризуются допустимым уровнем загрязнения подвижными формами тяжелых металлов ($Z_c < 16$). При этом наблюдаемые негативные тенденции увеличения данного показателя по мере повышения нагрузки жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков в дальнейшем при постоянно высоких дозах их внесения могут привести к более значимым изменениям в агроэкосистемах.

ВЫВОДЫ

1. При ежегодной утилизации жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков в дозах от 500–600 до 900–1000 т/га в течение 20–30 лет наиболее интенсивно в дерново-подзолистых почвах, расположенных вблизи животноводческих комплексов, накапливались цинк и медь: содержание валовых форм Zn увеличилось на 16–140 %, Cu – на 19–105 %. Систематические нагрузки этих удобрений не более 300–400 т/га, независимо от длительности внесения, практически не влияли на валовое содержание тяжелых металлов в почвах.

2. Регулярные нагрузки жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков от 100–200 до 900–1000 т/га, практически не оказав влияния на содержание Cd, Pb, Ni, Co и Cr, увеличили концентрацию подвижных форм Fe в дерново-подзолистых почвах на 13–199 %, Cu – на 11–229 %, Zn – на 21–547 %, Mn – на 32–175 % при повышении их долевого участия в валовом содержании в 1,1–3,0 раза.

3. Оценка агроэкологического состояния дерново-подзолистых почв сельскохозяйственного назначения в зоне влияния животноводческих комплексов свидетельствует об отсутствии их загрязнения тяжелыми металлами: превышения установленных нормативов ПДК и ОДК валовых и подвижных форм тяжелых металлов не обнаружено, коэффициенты опасности (K_c) ниже единицы. Согласно коэффициентам техногенной концентрации основными поллютантами почв при нагрузках жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков от 500–600 до 900–1000 т/га в течение 20–30 лет являются Zn (K_c 2,6–6,5 ед.), Cu (K_c 1,8–3,3 ед.),

Fe (K_c 1,4–3,0 ед.) и Mn (K_c 1,3–2,8 ед.) при слабом накоплении Pb, Ni, Co и Cr. По суммарному показателю загрязнения (Z_c 4,1–12,0 ед.) почвы являются условно чистыми ($Z_c < 16$) с максимальными значениями (11,2–12,0 ед.) при дозах 700–800 и 900–1000 т/га. Однако наблюдаемый негативный эффект по увеличению K_c и Z_c указывает на экологические риски при постоянной утилизации высоких доз этих органических удобрений на ограниченной территории, что в дальнейшем может привести к более значимому повышению содержания тяжелых металлов в почвах, увеличивая вероятность загрязнения ими сельскохозяйственной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2017 / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И.В. Медведева [и др.]. – Минск, 2017. – 506 с.
2. *Серая, Т.М.* Удобрение жидким навозом / Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева // Наше сельское хозяйство. – 2014. – № 2. – С. 52–56.
3. *Барановский, И.* Эффективность жидкого навоза на дерново-подзолистых почвах / И. Барановский, А. Павлоцкий // Главный агроном. – 2010. – № 10. – С. 7–9.
4. *Бабенко, М.В.* Влияние отдельных фракций свиного навоза на продуктивность зернотравяного звена севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / М.В. Бабенко; РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева. – М., 2016. – 21 с.
5. *Сидорцов, В.В.* Влияние возрастающих доз свиного навоза и его сочетаний с минеральными удобрениями, соломой и сидератом на урожайность, качество картофеля и переход радионуклидов в продукцию: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / В. В. Сидорцов; НИИСХ ЦРНЗ. – М., 2000. – 20 с.
6. Сравнительная эффективность органических и минеральных удобрений при возделывании кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве / Т. М. Серая [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 2(47). – С. 70–77.
7. *Самыкин, В.Н.* Использование животноводческих стоков в качестве органических удобрений / В.Н. Самыкин, В.Д. Соловиченко, А.А. Потрясаев // Ресурсосберегающие технологии использования органических удобрений в земледелии: сб. докл. Всерос. науч.-практ. конф. / ВНИИПТИОУ; ред. кол.: А.И. Еськов, С.М. Лукин, И.В. Русакова. – Владимир, 2009. – С. 229–234.
8. *Семененко, С.Я.* Влияние орошения животноводческими стоками на урожай зеленой массы кукурузы / С.Я. Семененко, О.М. Агеенко // Плодородие. – 2017. – № 1. – С. 46–48.
9. *Лукин, С.В.* Агроэкологическая оценка влияния органических удобрений на микроэлементный состав почв / С.В. Лукин, С.В. Селюкова // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 12. – С. 61–65.
10. *Новиков, М.Н.* Агроэкологическая оценка различных видов и форм органических удобрений в полевом опыте / М.Н. Новиков, А.В. Кузнецов // Экологические и технологические вопросы производства и использования органических и органоминеральных удобрений на основе осадков городских сточных вод и твердых бытовых отходов: материалы Междунар. симпозиума, Владимир, 16–19 сент.

2004 г. / РАСХН, ВНИПТИОУ; под ред.: А. И. Еськова, М.Н. Новикова. – Владимир, 2004. – С. 43–52.

11. *Варламова, Л.Д.* Эколого-агрохимическая оценка и оптимизация применения в качестве удобрений органосодержащих отходов производства: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04 / Л.Д. Варламова; Морд. гос. ун-т. – Саранск, 2007. – 42 с.

12. *Гейгер, Е.Ю.* Действие жидкого свиного навоза на продуктивность агрофитоценоза и состояние экосистемы в зоне влияния крупного свиного комплекса: дис. ... канд. с.-х. наук: 03.00.16, 06.01.04 / Е.Ю. Гейгер; Нижегородская ГСХА. – Нижний Новгород, 2003. – 212 с.

13. *Веротченко, М.А.* Агроэкологическая оценка сельскохозяйственных угодий различных территорий Российской Федерации / М.А. Веротченко // Развитие и внедрение современных технологий и систем ведения сельского хозяйства, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Пермь, 3–5 июля 2013 г.: в 3 т. / РАСХН, Пермский НИИ сел. хоз-ва: редкол.: К.Н. Корляков [и др.]. – Пермь, 2013. – Т. 1. – Ч. 1. – С. 106–114.

14. *Дабахова, Е.В.* оценка воздействия длительной утилизации отходов промышленного свиноводства в агроэкосистеме на примере свиного комплекса ОАО «Ильинское» / Е.В. Дабахова, В.И. Титова // Агроэкологические проблемы использования органических удобрений на основе отходов промышленного животноводства: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / РАСХН, ВНИПТИОУ; ред. кол.: А.И. Еськов, С.М. Лукин, С.И. Тарасов. – Владимир, 2006. – С. 125–134.

15. *Ильин, В.Б.* Оценка существующих экологических нормативов содержания тяжелых металлов в почвах // Агрохимия. – 2000. – № 9. – С. 74–79.

16. *Минеев В.Г.* Последствие различных систем удобрения на ферментативную активность дерново-подзолистой почвы при загрязнении тяжелыми металлами / В.Г. Минеев, Л.А. Лебедева, А.В. Армазова // Агрохимия. – 2008. – № 10. – С. 48–54.

17. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ: ГН 2.1.7.12–1–2004. – Введ. 25.02.2004 г. – Минск: Мин-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2004. – 29 с.

18. Об утверждении ГН «Предельно допустимые концентрации подвижных форм цинка, хрома, кадмия в почвах (землях) различных функциональных зон населенных пунктов, промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иного назначения»: Постановление Мин-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 06 нояб. 2008 г., № 187 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2012. – 8/25624.

19. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства: метод. указания / А.В. Кузнецов [и др.]; редкол. А.М. Артюшин [и др.] – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Мин-во сел. хоз-ва РФ, ЦИНАО, 1992. – 61 с.

20. *Обухов, А.И.* Охрана и рекультивация почв, загрязненных тяжелыми металлами / А.И. Обухов, Л.А. Ефремова // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы: материалы 2-й Всесоюзной конференции. – М., 1988. – Т. 1. – С. 23–25.

21. Методы исследования городских почв: уч. пособие / Р.Ф. Байбеков [и др.]. – М.: ФГОУ ВПО РГАУ – МСХА им. Тимирязева, 2007. – 202 с.

22. Гигиеническая оценка почвы населенных мест: Инструкция 2.1.7.11–12–5–2004: сб. нормативных документов по гигиенической оценке почв населенных мест. – Минск: Мин-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2004. – С. 3–38.

23. *Петухова, Н.Н.* Геохимическое состояние почвенного покрова Беларуси / Н.Н. Петухова, В.А. Кузнецов // Природные ресурсы. – 1999. – № 4. – С. 40–49.

24. *Виноградов, А.П.* Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 235 с.

25. *Алексеев Ю.В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.

26. *Лукин, С.В.* Экологическая оценка запасов цинка, меди и молибдена в агроценозах лесостепи центрально-черноземной области / С.В. Лукин, Р.М. Хижняк // Агрохимия. – 2015. – № 8. – С. 64–72.

27. *Сибиркина, А.Р.* Биогеохимическая оценка содержания тяжелых металлов в сосновых борах Семипалатинского Прииртышья: дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.08 / А.Р. Сибиркина; Челябинский гос. ун-т. – Омск, 2014. – 496 с.

28. Нормирование содержания тяжелых металлов в почве при внесении осадков сточных вод / М.В. Тютюнькова [и др.] // Проблемы региональной экологии. – 2015. – № 4. – С. 20–24.

29. *Водяницкий, Ю.Н.* Экотоксикологическая оценка опасности тяжелых металлов и металлоидов в почве / Ю.Н. Водяницкий // Агрохимия. – 2012. – № 2. – С. 75–84.

AGROECOLOGICAL ESTIMATION OF LOADS OF LIQUID MANURE OF CATTLE AND PIG MANURE RUNOFF ON THE CONTENT OF HEAVY METALS IN SOD-PODZOLIC SOILS IN THE ZONE OF INFLUENCE OF LIVESTOCK COMPLEXES

**E.N. Bogatyrova, T.M. Seraya, A.V. Yukhnovets,
T.M. Kirdun, M.M. Torchilo**

Summary

The data on the effect of prolonged exposure of liquid manure of cattle and pig manure runoff on the content of heavy metals in sod-podzolic soils, identified priority pollutants (Zn, Cu, Mn, Fe). The annual application of these fertilizers in doses of 100–200 to 900–1000 t/ha increased the concentration of mobile forms of Fe in soils at 13–199 %, Cu – 11–229 %, Zn – 21–547 %, Mn – 32–175 %. Annual application of these fertilizers in doses from 100–200 to 900–1000 t/ha increased the concentration of mobile forms of Fe in soils by 13–199 %, Cu – by 11–229 %, Zn – by 21–547 %, Mn – by 32–175 %. Exceeding the established standards of maximum permissible concentrations (MPCs) and provisional permissible concentrations (PPCs) of gross and mobile forms of heavy metals was not found, the hazard ratios are below one. Agroecological condition of soils on Z_c (4,1–12,0 units) is characterized by the admissible level of pollution mobile forms of heavy metals ($Z_c < 16$). The observed negative trends in the increase of K_c and Z_c indicate environmental risks with the constant utilization of high doses of these organic fertilizers in a limited area.

Поступила 18.04.18

БАЛАНС NPK В СЕВООБОРОТЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТОРФА

Т.Ю. Анисимова

*Всероссийский научно-исследовательский институт
органических удобрений и торфа,
г. Владимир, Россия*

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшая роль в повышении плодородия почв, увеличении урожайности сельскохозяйственных культур и улучшении их качества принадлежит органическим удобрениям, в том числе и на основе торфа [1, 2].

В Российской Федерации запасы торфа оцениваются в 181 млрд т, что составляет более одной трети мировых ресурсов. Примерно 30,6 млрд т могут использоваться в сельском хозяйстве. В них содержится 939,8 млн т органического вещества и 235,3 млн т NPK [3]. Применение торфа как компонента для приготовления компостов – важный фактор повышения продуктивности агроэкосистем. В длительных опытах установлено, что применение органических удобрений, за счет улучшения пищевого режима почвы, повышает урожайность сельскохозяйственных культур и улучшает качество продукции растениеводства [4, 5].

В России в длительных полевых опытах в основном изучается эффективность подстилочного навоза.

Цель исследований – изучить эффективность удобрений на основе торфа, их влияние на физико-химические свойства почвы, на микробиологическую активность и урожайность культур при использовании пространственно-временного анализа.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на опытном поле Всероссийского научно-исследовательского института органических удобрений и торфа в период 2009–2016 гг. в течение двух ротаций четырехпольного зернопропашного севооборота. Чередование культур: картофель Скарб – ячмень Зазерский 85 – однолетние травы (вико-овсяная смесь) – озимая пшеница Заря. Исследования проводили на дерново-подзолистой супесчаной почве, сформированной на красно-буром покровном моренном суглинке (содержание гумуса – 1,5 %, pH_{KCl} 5,2; N_T – 1,64 мг-экв/100г почвы; содержание подвижных фосфора и калия – 128 и 116 мг/кг почвы). Среднегодовая температура воздуха в Судогодском районе Владимирской области равняется 3,9 °С; сумма биологически активных температур – 2000–2100 °С, годовое количество осадков – 560–590 мм [6]. На протяжении многих лет исследований метеорологические условия были близки среднемноголетним наблюдениям. Исключением явился 2010 г., характеризовавшийся засушливыми условиями.

Использовали следующие виды органических удобрений: навоз подстилочный солоmistый (НП), торф (Т), торфопометный компост (ТПК). Контролем являлся вариант без удобрений (К). Органические удобрения вносили под вспашку под картофель один раз в четыре года в первой и второй ротации севооборота в течение 8-ми лет. Дозы торфосодержащих органических удобрений были эквивалентны

количеству азота, вносимого с подстилочным навозом – 200 кг N/га, принятого в опыте за стандарт. С учетом содержания азота средние дозы органических удобрений при внесении под картофель составляли в т/га: навоз подстилочный – 52,6; торф – 58,7; торфопометный компост – 27,5. В опыте изучали их действие (в год внесения под картофель) и последствие (1-й– 3-й годы после внесения под ячмень, вико-овсяную смесь и озимую пшеницу) как в чистом виде, так и в сочетании с минеральными удобрениями.

Дозы минеральных удобрений зависели от содержания общего фосфора и калия в органических удобрениях. При этом дозы были не выше $N_{280}P_{200}K_{320}$ за ротацию севооборота.

Размещение вариантов в опыте – систематическое. Повторность – трехкратная, площадь делянки – 48 м² (6×8).

Исследования проводили по следующей схеме: 1. контроль (без удобрений); 2. навоз подстилочный; 3. торф; 4. торфопометный компост; 5. навоз подстилочный + $N_{80}PK$; 6. торф + $N_{80}PK$; 7. торфопометный компост + $N_{80}PK$. Для оценки суммарной продуктивности севооборота урожайность культур была переведена в зерновые единицы. Для этого использовали следующие коэффициенты перевода: для озимой пшеницы, ячменя – 1,0, картофеля – 0,25, однолетних трав – 0,14. Прибавка урожайности от различных видов удобрений рассчитана к варианту без удобрений. Баланс питательных веществ определяли как разность между поступлением N, P и K с удобрениями (кг/га) и их выносом с урожаем возделываемых культур. Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы STATVIA. Агрономическую окупаемость удобрений (оплату) определяли как прибавку урожайности к контролю в кг з.ед./га от 1 кг NPK, внесенного с удобрением [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наибольшая суммарная продуктивность севооборота в среднем за две ротации при применении органических удобрений отмечена в варианте с торфопометным компостом. Она составила 12,13 т з.ед./га, при 8,03 т з.ед./га в варианте без удобрений (табл. 1). По фону минеральных удобрений во всех вариантах опыта продуктивность культур была выше по сравнению с контролем и с органической системой удобрения, наибольшие прибавки получены в вариантах с подстилочным навозом и с торфопометным компостом – 6,29–6,57 т з.ед./га.

Таблица 1

Продуктивность культур в среднем за две ротации, т з.ед./га

Культура	Конт- роль	Навоз подстилочный		Торф		Торфопомет- ный компост		НСР ₀₅
	без удоб- рений	без удоб- рений	NPK	без удоб- рений	NPK	без удоб- рений	NPK	
Картофель	3,24	4,65	6,50	4,19	5,20	5,50	6,48	0,74
Ячмень	0,84	1,58	2,22	1,00	1,76	1,68	2,25	0,44
Вико-овсяная смесь	1,76	1,90	2,36	1,84	2,41	2,21	2,61	0,40
Озимая пшеница	2,19	2,62	3,24	2,22	3,16	2,74	3,26	0,36
Продуктивность (среднее за 2 ротации)	8,03	10,75	14,32	9,25	12,53	12,13	14,60	1,91
Среднегодовая	2,01	2,69	3,58	2,31	3,13	3,03	3,65	0,49

Среди используемых видов удобрений наиболее длительным действием обладал торфопометный компост. Результаты исследований показали, что в среднем за две ротации севооборота при использовании органических удобрений без минеральных удобрений дополнительно получено от 1,22 до 4,10 т з.ед./га, что составляло 0,3–1,02 т з. ед./га в год. В сочетании с минеральными удобрениями уровень прибавки был гораздо выше – от 4,50 до 6,57 т з.ед./га, или 1,12–1,64 т з.ед./га в год. Общее содержание NPK было доведено до оптимального уровня, среднегодовое внесение питательных веществ в зернопропашном севообороте составило $N_{70}P_{50}K_{80}$ (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная эффективность удобрений в среднем за две ротации

Вариант	Внесено питательных веществ, кг/га				Оплата 1 кг NPK, кг з.ед.	Оплата 1 т органических удобрений, кг з.ед.
	N	P	K	сумма		
Контроль	–	–	–	–	–	–
Навоз подстилочный	200	157	158	515	5,2	50,8
Торф	200	70	38	308	3,9	20,6
Торфопометный компост	200	166	86	452	9,0	148
Навоз подстилочный + NPK	280	200	320	800	7,8	–
Торф + NPK	280	200	320	800	5,6	–
Торфопометный компост + NPK	280	200	320	800	8,2	–

Оплата 1 кг питательных веществ при применении органических удобрений в чистом виде в среднем за две ротации составила 3,9 (Т) – 9,0 (ТПК) кг з.ед. В сочетании с минеральными удобрениями этот показатель возрос в варианте с торфом до 5,6 кг з. ед. Наибольшая оплата 1 кг NPK, внесенных с удобрениями, отмечена в варианте с торфопометным компостом как в чистом виде, так и на фоне NPK, и составила 9,0 и 8,2 кг з.ед.

Оплата 1 т торфа была в 2 раза ниже по сравнению с подстилочным навозом, который в опыте был принят за стандарт. Внесение 1 т торфопометного компоста было наиболее выгодно и обеспечило получение 148 кг з.ед. Исходя из этого, торф выгоднее использовать в виде компостов, особенно в составе торфопометного компоста.

В конце первой ротации севооборота в вариантах с навозом и навозом + NPK получен положительный баланс биофильных элементов, часть их не использовалась урожаем культур и оставалась для воспроизводства плодородия почвы (табл. 3). В варианте с навозом было внесено 582 кг/га NPK, вынос с урожаем четырех культур составил 396 кг/га, в варианте навоз + NPK отмечен еще больший положительный баланс – внесено 800 кг/га, вынос составил 570 кг/га NPK.

В вариантах с торфом и торфопометным компостом отмечен отрицательный баланс по калию – 80 и 55 кг/га соответственно. Наибольший отрицательный баланс, но уже по всем элементам питания, отмечен в контроле – 206 кг/га NPK. Варианты с совместным внесением органических и минеральных удобрений существенно превосходят варианты с органическими удобрениями в чистом виде, баланс по питательным элементам положительный, при внесении 800 кг/га NPK, вынос составил 366–570 кг/га.

Хозяйственный баланс NPK, кг/га (за две ротации севооборота)

Вариант	Внесено			Вынос			Баланс, ±		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
I ротация									
Контроль	–	–	–	89	51	66	–89	–51	–66
Навоз подстилочный	200	182	200	156	84	156	+44	+98	+44
Торф	200	94	40	102	71	120	+98	+23	–80
Торфопометный компост	200	160	104	158	104	159	+42	+96	–55
Навоз подстилочный + NPK	280	200	320	238	113	219	+42	+87	+101
Торф + NPK	280	200	320	135	86	145	+145	+114	+175
Торфопометный компост + NPK	280	200	320	183	114	212	+97	+86	+108
II ротация									
Контроль	–	–	–	150	90	152	–150	–90	–152
Навоз подстилочный	200	132	116	180	112	195	+20	+20	–79
Торф	200	48	36	132	93	145	+68	–45	–109
Торфопометный компост	200	171	69	183	118	198	+17	+53	–123
Навоз подстилочный + NPK	280	200	320	216	140	243	+64	+60	+77
Торф + NPK	280	200	320	190	120	218	+90	+80	+102
Торфопометный компост + NPK	280	200	320	227	148	268	+53	+52	+52

В конце второй ротации севооборота в вариантах с органическими удобрениями отмечен отрицательный баланс по калию, который составил от 79 до 123 кг/га, в варианте с торфом также и по фосфору – 45 кг/га, при более резком отрицательном балансе питательных веществ в контроле – 392 кг/га NPK. Это можно объяснить тем, что с органическими удобрениями во второй ротации было внесено меньшее количество питательных веществ при сравнительно равной продуктивности культур. Также это свидетельствует о неустойчивости плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы. При сочетании органических и минеральных удобрений получен положительный баланс NPK, в варианте с торфом он составил 272 кг/га, в варианте с навозом – 201 кг/га, при внесении торфопометного компоста – 157 кг/га.

ВЫВОДЫ

Наибольший прирост суммарной продуктивности севооборота в среднем за две ротации при применении органических удобрений, внесенных в равных по азоту дозах, отмечен в варианте с торфопометным компостом и составил 12,13 т з.ед./га, при 8,03 т з.ед./га в контроле. По фону минеральных удобрений во всех вариантах опыта продуктивность культур была выше по сравнению с органической системой удобрения в среднем на 12–35 %.

Наибольшая окупаемость 1 кг NPK (8,2–9,0 кг з.ед.) отмечена в вариантах с внесением торфопометного компоста как в чистом виде, так и на фоне минеральных удобрений. Наиболее эффективно было применение торфопометного компоста: внесение 1 т торфопометного компоста обеспечило получение 148 кг з.ед.

При этом оплата 1 т торфа составила 20,6 кг з.ед., что в 2 раза ниже по сравнению с подстилочным навозом, который в опыте был принят за стандарт.

В среднем за две ротации севооборота положительный баланс NPK получен в вариантах при сочетании органических и минеральных удобрений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Байбеков, Р.Ф.* Использование органических отходов для удобрения агроценозов / Р.Ф. Байбеков, Г.Е. Мерзлая, О.А. Власова. // Земледелие. – 2015. – № 2. – С. 34.
2. Результаты и развитие исследований в многолетнем стационарном полевом опыте в семипольном севообороте / А.И. Иванов [и др.] // Агрофизика. – 2012. – № 3 (7). – С.50–57.
3. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2008 года, вып. 96. Торф. – М.: Российский федеральный геологический фонд, 2008. – 204 с.
4. Эффективность длительного применения органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Г.Е. Мерзлая [и др.] // Агрохимия. – 2012. – № 2. – С. 37–46.
5. *Державин, Л.М.* Интегрированное применение средств химизации в ресурсосберегающих технологиях производства зерна / Л.М. Державин, Г.Е. Мерзлая, А.В. Козлова. – М.: ВНИИА, 2016. – 456 с.
6. *Черненко, А.Г.* Справочник агроклиматического оценочного зонирования субъектов Российской Федерации / А.Г. Черненко, С.И. Носов. – М.: Маросейка, 2010. – 208 с.
7. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

THE BALANCE OF NPK IN THE CROP ROTATION, USING ORGANIC FERTILISERS BASED ON PEAT

T.Yu. Anisimova

Summary

The article presents the results of investigations on comparative assessment of the efficiency of organic fertilizers based on peat and other organic materials, their combined application with mineral fertilizers on sod-podzolic sandy loam soil. It is shown that joint application of fertilizers influenced the productivity of grain-crops, crop rotation, optimizing the balance of NPK. The average for the two rotation the highest yields observed in variant with peat-poultry compost – 12,13 t g.u. ha⁻¹ at 8,03 t g.u. ha⁻¹ in the control without fertilizer. The most effective was the application of peat-poultry compost, making 1 ton of compost will provide the 148 kg g.u.

Поступила 03.03.18

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКИХ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД ЯРОВОЙ ЯЧМЕНЬ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Е.С. Артемьева, Е.В. Скрыльник

*Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского,
г. Харьков, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

Влияние погодных условий на урожайность и качество зерна ярового ячменя в различных регионах Украины изучено достаточно широко. В большинстве сельскохозяйственных регионов на долю погодных условий приходится 40–50 % общей амплитуды колебаний урожайности культур, и лишь 1/3 посевных площадей расположена в зоне гарантированных урожаев [1, 2]. В современных условиях важнейшими факторами, лимитирующими увеличение урожайности и качества зерна ярового ячменя, являются уровень минерального питания, сорт и количество продуктивной влаги в период вегетации [3–5].

На Харьковщине, как и в большей части Левобережной Лесостепи Украины, наиболее значимым нерегулируемым фактором для формирования высокой урожайности культуры является влага.

В конкретных условиях закон минимума в нашем регионе – это уровень влагообеспеченности растений, обуславливающий экологическую границу производительности. Основным источником пополнения влаги в почве являются атмосферные осадки. Установлено, что в ходе формирования урожая растения используют лишь 25–30 % годового количества осадков, около 40 % имеющихся запасов влаги в почве в течение вегетационного периода испаряется. Для формирования этого уровня урожая необходимо учитывать и тратить другие необходимые ресурсы [3, 6].

Интенсивность ростовых процессов культуры зависит от воздействия внешней среды. Негативное влияние имеют экстремальные природные условия, прежде всего для растений молодого возраста [7]. Яровой ячмень условно относят к наиболее засухоустойчивым культурам. Хотя его транспирационный коэффициент достаточно высок (около 400), устойчивость различных сортов к воздушной и почвенной засухе очень сильно варьируется. К недостатку воды яровой ячмень наиболее чувствителен в фазе кущения – выхода в трубку [8].

Одной из наиболее эффективных мер в адаптации растений к экстремальным погодным условиям (в частности, к высоким температурам и недостатку влаги) является применение удобрений. В этом случае расходы влаги на создание единицы продукции сельскохозяйственных культур уменьшаются на 10–34 % [9–11]. Согласно научным данным, внесение удобрений под ячмень является надежным и высокоэффективным приемом уменьшения негативного влияния дефицита почвенной влаги на величину урожая. Корреляционную зависимость увлажнения от удобрения убедительно доказал академик Д.Н. Прянишников. Так, на примере овса он продемонстрировал закономерность влияния удобрений на снижение

транспирационного коэффициента, то есть, как растение может рационально использовать воду. Если количество влаги несколько ниже, но не критическое, удобрения способствуют более рациональному ее использованию [12].

Лучший эффект при таких условиях демонстрируют жидкие органоминеральные удобрения (ОМУ) пролонгированного действия в форме комплексных соединений, сбалансированных по содержанию в них азота в виде КАС (N_{40}) и гуминовых кислот [13, 14].

Полученные путем смешивания ОМУ совмещают в себе привлекательные, с точки зрения конечных потребителей, свойства органических и минеральных удобрений. Благодаря использованию методов супрамолекулярной химии, жидкие ОМУ приобретают структуру с новыми свойствами: аморфная, наличие заряда, аммонийная и нитратная группы дополнительно фиксируются гуматными фрагментами, повышается значение поверхностного натяжения капли (снижается вероятность ожога листовой поверхности).

Жидкие ОМУ перспективны для применения в сельскохозяйственном производстве, так как состав их можно изменять в широких пределах, что позволяет разрабатывать самые разнообразные удобрения под конкретные сельскохозяйственные культуры с учетом их биологических особенностей и уровня плодородия почв. Жидкая форма удобрений позволяет применять их в любых климатических зонах, в том числе засушливых, в регионах с высокой жесткостью воды [15].

Внесения жидких ОМУ ускоряет рост и развитие растений, благодаря активизации всасывающих процессов корневых волосков, к тому же корни глубже проникают в почву, а это способствует более рациональному использованию запасов продуктивной влаги при наступлении засушливых условий. Установлено, что гуминовые препараты, входящие в состав жидких ОМУ, повышают коэффициент усвоения макро- и микроэлементов из почвы и удобрений на 15–20 %, а также усиливают микробиологическую деятельность, создают комфортные условия для прорастания семян [15, 16].

На эффективность удобрений и устойчивость растений к неблагоприятным условиям существенно влияет выбор оптимальных сроков внесения удобрений и способов их применения.

При внесении жидких ОМУ под яровую ячмень весной под предпосевную культивацию прибавка урожайности увеличивается в 1,5–2,0 раза. Это связано с тем, что элементы питания лучше усваиваются в хорошо увлажненном пахотном слое. Кроме того, внесенные таким способом жидкие ОМУ в дозе 40 кг/га создают низкоконцентрированный азотный фон, выполняющий функцию энергообеспечения растения на начальных этапах органогенеза, таким образом, рационально используется весь объем внесенных удобрений.

Период начала кущения–колошения является определяющим для формирования окончательного уровня урожайности и качества зерна. В такой критической ситуации в роли «скорой помощи» выступают внекорневые обработки в дозе 6 кг/га, позволяющие очень оперативно помочь растению, через листовую подкормку быстро восполнить нехватку необходимого элемента питания.

Цель исследований – изучить влияние жидких ОМУ на урожайность и качество зерна ярового ячменя в условиях изменения климата.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по применению жидких ОМУ проводились в течение 2014–2016 гг. в условиях временного полевого опыта на Граковском опытном поле ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского» (Чугуевский район, Харьковская область).

Агрохимическая характеристика пахотного слоя чернозема типичного тяжело-суглинистого: содержание гумуса 5,4–5,5 %, общего азота – 0,26–0,29 %, легкогидролизуемого азота – 175,5–187,4 мг/кг, минерального азота почвы – 9,1–11,5 мг/кг, подвижных форм фосфора – 82,0–92,1 мг/кг, подвижного калия – 101,5–126,7 мг/кг, рН 6,7–7,1.

Анализ почвы проводили по аттестованным методикам: общий гумус – по Тюрину (ДСТУ 4289:2004), общий азот – по методу Кьельдаля (ДСТУ ISO 11261–2001), легкогидролизуемый азот – по Корнфилду (ДСТУ 7863:2015), минеральный азот (ДСТУ 4729:2007), рН – водной вытяжки (ДСТУ ISO 10390–2007). Определение в почве подвижных форм фосфора и калия – по методу Чирикова (ДСТУ 4115–2002).

В растительных образцах определяли общий азот (МВВ 31–497058–024–2005), белок – на инфракрасном анализаторе СПЕКТРАН-119М. Для статистической обработки результатов исследований и определения достоверности полученных экспериментальных данных использовали программу Microsoft Excel и дисперсионный анализ по методике Б.А. Доспехова [17].

Общая площадь посевного участка – 20 м², учетного – 4 м². Повторность опыта трехкратная с рендомизированным размещением вариантов.

Культура выращивания – яровой ячмень сорт Парнас, включен в Государственный реестр Украины в 2008 г. Сорт среднеспелый, пивоваренный, устойчив к болезням, засухе и полеганию, с содержанием белка в зерне до 12,5 %,

Учет урожая проводили вручную сплошным методом. Предшественником первого года был подсолнечник, второго и третьего – пшеница озимая. После их уборки проводили дискование стерни и зяблевую вспашку на глубине 22–24 см.

Схема опыта, представленная в табл. 1, включала три фона: внесение под предпосевную культивацию КАС (N₄₀) – фон 1; ОМУ-1 (N₄₀ и 5 % гумат) – фон 2; ОМУ-2 (N₄₀ и 15 % гумат) – фон 3. На трех фонах проводилась некорневая подкормка растений КАС (N₆) и жидкими ОМУ (N₆ и 5; 15 % гумат) соответствующей концентрации в три фазы развития растений (кущение, выход в трубку, колошение).

Жидкие органоминеральные удобрения (ОМУ-1 и ОМУ-2) – водорастворимые концентраты, изготовленные на основе КАС-32 и гумата калия, где доля гумата составляла 5 и 15 % объема КАС.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метеорологические условия периода вегетации ярового ячменя в 2014–2016 гг. существенно различались между собой, что оказало влияние на величину урожая и содержание белка в зерне (табл. 1 и 2).

Так, агрометеорологические условия 2014 г. в течение периода вегетации ярового ячменя сорта Парнас в целом были благоприятны для роста растений и закладки высокой потенциальной биологической урожайности. Особенностью погодных условий 2014 г. было интенсивное накопление эффективных температур в апреле-мае, что ускорило прохождение фазы кущения и выхода растений в трубку.

ку. По данным метеорологического пункта ГП «ОХ «Граковское», среднемесячная температура воздуха в апреле составила 11,3 °С, что на 2,4 °С выше нормы, запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы были достаточными и составили 25–36 мм, а сумма осадков превысила норму в 2,4 раза, за апрель-июль выпало 235,1 мм осадков при среднесуточной температуре воздуха 15,2 °С. Однако из-за дефицита влаги в период налива зерна не удалось реализовать заложенную в начале вегетации высокую биологическую урожайность. Урожайность зерна в этом году была самой низкой за весь период исследований и составила 2,10 т/га в контрольном варианте. При комплексном применении жидких ОМУ данный показатель существенно возрос до 2,34–2,88 т/га в варианте Фон 2 (ОМУ-1) + ОМУ-1 и Фон 3 (ОМУ-2) + ОМУ-2, что на 12–37 % больше по сравнению с контролем и на 5–17 % относительно варианта с применением КАС в предпосевную культивацию и подкормки (Фон 1(N_{40} (КАС)) + N_{6+6+6} (КАС)) (табл.1).

Таблица 1

Влияние жидких ОМУ на урожай зерна ярового ячменя (2014–2016 гг.)

Вариант		Урожайность, т/га				Прирост урожая по сравнению с контролем	
предпосевная культивация	некорневая подкормка	2014 г.	2015 г.	2016 г.	средняя	т/га	%
Контроль		2,10	2,26	2,76	2,37	–	–
	+ N_{6+6+6} (КАС)	2,24	2,37	2,87	2,49	0,12	5
Фон 1 N_{40} (КАС)		2,31	2,46	2,96	2,58	0,21	9
	+ N_{6+6+6} (КАС)	2,46	2,56	3,11	2,71	0,34	14
	+ N_{6+6+6} (ОМУ-1)	2,42	2,60	3,16	2,73	0,36	15
	+ N_{6+6+6} (ОМУ-2)	2,44	2,63	3,20	2,76	0,39	17
Фон 2 N_{40} (ОМУ-1)		2,20	2,48	3,14	2,61	0,24	10
	+ N_{6+6+6} (КАС)	2,28	2,57	3,27	2,71	0,34	14
	+ N_{6+6+6} (ОМУ-1)	2,34	2,74	3,46	2,85	0,48	20
	+ N_{6+6+6} (ОМУ-2)	2,69	2,80	3,50	3,00	0,63	27
Фон 3 N_{40} (ОМУ-2)		2,38	2,52	3,22	2,71	0,34	14
	+ N_{6+6+6} (КАС)	2,60	2,99	3,79	3,13	0,76	32
	+ N_{6+6+6} (ОМУ-1)	2,45	3,09	3,89	3,14	0,77	33
	+ N_{6+6+6} (ОМУ-2)	2,88	3,17	3,97	3,34	0,97	41
НСП ₀₅		0,01	0,02	0,02	–	–	–

В 2015 г. вегетационный период был засушливым для развития и реализации потенциальных возможностей сорта по сравнению с предыдущим годом. Осадков выпало 168,8 мм при средней температуре 16,7 °С. В период налива зерна из-за незначительного количества осадков, почвенные засухи имели решающее влияние на получение невысокой производительности культуры.

В результате урожайность зерна ярового ячменя была на уровне 2,26 т/га при выращивании культуры на неудобренном варианте. Комплексное внесения жидких ОМУ обеспечило рост урожайности зерна до 2,74–3,17 т/га в вариантах Фон 2 (ОМУ-1) + ОМУ-1 и Фон 3 (ОМУ-2) + ОМУ-2, что на 21–40 % больше по сравнению с контролем и на 7–24 % относительно сравниваемого варианта (Фон 1(N_{40} (КАС)) + N_{6+6+6} (КАС)).

Оптимальными для формирования зерна ярового ячменя оказались погодные условия 2016 г. Закладка репродуктивных органов и их формирование происходило при достаточно благоприятных условиях, осадки, выпавшие за осенне-зимний период 2015–2016 гг., способствовали получению наиболее высокого урожая за годы исследований. За апрель–июль выпало 275,4 мм осадков при среднесуточной температуре воздуха 16,4 °С. Урожайность зерна была на уровне 2,76 т/га в контрольном варианте и 3,46–3,97 т/га в вариантах Фон 2 (ОМУ-1) + ОМУ-1 и Фон 3 (ОМУ-2) + ОМУ-2. В данных вариантах урожайность значительно возросла на 25–44 % по сравнению с контролем и была на 11–28 % выше, чем в варианте с применением КАС в основное внесение и подкормки.

Проведенные нами исследования (табл. 2) показали, что на химические свойства зерна сорта Парнас повлияли как погодные условия, так и обеспеченность растений азотом в критические этапы органогенеза ячменя ярового.

Высокое содержание белка в зерне ячменя сформировалось в условиях засушливого 2015 г.: в варианте без удобрений 11,85 %, в варианте с комплексным применением КАС (под предпосевную культивацию и подкормки) – 12,20 %. Под воздействием комплексного внесения жидких ОМУ содержание белка возросло до 12,34 % в вариантах Фон 3 (ОМУ-2) + ОМУ-1 и Фон 3 (ОМУ-2) + ОМУ-2.

Низкое содержание белка наблюдалось в условиях вегетации 2016 г., когда количество осадков было несколько выше, а температурные условия менее благоприятными для формирования белка растениями ячменя ярового. В контрольном варианте содержание белка составило 11,79 %, в варианте с комплексным применением КАС – 12,15 %, а с применением ОМУ показатель возрастал до 12,20 и 12,27 % соответственно в вариантах Фон 2 (ОМУ-1) + ОМУ-1 и Фон 3 (ОМУ-2) + ОМУ-2.

Таблица 2

Влияние жидких ОМУ на качество зерна ярового ячменя (2014–2016 гг.)

Вариант		Содержание белка в зерне, %		
предпосевная культивация	некорневая подкормка	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Контроль		11,80	11,85	11,79
	+ N ₆₊₆₊₆ (КАС)	11,87	11,92	11,85
Фон 1 N ₄₀ (КАС)		12,05	12,10	12,15
	+ N ₆₊₆₊₆ (КАС)	12,14	12,20	12,15
	+ N ₆₊₆₊₆ (ОМУ-1)	12,15	12,20	12,17
	+ N ₆₊₆₊₆ (ОМУ-2)	12,20	12,25	12,18
Фон 2 N ₄₀ (ОМУ-1)		12,20	12,25	12,18
	+ N ₆₊₆₊₆ (КАС)	12,22	12,27	12,20
	+ N ₆₊₆₊₆ (ОМУ-1)	12,22	12,27	12,20
	+ N ₆₊₆₊₆ (ОМУ-2)	12,22	12,27	12,20
Фон 3 N ₄₀ (ОМУ-2)		12,22	12,27	12,26
	+ N ₆₊₆₊₆ (КАС)	12,29	12,33	12,26
	+ N ₆₊₆₊₆ (ОМУ-1)	12,29	12,34	12,27
	+ N ₆₊₆₊₆ (ОМУ-2)	12,29	12,34	12,27
НСР ₀₅		0,02	0,01	0,02

Промежуточные показатели по содержанию белка в зерне ячменя получены в условиях вегетации 2014 г. При сложившихся погодных условиях, содержание белка в контрольном варианте составляло 11,80 %, в варианте с комплексным применением КАС – 12,14 %, при комплексном применении жидких ОМУ (Фон 2 (ОМУ-1) + ОМУ-1 и Фон 3 (ОМУ-2) + ОМУ-2) этот показатель увеличился до 12,22–12,29 %.

ВЫВОДЫ

Важным фактором в снижении негативного влияния неблагоприятных погодных условий на формирование урожая и качества зерна ярового ячменя в условиях Левобережной Лесостепи Украины является комплексный подход к применению минеральных и органических удобрений в виде жидких ОМУ, которые обладают пролонгированным действием и способствуют приросту урожая зерна ячменя ярового на 0,48–0,97 т/га (20–41 %) по сравнению с контролем, на 0,14–0,63 т/га (5–23 %) по сравнению с комплексным применением КАС при высоком содержании белка – 12,27–12,34 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бомба, М.Я.* Формирование урожая ярового ячменя в Украине / М.Я. Бомба, Д.Т. Коцупир // *Зерновое хозяйство*. – 2007. – № 5. – 22–23 с.
2. *Каращук, С.В.* Сумарне водоспоживання сортів ячменю ярого залежно від фону живлення при вирощуванні на півдні України / С.В. Каращук, Г.В. Каращук // *Сучасні технології вирощування зернових, бобових та технічних культур: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, Херсон, 22 травня 2014 р.* – Херсон: ХДАУ, 2014. – 246–250 с.
3. *Мірошниченко, М.М.* Управління якістю зерна ячменю: рекомендації / М.М. Мірошниченко. – Харків: Харк. нац. аграр. ун-т ім. В.В. Докучаєва, 2010. – 55 с.
4. *Мяделец, П.С.* Зависимость урожая ячменя и фракционного состава белков зерна от удобрений и метеорологических условий / П.С. Мяделец, Л.П. Воллейдт, Н.П. Куприн // *Химия в сельском хозяйстве*. – 1975. – № 11. – 22–25 с.
5. *Косолап, М.П.* Зміна погодних умов у зоні Лісостепу України / М.П. Косолап, В.Р. Аскарів // *Хімія агрономія сервіс*. – 2012. – № 3. – 40–42 с.
6. *Сайко, В.Ф.* Зерно України / В. Ф. Сайко // *Вісник аграрної науки*. – 2011. – № 9. – 5–10 с.
7. *Левтанов, С.* Капризный злак / С. Левтанов // *Новое сельское хозяйство*. – 2006. – № 2. – 46–50 с.
8. *Акимова, Т.В.* Влияние локального перегрева на тепло-холодоустойчивость клеток листа и корня растений / Т.В. Акимова, Н.И. Белагурова, А.Ф. Титова // *Физиология растений*. – 1999. – № 1(46). – 119–124 с.
9. *Господаренко, Г.М.* Удобрення сільськогосподарських культур / Г.М. Господаренко. – Київ: Вища освіта, 2010. – 66–67 с.
10. *Господаренко, Г.М.* Урожайність і якість зерна сортів ячменю ярого за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні / Г.М. Господаренко, О.Ю. Стасіневич // *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. – 2006. – Спец. вип. 4. – Т. 1. – 39–44 с.

11. Вплив підживлень на продуктивність зернових культур в північній частині Лісостепу України / М.М. Городній [та ін.] // Наукові доповіді НАУ. – 2008. – № 1 (9). – 1–11 с.

12. Чумак, А. Особенности применения минеральных удобрений в засушливых условиях / А. Чумак // Пропозиция. – 2016. – № 12. – 68–74 с.

13. *Артем'єва, К.С.* Пролонгована дія рідких органо-мінеральних добрив на продуктивність ячменю ярого/ К.С. Артем'єва // Інноваційні розробки молоді – агропромислового виробництва : матеріали Міжнарод. наук.- практ. конф. мол. вч., Херсон, 28 квітня 2017 р. – Херсон, 2017. – 12–13 с.

14. Перспективи і напрямки виробництва та застосування органо-мінеральних добрив і біостимуляторів в землеробстві України / Є.В. Скрильник [та ін.] // Вісник аграрної науки Півд. рег. – 2000. – Вип. 1. – 223–228 с.

15. *Артемьева, Е.С.* Эффективность применения в растениеводстве жидких органоминеральных удобрений на основе КАС / Е.С. Артемьева // Плодородие почв: оценка, использование и охрана, воспроизводство: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Минск, 26–30 июня 2017 г. – Минск, 2017. – 15–18 с.

16. *Артем'єва, К.С.* Ефективність позакореневих підживлень рідкими органо-мінеральними добривами на посівах ячменю ярого / К.С. Артем'єва // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2015. – № 83. – 110–113 с.

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

EFFICIENCY OF APPLICATION OF LIQUID ORGANO-MINERAL FERTILIZERS UNDER SPRING BARLEY IN THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE

K.S. Artemyeva, E.V. Skrylnyk

Summary

The article presents data on the efficiency of application for spring barley liquid organo-mineral fertilizers (OMF) in the form of complex compounds balanced by basic nutrients and the content of nitrogen and humic acids in them.

The positive influence of the fertilizers studied on the formation of the yield and the quality of spring barley grain under conditions of climate change was established.

It has been determined that application of fertilizers at a dose of 40 kg/ha under presowing cultivation creates a low-concentration nitrogen background, which performs the function of energy-enrichment of plants at the initial stages of organogenesis, and foliar treatments in adverse weather conditions of the growing season at a dose of 6 kg/ha make it possible to fill the shortage in plants with the necessary element power supply. Thus, on the chernozem typical, the increase in the grain yield of spring barley is 0,4–0,97 t/ha or (20–41 %) compared to the control, and provide a high protein content within the range of 12,27–12,34 %.

Поступила 20.03.18

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ОСАДКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД, ИЗВЕСТКОВАНИЯ НА АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ, УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И ИХ МАКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ В ДЛИТЕЛЬНОМ ОПЫТЕ

В.А. Касатиков, Н.П. Шабардина

*ФГБНУ ВНИИОУ,
г. Владимир, Россия*

ВВЕДЕНИЕ

Осадки сточных вод (ОСВ) и бытовые органические отходы являются одним из основных отходов производственной деятельности человека. Ежегодная масса производимых в РФ ОСВ при влажности 75 % составляет 12,8 млн т. Утилизация осадков сточных вод является решаемой проблемой. Использование осадка городских сточных вод (ОСВ) на удобрение в исходном состоянии или же в составе компоста – один из приемов его утилизации [1, 2].

Существует ряд других направлений использования осадков сточных вод, в том числе для производства органических удобрений на их основе, которое способствует решению вышеуказанной экологической проблемы.

ОСВ и удобрения на их основе, благодаря высокому содержанию органического вещества, улучшают плодородие почвы и его агрофизические свойства, повышают урожай сельскохозяйственных культур. Внесение ОСВ и компостов на их основе в почву проявляется во влиянии на агрохимические свойства почв, увеличении запасов органического вещества, усилении нитрификации в пахотном слое, возрастании биологической активности почвы, увеличении количества целлюлозоразлагающих бактерий и уменьшении доли плесневых грибов. Особенно отчетливо почвоулучшающие свойства данных органических удобрений проявляются на песчаных, супесчаных и малоплодородных деградированных почвах [3,4].

Цель исследований – изучить последствие систематического применения осадка городских сточных вод, известкования на урожайность и макроэлементный состав зерновых культур.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на поле ФГБНУ ВНИИОУ в 2016–2017 гг. в стационарном опыте. Опыт заложен в 1984 г. и занесен в Реестр Географической сети опытов с удобрениями РФ. Аэробностабилизированные осадки сточных вод с очистных сооружений г. Владимира вносили ежегодно с 1984 по 1995 гг., а также периодически в 2000, 2006, 2010 и 2015 г. осенью в сочетании с периодическим известкованием доломитовой мукой в дозах 3, 6, 9 т/га в 1984, 1990, 1995, 2006 и 2015 гг. Суммарные дозы ОСВ составили 180–1440 т/га (50 % влажности). В результате длительного применения ОСВ в почву стационарного опыта поступило значительное количество ТМ. В табл. 1 приведено валовое содержание элементов в слое почвы 0–20 см на некоторых вариантах опыта.

Валовое содержание ТМ в почве (0–20 см), 2015 г.

Вариант	Cd	Cr	Cu	Zn	Pb	Ni	Z _c
	мг/кг						
Контроль	1,59	61	48,2	108,3	11,8	3,5	–
ОСВ 180 т/га + дол. мука 3 т/га*	3,86	86,5	68,8	137,2	13,1	6,1	4,4
ОСВ 360 т/га + дол. мука 3 т/га	4,31	91,4	80,4	147,3	15,1	7,3	5,6
ОСВ 720 т/га + дол. мука 3 т/га	6,27	114,1	101,4	165,7	16,6	12	9,3
ОСВ 1440 т/га + дол. мука 3 т/га	9,44	123,4	127,1	181,6	18,7	24,8	16,0
ОСВ 360 т/га + дол. мука 9 т/га	4,78	60,0	55,2	120,9	15,7	9,2	5,2
ОСВ 720 т/га + дол. мука 9 т/га	6,51	87,1	86,3	154,0	16,8	12,8	8,8
ОСВ 1440 т/га + дол. мука 9 т/га	8,02	113,6	123,6	182,4	20,1	21,3	13,9
ОДК в почве, мг/кг	2,0	90	132	220	130	80	–

*В этой и последующих таблицах дозы ОСВ приведены к 50 % влажности.

Почва опытного участка дерново-подзолистая, сформированная на двучленных ледниковых отложениях. Пахотный и иллювиальный горизонты находятся в толще супесчаного отложения, перекрывающего тяжелый моренный суглинок. Исходная агрохимическая характеристика слоя почвы 0–20 см в 1984 г. следующая: рН_{сол} – 6,0, Н_г – 1,05 мг-экв/100г почвы, S – 7,0 мг-экв/100г почвы, Р₂О₅ – 95 мг/кг почвы, К₂О – 43 мг/кг почвы, С_{орг} – 0,8 %.

Исследования проводили в звене севооборота озимая рожь – яровое тритикале. Предшественник – люпин. В 2016 г. возделывали озимую рожь сорта Память Кондратенко, в 2017 г. – яровое тритикале сорта Россия. Озимая рожь была посеяна 25 августа 2015 г., а яровое тритикале – 3 мая 2017 г. В период вегетации озимой ржи и ярового тритикале проводили фенологические наблюдения.

Осадок сточных вод ОСВ с очистных сооружений города Владимира представляет собой после 2–3-летнего мезофильного компостирования в буртах рассыпчатую однородную массу темно-серого цвета. Он обладает рядом положительных свойств: содержит до 14 % органического углерода, имеет нейтральную реакцию. ОСВ характеризуется достаточно высокой зольностью, что связано с технологическими особенностями его формирования. По содержанию питательных элементов осадок не сбалансирован, в его составе соединения фосфора преобладают над азотом и калием (табл. 2).

Агрохимическая характеристика ОСВ

Показатель	2000 г.	2006 г.	2010 г.	2015 г.
Влажность, %	75,6	46,2	41,8	24,4
рН _{сол}	7,2	6,8	6,8	7,9
N _{общ} , %	1,42	1,26	0,98	0,84
Р ₂ О ₅ общ, %	3,72	2,22	2,18	2,48
К ₂ О _{общ} , %	0,51	0,51	0,41	0,32
Р ₂ О ₅ подв, мг/100 г	2049,0	711,0	296,0	187,0
К ₂ О _{обм} , мг/100 г	21,0	70,0	26,0	37,0
N-NO ₃ , мг/кг	54,0	268,0	121,1	98,0

Микроэлементный состав осадка сильно варьирует по годам исследования. После внесения ОСВ в 2015 г. суммарные дозы составили от 180 до 1440 т/га, что привело к увеличению содержания ТМ в пахотном слое. Действующие нормативы по содержанию ТМ в почве были превышены: по кадмию (Cd) – в 1,2–4 раза для валового содержания, в 1,2–2,5 раза – для подвижных форм, по хromу (валовое содержание) – в 1,1–2,6 раза, по меди – в 1,1–1,4 раза.

Концентрация биодоступных соединений металлов в ОСВ также сильно колеблется. Отмечается высокий уровень содержания подвижных форм Cd, Zn и Ni. В вытяжку ААБ от валового содержания ТМ в ОСВ переходило 9–30 % Cd, 7–39 % Zn и 4–26 % Ni. Подвижность Cu и Pb значительно ниже: 3–7 % и 1–2 % соответственно.

В данной статье представлены результаты исследований по влиянию длительного применения осадка городских сточных вод, доломитовой муки на миграцию макроэлементов в системе почва–культура (озимая рожь, яровое тритикале), на агрохимические свойства почвы и растений, урожайность опытных культур.

Для решения поставленных задач в 2016 и 2017 гг. отбирались смешанные образцы из пахотного горизонта дерново-подзолистой почвы. Озимую рожь и яровое тритикале убирали в фазе полной спелости зерна, учет урожая проводили поделяночно. Отбор почвенных образцов проводили тростевым буром в двух повторностях в слое 0–20 сантиметров. В почвенных и растительных образцах после уборки урожая агрохимические показатели определяли общепринятыми методами анализов. В почвенных образцах проводилось определение агроэкологических параметров согласно следующим методам исследований: pH солевой вытяжки; подвижные формы фосфора и калия определяли в вытяжке Кирсанова: фосфор – колориметрически по Дениже, калий – методом пламенной фотометрии; содержание органического углерода – колориметрически по методу Тюрина в модификации Никитина (Практикум по агрохимии, 2001). Валовое содержание ТМ в почве и их подвижные формы определялись согласно ФР 1.31. 2002 00524.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ изменения агрохимических свойств пахотного слоя почвы по последнему действию ранее внесенных ОСВ и действию ОСВ внесенного осенью 2015 г. выявил снижение обменной кислотности почвы, особенно заметное в вариантах с максимальными дозами ОСВ и доломитовой муки (табл. 3). При этом сохраняется обратная зависимость H_r от уровня известкования почвы. По последнему действию ОСВ в текущем году сохранилась пропорциональная зависимость суммы поглощенных оснований от доз ОСВ и уровня известкования почвы. Их значения выросли с 7,28 до 8,42 мг-экв/100 г почвы. Данная зависимость обусловлена фактором разложения под влиянием почвенного биоценоза основной массы внесенного ОСВ и, как следствие, разрушением органоминеральных комплексов в составе ОСВ с высвобождением катионов Ca^{+2} и Mg^{+2} , а также фактором известкования. При этом емкость катионного обмена ППК находилась в пропорциональной зависимости от доз ОСВ и не зависела от уровня известкования почвы.

Как известно, по содержанию фосфора ОСВ существенно превосходят традиционные виды органических удобрений. По этой причине в условиях интенсивного применения ОСВ происходят выраженные изменения фосфатного режима поч-

вы. По действию ОСВ с высоким содержанием P_2O_5 наблюдался рост значений $P_{2O_{5\text{подв}}}$ в слое 0–20 см пропорционально дозам ОСВ в 1,7–4,1; 1,4–4,6 и 1,6–4,5 раза согласно уровням известкования.

Таблица 3

**Влияние длительного применения различных доз ОСВ
в сочетании с известкованием на агрохимическую характеристику
дерново-подзолистой супесчаной почвы, слой 0–20 см, 2016 г.**

Вариант опыта	pH _{KCl}	H _r	S (Ca+Mg)	ЕКО	P ₂ O ₅	K ₂ O	Гумус, %
		мг-экв/100 г			мг/кг		
Контроль (без удобрений)	6,50	0,54	7,28	7,82	490	33	1,51
ОСВ 180т/га + дол. мука 3 т/га	6,70	0,49	7,77	8,26	860	36	1,69
ОСВ 360 т/га + дол. мука 3 т/га	6,70	0,48	8,00	8,48	1100	38	1,82
ОСВ 720 т/га + дол. мука 3 т/га	6,70	0,46	8,18	8,64	1300	40	2,24
ОСВ 1440 т/га + дол. мука 3 т/га	6,67	0,45	8,30	8,75	2020	43	2,78
ОСВ 180 т/га + дол. мука 6 т/га	6,77	0,44	8,12	8,56	670	36	1,71
ОСВ 360 т/га + дол. мука 6 т/га	6,82	0,43	8,24	8,67	1170	38	1,83
ОСВ 720 т/га + дол. мука 6 т/га	6,82	0,43	8,25	8,68	1560	43	2,18
ОСВ1440 т/га + дол. мука 6 т/га	6,75	0,43	8,30	8,73	2280	46	2,97
ОСВ 180 т/га + дол. мука 9 т/га	6,83	0,43	8,25	8,68	780	30	1,76
ОСВ 360 т/га + дол. мука 9 т/га	6,86	0,42	8,33	8,75	990	38	1,89
ОСВ 720 т/га + дол. мука 9 т/га	6,84	0,42	8,37	8,79	1600	40	2,23
ОСВ 1440 т/га + дол. мука 9 т/га	6,83	0,41	8,42	8,83	2230	43	2,92

По сравнению с фосфором содержание $K_2O_{\text{подв}}$ в почве изменялось менее интенсивно из-за более низкой концентрации элемента в ОСВ и колебалось в пределах 36–46 мг/кг.

Внесение в почву стабилизированного органического вещества в составе ОСВ способствовало сохранению высокого уровня гумусированности почвы, выявленного ранее [5]. Данная зависимость не связана с уровнем известкования почвы. Согласно результатам, приведенным в таблице 3, содержание гумуса в слое почвы 0–20 см находилось в прямой зависимости от величины суммарной дозы ОСВ, возрастая с 1,51 в контроле до 1,69–2,78 % (дол. мука 3 т/га), 1,71–2,97 (дол. мука 6 т/га) и 1,76–2,92 (дол. мука 9 т/га). Более высокое содержание гумуса в вариантах с уровнями известкования 6 и 9 т/га обусловлено пониженной миграционной активностью органического вещества.

Характер изменения агрохимических свойств пахотного слоя почвы по вариантам опыта в 2017 г. по последствию ОСВ (в звене озимая рожь – яровое тритикале) сохранился. При этом, как и по действию ОСВ, внесенного в 2015 г., выявлена обратная зависимость H_r от уровня известкования почвы и доз ОСВ при пропорциональной зависимости величины суммы поглощенных оснований от доз ОСВ и уровня известкования почвы. Ее максимальные значения выросли до 8,39–8,77 мг-экв/100 г почвы.

Содержание $P_{2O_{5\text{подв}}}$ за счет миграционных процессов и выноса урожая ярового тритикале снизилось в вариантах с ОСВ на 6–27 %, превышая уровень контроля в 1,2–3,3; 1,3–3,2 и 1,5–3,4 раза согласно степени известкования почвы. По сравнению с подвижным фосфором содержание $K_2O_{\text{подв}}$ в почве изменялось

менее интенсивно из-за более низкой концентрации элемента в ОСВ и колебалось в пределах 32–38 мг/кг. При этом, как и по фосфору, проявилась тенденция к снижению его уровня по последдействию внесения ОСВ осенью 2015 г. за счет выноса яровым тритикале и миграции в нижележащие слои почвы.

Аналогичная зависимость выявлена по содержанию гумуса в слое почвы 0–20 см. В то же время сохраняется его пропорциональная зависимость от величины суммарной дозы ОСВ, возрастая с 1,50 в контроле до 1,63–2,58 % (дол. мука 3 т/га), 1,67–2,65 (дол. мука 6 т/га) и 1,72–2,73 (дол. мука 9 т/га).

Оптимизация гумусового состояния, агрохимических свойств пахотного слоя почвы способствовала повышению урожайности культур по действию и последствию ОСВ в условиях его систематического применения. В частности, прибавки урожайности зерна озимой ржи возрастали в прямой зависимости от суммарных доз ОСВ на 10–13; 20–23; 29–37 и 42–51 %. Достоверно значимые прибавки получены на всех фонах известкования, достигая максимума при уровнях известкования 3–6 т/га. Аналогичная зависимость выявлена по яровому тритикале. Прибавки урожайности зерна тритикале возрастали в прямой зависимости от суммарных доз ОСВ пропорционально уровням известкования на 17–22; 32–37; 46–61 и 87–94 % (табл. 4).

Таблица 4

Влияние действия различных доз ОСВ в условиях его систематического применения на урожайность зерновых культур

Вариант опыта	Озимая рожь			Яровое тритикале		
	урожай, ц/га	прибавка к контролю		урожай, ц/га	прибавка к контролю	
		ц/га	%		ц/га	%
Контроль (без удобрений)	26,7	–	–	12,0	–	–
ОСВ 180т/га + дол. мука 3 т/га	30,0	3,3	12	14,1	2,1	17
ОСВ 360 т/га + дол. мука 3 т/га	32,8	6,1	23	15,8	3,8	32
ОСВ 720 т/га + дол. мука 3 т/га	36,6	9,9	37	17,5	5,5	46
ОСВ1440 т/га + дол. мука 3 т/га	39,8	13,1	49	22,4	10,4	87
ОСВ 180 т/га + дол. мука 6 т/га	30,2	3,5	13	14,4	2,4	20
ОСВ 360 т/га + дол. мука 6 т/га	33,0	6,3	23	16,1	4,1	34
ОСВ 720 т/га + дол. мука 6 т/га	35,9	9,2	34	18,6	6,6	55
ОСВ1440 т/га + дол. мука 6 т/га	40,4	13,7	51	22,8	10,8	90
ОСВ 180 т/га + дол. мука 9 т/га	29,3	2,6	10	14,6	2,6	22
ОСВ 360 т/га + дол. мука 9 т/га	32,0	5,3	20	16,4	4,4	37
ОСВ 720 т/га + дол. мука 9 т/га	34,5	7,8	29	19,3	7,3	61
ОСВ1440 т/га + дол. мука 9 т/га	38,0	11,3	42	23,3	11,3	94
НСР ₀₅	1,67	–	–	1,59	–	–
Р, %	1,75	–	–	3,21	–	–

При этом величина продуктивности звена севооборота пропорциональна дозам ОСВ и не зависит от уровней известкования почвы. Следует отметить, что неблагоприятные погодные условия вегетационного периода 2017 г. сказались на урожайности ярового тритикале в опыте в сравнении с озимой рожью. И действительно, среднемесячные температуры в апреле–июле отклонялись от нормы на 2,6–3,0 °С. При этом количество осадков было в 1,2–1,8 раза выше среднемо-

голетнего уровня. ГТК вегетационного периода составил 2,40, что характеризует климатические условия вегетационного периода как избыточно влажные. С третьей декады июля произошла резкая смена погоды от прохладной и избыточно влажной к жаркой и засушливой. ГТК этого периода составил всего 0,45, что характеризует условия данного периода как засушливые.

Кроме существенного влияния на агрохимические свойства почвы и, как следствие, урожайность озимой ржи и ярового тритикале, ОСВ способствует изменению макроэлементного состава зерновой части урожая рассматриваемых культур. В частности, по действию ОСВ содержание азота в зерне озимой ржи повысилось с 1,58 % на контроле до 1,61–1,91 % с максимальным уровнем азота в вариантах с дозой известкования 6 т/га. Данная зависимость сохраняется и в соломе и объясняется проявлением эффекта ростового разбавления. В то же время действие ОСВ на фоне длительного его последствия и в сочетании с известкованием не способствует ожидаемому повышению содержания фосфора. Следует отметить, что по всем рассмотренным макроэлементам максимальный уровень их содержания в биомассе озимой ржи выявлен при систематическом внесении ОСВ по фону известкования с дозой 3 т/га доломитовой муки. Данная зависимость обусловлена снижением доступности макроэлементов при более высоких дозах известкования.

При этом максимальный уровень азота в зерне ярового тритикале получен при дозе известкования 9 т/га. В то же время систематическое применение ОСВ на фоне известкования не способствует ожидаемому повышению содержания фосфора в растительной продукции. В отличие от данных, полученных в 2016 г., в 2017 г. не выявлено влияние эффекта «ростового разбавления» на содержание азота и фосфора в зерне ярового тритикале, обусловленное ростом урожайности. Данная зависимость не распространяется также и на концентрацию калия в зерне и соломе ярового тритикале.

ВЫВОДЫ

1. Использование нетрадиционных источников питания растений в виде ОСВ оказывает положительное пролонгированное влияние на агрохимические свойства почвы, урожайность зерновых культур и их макроэлементный состав.

2. Выявлена обратная зависимость N_p от уровня известкования почвы и доз ОСВ при пропорциональной зависимости величины суммы поглощенных оснований за счет деструкции под влиянием почвенного биомассы ОСВ с разрушением органоминеральных комплексов в их составе ОСВ.

3. В условиях интенсивного применения ОСВ происходят выраженные изменения фосфатного режима почвы. По действию ОСВ с высоким содержанием $P_2O_{5\text{общ}}$ наблюдался рост значений $P_2O_{5\text{подв}}$ в слое 0–20 см пропорционально дозам ОСВ в 1,7–4,1; 1,4–4,6 и 1,6–4,5 раза согласно уровням известкования.

4. Оптимизация гумусового состояния, агрохимических свойств пахотного слоя почвы способствовала повышению урожайности культур по действию и последствию ОСВ в условиях его систематического применения. В частности, прибавки урожайности зерна озимой ржи возрастали в прямой зависимости от суммарных доз ОСВ на 10–13; 20–23; 29–37 и 42–51 %, а ярового тритикале – на 17–22; 32–37; 46–61 % и 87–94 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анциферова, Е.Ю. Эколого-агрехимическая оценка осадков сточных вод, используемых в качестве удобрения: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Е.Ю. Анциферова; МГУ. – М., 2003. – 23 с.
2. Анализ опыта почвенного пути утилизации осадков сточных вод / Н.К. Сюняев [и др.]. – М.: ФГОУ ВПО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2008. – 108 с.
3. Касатиков, В.А. Агрэкологические и технологические аспекты использования осадков городских сточных вод в качестве удобрения / В.А. Касатиков, В.А. Черников, В.А. Раскатов // Экологические и технологические вопросы производства и использования органических и органоминеральных удобрений на основе осадков городских сточных вод и твердых бытовых отходов: материалы междунар. симпозиума. – Владимир, 2004. – С. 29–39.
4. Касатиков, В.А. Влияние микробиологических деструкторов лигнинсодержащих отходов на агроэкологические свойства компоста на основе осадка сточных вод и опилок / В.А. Касатиков, В.А. Раскатов, Н.П. Шабардина // Доклады МСХА. – 2010. – Вып. 283. – С. 806–811.
5. Касатиков, В.А. Влияние осадков сточных вод и гумусовых соединений на фоне известкования на агроэкологические свойства почвы и содержание тяжелых металлов в растениях / В.А. Касатиков, Н.П. Шабардина, В.А. Раскатов // Агрехимический вестник. – 2015. – № 4. – С. 39–42.

THE INFLUENCE OF THE SYSTEMATIC APPLICATION OF SLUDGE OF MUNICIPAL WASTEWATER LIMING ON AGRO-ECOLOGICAL PROPERTIES OF THE SOIL, THE YIELD OF GRAIN CROPS AND THEIR MACRONUTRIENT COMPOSITION ON LONG EXPERIENCE

V.A. Kasatikov, N.P. Shabardina

Summary

The article presents the results obtained in long-term experience on the study of the action and aftereffect of the systematic application of urban sewage sludge, liming on the agroecological properties of sod-podzolic sandy soil, yield and macroelement composition of grain crops. It is concluded that the use of alternative sources of plant nutrition in the form of WWS has a positive prolonged effect on the agrochemical properties of the soil, the yield of grain crops and their macroelement composition.

Поступила 03.05.18

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И ДРУГИХ АГРОБИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОМ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНА И ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ КУКУРУЗОЙ, ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ НА АНТРОПОГЕННО- ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ ПОЛЕСЬЯ

Н.Н. Семененко¹, Е.В. Каранкевич²

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

*²Институт мелиорации,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Кукуруза – одна из ведущих культур современного мирового земледелия, которую выращивают в основном на зерно на продовольственные и кормовые цели. Доля кукурузы в мировом производстве зерна составляет около 32 %, что превышает долю риса (28,2 %) и пшеницы (26,8 %). По последним данным в мире посевные площади под кукурузой, выращиваемой на зерно, составляют 150,8 млн га, из них на долю США приходится 31,3 и Китая – 27,1 млн га. В Европе площади этой культуры занимают более 11 млн га при средней урожайности товарного зерна около 12 т/га.

В Беларуси кукуруза также является важной кормовой культурой, которая используется для производства зеленой массы, силоса и зернофуража. Среди кормовых культур по продуктивности ей нет равных. По выходу кормовых единиц с 1 га она превосходит зерновые в среднем более чем в два раза. В последнее десятилетие, благодаря подбору новых гибридов и совершенствованию агротехнологий, во многих сельскохозяйственных предприятиях расширились посевные площади и повысилась урожайность кукурузы, возделываемой на зерно. По статистическим данным за последние годы в Беларуси общая посевная площадь кукурузы составляет около 1 млн га, из них на зерно – 180–200 тыс. га. В экспериментальных опытах, в системе сортоиспытания и в передовых сельхозпредприятиях при благоприятных погодных условиях урожайность зерна кукурузы при стандартной влажности (14 %) достигает 10–12 т/га и более при высокой рентабельности производства, что указывает на высокий потенциал этой культуры при возделывании на зерно и в условиях Беларуси. В то же время следует отметить, что урожайность как зеленой массы, так и зерна кукурузы существенно варьирует по годам, а продуктивный потенциал современных гибридов в производственных условиях реализуется менее чем наполовину с низкой экономической эффективностью.

Особое место в резервах повышения урожайности и валовых сборов зернофуража кукурузы занимает совершенствование технологий ее возделывания на антропогенно-преобразованных торфяных почвах зоны Полесья, наиболее благоприятной по климатическим характеристикам для вегетации этой культуры. Из 700 тыс. га этих почв [1] в сельскохозяйственных предприятиях ряда районов

Брестской (Ивацевичский, Лунинецкий, Пинский), Гомельской (Калинковичский, Октябрьский, Светлогорский) и Минской (Любанский, Солигорский, Стародорожский и другие районы) областей посевы кукурузы на силос и зерно занимают около 30 % площади пашни. При возделывании кукурузы на зерно на антропогенно-преобразованных торфяных почвах, подстилаемых песком, нельзя не отметить ее возможную стабилизирующую роль в производстве зернофуража в южной зоне Беларуси. В этой зоне в конце мая – начале июня часто отмечается дефицит влаги в почвах и избыток ее в июле – августе. Такой режим влагообеспеченности растений лимитирует продуктивность зерновых колосовых, но благоприятен для формирования высокой урожайности кукурузы. Однако в настоящее время научно обоснованная технология возделывания этой культуры на зерно на таких почвах отсутствует, встречаются лишь единичные сообщения [2].

Почвы агроторфяных и, особенно, дегроторфяных комплексов экологически неустойчивые, часто подстилаются песками и по содержанию органического вещества, водно-физическим, химическим и биологическим свойствам существенно отличаются от дерново-подзолистых. Эти почвы имеют высокую интенсивность трансформации соединений азота, содержание минеральных форм которого по отдельным полям различается в 3–5 раз. В них отмечается более низкая доступность растениям растворимых в 0,2 М соляной (HCl) кислоте соединений фосфатов и высокая подвижность калия. Эти почвы обеднены микроэлементами, в них в 2–3 раза больше сорной растительности. Поэтому при посевах кукурузы на антропогенно-преобразованных торфяных почвах необходимо более тщательно контролировать режим минерального питания растений, особенно азотного, более интенсивно применять микроэлементы и пестициды, что ведет к дополнительным затратам. В связи с изложенным следует, что система удобрения под кукурузу на таких почвах имеет свои особенности и ее разработка актуальна. Особого внимания заслуживает разработка нормативов выноса элементов минерального питания на планируемую урожайность зерна, которая в настоящее время отсутствует.

Важным звеном технологий, требующего решения при возделывании кукурузы на антропогенно-преобразованных торфяных почвах, является выбор оптимального способа основной обработки. Практикуемая ежегодная вспашка, с точки зрения создания оптимальных водно-физических свойств таких почв и ведения борьбы с сорняками, не оправдана, приводит к усилению минерализации органического вещества и дефляции, снижению плодородия почв и увеличению энергетических и финансовых затрат. Поэтому использование на почвах торфяных комплексов рекомендаций и регламентов по возделыванию кукурузы на силос и зерно, разработанных для дерново-подзолистых почв, не обеспечивает реализацию потенциала почвенно-климатических условий зоны Полесья и генетических возможностей новых гибридов, не способствует снижению себестоимости производства кормов и животноводческой продукции.

В рекомендациях по возделыванию пропашных на антропогенно-преобразованных торфяных почвах предусматривается внесение органических удобрений в дозах 40–60 т/га и более [3, 4]. Однако в реальной жизни выполнить эти рекомендации сложно, так как часто ощущается дефицит этого вида удобрений, объекты мелиорации находятся на расстоянии 5–10 км и более, доставка и заделка их в почву становится экономически невыгодной. Поэтому в технологиях возделывания кукурузы на антропогенно-преобразованных торфяных почвах заслуживает

внимания использование сидерата редьки масличной в виде кулисной почвозащитной культуры.

Цель исследований – установить влияние предшественника, способов основной обработки почвы и систем применения удобрений на урожайность зерна и вынос элементов питания кукурузой, возделываемой на антропогенно-преобразованных торфяных почвах Полесья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные полевые исследования по разработке технологии возделывания кукурузы на зерно проводились на землях Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства в 2011–2015 гг. В статье представлены результаты исследований за 2011–2012 гг. как более благоприятные по погодным условиям для формирования урожайности зерна и разработки нормативов выноса элементов минерального питания. Почвы опытного поля антропогенно-преобразованные торфяные, подстилаемые песком с глубины 35–45 см. Агрохимическая характеристика (A_n): содержание органического вещества – 17–22 %; рН в KCl – 5–5,9; доступные растениям соединения (в 0,2 М уксусной кислоте): азот – 98 (низкое); P_2O_5 – 87 (низкое); K_2O – 513 (среднее) кг/га. Подвижные формы (в 0,2 М HCl) P_2O_5 – 376 (среднее) и K_2O – 399 (среднее) и ZnO – 8,1 (низкое) мг/кг почвы.

Предшественник:

1. пелюшко-овсяная смесь на зеленый корм, поукосно – редька масличная на зеленый корм;

2. пелюшко-овсяная смесь на зеленый корм, поукосно – редька масличная в качестве кулисной культуры.

Способы основной обработки почвы:

1. зяблевая вспашка на глубину 20–22 см, заделываются пожнивно-корневые остатки (ПКО) – фон 1;

2. дискование на глубину 10–12 см, заделываются пожнивно-корневые остатки – фон 2;

3. кулисная культура редьки масличной, осенняя обработка почвы не проводится. Растения редьки масличной, оставленные в зиму в качестве кулисной культуры, за зимний период отмирают. Весной, при созревании почвы, они одновременно с удобрениями заделываются в почву дискатором на глубину 10–12 см. При этом растительные остатки кулисной культуры продолжают сохранять почвозащитную функцию в виде мульчи после посева кукурузы – фон 3.

На фоне приведенных предшественников и способов основной обработки почвы исследовались различные системы удобрения (табл. 1).

Системы удобрений:

1. последствие удобрений – фон;

2. фон + NPK (базовый вариант системы удобрения). Справочные нормативы по удельному выносу элементов питания кукурузой, возделываемой на минеральных почвах на зерно, вызывают большие сомнения [5, 6]. Поэтому в исследованиях применялись дозы, рекомендуемые для получения урожайности зеленой массы кукурузы 600 ц/га на минеральных почвах без внесения органических удобрений. Доза азота рассчитана на возмещение выноса, а фосфорных – 150 и ка-

ля – 130 % к выносу с планируемой урожайностью с учетом повышения плодородия почвы;

3. фон + NPK. Доза азота равна выносу с урожаем и корректируется с учетом содержания азота мин. в почве. По фосфору и калию дозы рассчитаны на возмещение выноса с планируемой урожайностью + 10 % сверх выноса (система удобрения, сбалансированная по выносу с урожаем);

4. вариант 3 + применение микроэлементов, Экосил;

5. вариант 3 – медленнодействующие формы удобрений (МДУ + Zn).

Таблица 1

Схема применения удобрений в опыте

Система удобрений	Применение удобрений		
	основное	подкормки	
1. Последствие удобрений – фон	Без удобрений	–	
2. Фон + N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀ (базовая)	N ₆₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀	N ₆₀	N ₆₀
3. Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	N ₄₀ P ₉₀ K ₁₈₀	4–5 листьев – N ₄₅	8–10 листьев – N ₅₀
4. Вариант 3 + Адоб Цинк + Экосил	N ₄₀ P ₉₀ K ₁₈₀	N ₄₅	N ₅₀ + Zn + Экосил
5. Вариант 3 (МДУ + Zn)	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₈₀	–	N ₄₅

Агротехника возделывания кукурузы в опыте: весной, при созревании почвы, проведено дискование в 2 следа с заделкой удобрений и сидерата агрегатом БДТ-7, предпосевная обработка агрегатом АПП-4 и посев кукурузной сажалкой СКН-6. Кукуруза – гибрид Алмаз-180, норма высева – 110 тыс. всх. семян на га, ширина междурядий – 70 см. Применялись следующие формы удобрений: основное внесение – мочевина, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий. Азотные удобрения в подкормку вносились в виде мочевины при рыхлении междурядий в фазы 4–5 и 8–10 листьев. В варианте 4 в подкормку внесены микроэлемент – хелатная форма Адоб Цинк – 2 л/га в смеси с биологически активным веществом Экосил – 100 мл/га. Объем рабочего водного раствора – 200 л/га. В варианте 5 внесены комплексные медленнодействующие удобрения – NPK + Zn. Опыты закладывались в 4-кратном повторении, общая площадь делянки – 24 м² (4×6). В течение вегетации растений осуществлялся фенологический контроль за ходом их развития и фитосанитарный – за состоянием посевов, проводился учет засоренности посевов. Применяли гербициды: в фазу 2-го листа – Прима – 0,4 л/га и 6-ти листьев – Майтус – 0,5 л/га и Талант – 0,2 л/га, оценивалась эффективность их действия.

Погодные условия в годы проведения исследований существенно различались по фазам развития растений, но в целом были благоприятными для формирования высокой урожайности зерна кукурузы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние агробιοтехнологических приемов на урожайность зерна кукурузы. В результате проведенных исследований установлено (табл. 2), что на фоне последствие удобрений и пожнивно-корневых остатков редьки масличной урожайность зерна кукурузы при вспашке и дисковании почвы осенью получена одного уровня – 90,7 и 89,9 ц/га соответственно. Близкая к ним (92,0 ц/га) урожайность

зерна кукурузы получена в варианте без внесения удобрений на фоне сидерата. Дополнительное внесение базовой системы удобрений (вариант 2) обеспечило повышение урожайности зерна кукурузы на 15,0–18,5 ц/га, достигнув уровня 107,0–109,2 ц/га. В среднем по всем видам обработок почвы окупаемость 1 кг NPK базового варианта применения удобрений составила 3,1 кг зерна. Более высокие уровни урожайности (110,5–116,7 ц/га) и прибавок урожая зерна кукурузы – 19,8 (вспашка), 20,5 (кулисная культура редьки масличной) и 26,8 ц/га (дискование) в опыте получены при внесении сбалансированных по выносу элементов питания доз удобрений (вариант 3). При этом средняя по всем способам обработки почвы окупаемость 1 кг NPK составляет 5,5 кг зерна, что в 1,8 раза выше, чем при базовой системе удобрений. В целом урожайность зерна при внесении удобрений на фоне дискования и кулисной культуры не ниже, чем при вспашке.

Таблица 2

Эффективность применения различных агробιοтехнологических приемов при возделывании кукурузы на зерно (14 % влажности)

Система удобрения	Урожайность, ц/га				Оплата 1 кг NPK, кг зерна
	2011 г.	2012 г.	среднее за 2 года	прибавка к фону	
<i>Зяблевая вспашка, последствие пожнивно-корневых остатков – фон 1 (базовый вариант технологий)</i>					
1. Без удобрений	89,1	92,3	90,7	–	–
2. N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀	94,9	123,4	109,2	18,5	3,3
3. N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	114,6	106,4	110,5	19,8	4,9
4. N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀ + Zn, Экосил	98,4	126,6	112,5	21,8	–
HCP ₀₅ , ц/га	5,2	6,8	–	–	–
<i>Дискование (10–12 см), последствие пожнивно-корневых остатков – фон 2 (ресурсосберегающая технология)</i>					
1. Без удобрений	87,3	92,5	89,9	–	–
2. N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀	94,9	119,4	107,2	17,5	3,2
3. N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	114,6	118,7	116,7	26,8	6,6
4. N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀ + Zn, Экосил	98,4	127,9	113,2	23,9	–
HCP ₀₅ , ц/га	6,1	5,4	–	–	–
<i>Дискование (10–12 см), последствие сидерата в виде кулисной культуры редьки масличной – фон 3 (почвозащитная технология)</i>					
1. Без удобрений	90,6	93,3	92,0	–	–
2. N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀	112,7	101,2	107,0	15,0	2,7
3. N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	119,3	105,6	112,5	20,5	5,1
4. N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀ + Zn, Экосил	114,4	104,2	109,3	17,3	–
5. Вариант 3 (МДУ + Zn)	124,3	110,1	117,2	25,2	–
HCP ₀₅ , ц/га	5,8	5,1	–	–	–

В опытах при возделывании кукурузы на зеленую массу отмечалась высокая эффективность применения цинка и Экосила. В связи с сильным загущением посева кукурузы влияние применения микроудобрений и Экосила на повышение урожайности зерна в сравнении с вариантом (3) в опыте не выявлено. В этом варианте системы удобрения образовались мощные початки кукурузы с большим

потенциалом зерновой продуктивности, но сильное развитие листостебельной массы негативно сказалось на опылении и образовании зерна в початках. Перспективным вариантом системы удобрения кукурузы, возделываемой на зерно, может быть использование медленнодействующей формы комплексного удобрения с добавлением цинка.

В заключение следует отметить, что при возделывании кукурузы на зерно посев в опыте оказался загущенным (10–11 растений на 1 пог. м). Вероятно, при оптимальной обеспеченности минеральным питанием растений для большей реализации генетического потенциала кукурузы на зерно и применения агротехнических приемов необходимо создавать хорошие условия для опыления и оплодотворения початков, густота посева должна составить 80–90 тыс. шт./га, т.е. высевать реже, чем для выращивания на зеленую массу.

Вынос элементов минерального питания кукурузой в зависимости от агротехнических приемов ее возделывания.

В интенсивных системах земледелия ставится задача получать не только высокие и устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур хорошего качества, но и создавать условия для расширенного воспроизводства плодородия почв. Для обоснования более эффективных уровней применения удобрений и целенаправленного регулирования почвенного плодородия в современных условиях используется балансовый метод определения их оптимальных доз, который основан на количественных нормативах общего и удельного выноса основных элементов питания с урожаем. При возделывании кукурузы на зерно на дерново-подзолистых почвах для расчета доз удобрений рекомендуется использовать норматив выноса в расчете на 1 т зерна стандартной влажности: N – 30,2; P₂O₅ – 13,3; K₂O – 27,6 кг [5, 6] или N – 20, P₂O₅ – 7, K₂O – 10 кг [7, 8]. Как видно, приведенные нормативы источников существенно различаются. В то же время следует отметить, что подобные исследования на антропогенно-преобразованных торфяных почвах Беларуси не проводились. В связи с вышеизложенным вытекает необходимость оценить влияние способов основной обработки почвы, а главное – систем применения удобрений и сидерата на общий и удельный вынос элементов минерального питания с урожаем и возврат их с листостебельной массой кукурузы, возделываемой на зерно на антропогенно-преобразованных торфяных почвах Полесья.

Систематизация и анализ приведенных в табл. 3 результатов исследований показывает, что изучаемые системы удобрения и предшественники основных культур (заделка пожнивно-корневых остатков и сидератов) оказали различное влияние на накопление надземной сухой биомассы и хозяйственный вынос элементов питания с урожаем кукурузы. В зависимости от приемов возделывания кукурузы накопление сухой биомассы колеблется в пределах от 129,2 – без внесения удобрений до 166,5 – при внесении сбалансированных с выносом урожаем доз удобрений. При всех способах обработки почвы и видах предшественника уровни накопления биомассы кукурузы на фоне базовой системы применения удобрений (вариант 2) ниже, чем при применении сбалансированной с выносом урожаем элементов питания (вариант 3) 150,0 и 161,8 ц/га соответственно или на 11,8 ц/га меньше. Важно отметить, что по всем исследуемым вариантам технологий возделывания кукурузы долевое участие листостебельной в общем объеме биомассы изменяется незначительно (колебания от 38 до 43 %), а в среднем составляет 40 %. При уборке кукурузы на зерно в почву поступает 5,8 т/га органической массы при базовой и 6,5 т/га – при сбалансированной системе удобрений.

Таблица 3

Вынос элементов питания кукурузой (14 % влажности), возделываемой на зерно (среднее за 2 года)

Система удобрения	Урожайность сухой массы, ц/га		Вынос с зерном, кг/га			Вынос с листостебельной массой, кг/га			Общий вынос, кг/га			Удельный вынос, кг/т зерна (14 % влажность)		
	зерно	л/ст*	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Зяблевая вспашка, последнее поле пожнивно-корневых остатков – фон 1 (базовый вариант технологий)														
1. Без удобрения	78,0	53,4	123	49	35	61	10	174	184	59	209	20,3	6,5	23,0
2. N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀	91,2	59,1	146	57	38	60	9	190	206	73	228	18,9	6,7	20,9
3. N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	91,7	64,5	143	55	41	69	17	204	212	72	245	19,2	6,5	22,2
4. Вариант 3 + Zn, Экосил	93,9	69,5	161	62	42	75	11,0	227	236	73	269	21,0	6,5	23,9
Дискование (10–12 см), последнее поле пожнивно-корневых остатков – фон 2 (ресурсосберегающая технология)														
1. Без удобрения	77,4	51,8	111	45	33	59	12	120	170	57	153	18,9	6,3	17,0
2. N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀	92,2	56,9	136	55	39	63	14	156	199	69	195	18,6	6,4	18,2
3. N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	100,4	66,1	155	64	44	59	15	192	214	79	236	18,3	6,8	20,2
4. Вариант 3 + Zn, Экосил	97,3	62,5	139	61	41	66	14	162	205	75	203	18,1	6,6	17,9
Дискование (10–12 см), последнее поле сидерата в виде кулпной культуры редьки масличной – фон 3 (почвозащитная технология)														
1. Без удобрения	79,1	50,4	118	51	36	48	7	176	166	58	212	18,0	6,3	23,0
2. N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀	92,0	58,4	139	59	40	53	11	195	192	70	235	17,9	6,5	22,0
3. N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	96,5	66,1	150	60	41	54	10	226	204	70	267	18,1	6,2	23,7
4. Вариант 3 + Zn, Экосил	94,0	60,9	156	59	42	72	10	214	228	69	256	20,9	6,3	23,4
5. Вариант 3 (МДУ+ Zn)	100,8	66,1	159	65	44	73	16	241	232	81	285	19,8	6,9	24,3
Среднее по опыту	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

*Листостебельная масса.

При внесении удобрений хозяйственный вынос с биомассой растений колеблется в пределах от 199 – до 232 кг/га азота, 69–81 – оксидов фосфора и 195–285 кг/га – калия. Более высокие значения хозяйственного выноса, особенно азота и калия, характерны для посевов кукурузы, возделываемой на фоне сидерата, а меньшие – при базовой системе удобрения. Долевое участие хозяйственного выноса элементов питания с листостебельной массой в общем объеме биомассы по исследуемым вариантам опыта изменяется несущественно и в среднем составляет по азоту –16, оксидов фосфора –19 и калия – 83 %. Таким образом, при средней урожайности зерна кукурузы около 11 т/га (14 % влажности) в почву поступает около 6,5 т/га органической массы и с ней 65 кг/га азота, 12 – оксида фосфора и 207 кг/га – калия.

Приведенные в табл. 3 данные также показывают, что удельный вынос элементов питания в расчете на тонну зерна стандартной влажности с учетом побочной продукции является величиной достаточно устойчивой, по вариантам опыта изменяется несущественно и в среднем составляет: N – 19,1; P₂O₅ – 6,5 и K₂O – 21,5 кг/т зерна. Этот показатель можно принять за норматив выноса элементов минерального питания кукурузой, возделываемой на зерно на антропогенно-преобразованных торфяных почвах. Он по азоту и фосфору близок к нормативу, предложенному рядом белорусских и зарубежных авторов [7] для дерново-подзолистых почв и превышает по калию, что характерно для агроторфяных почв.

ВЫВОДЫ

1. Применение базовой системы удобрений N₁₈₀P₁₃₅K₂₄₀ на фоне зяблевой вспашки, поверхностного дискования и сидерата в виде кулисной культуры обеспечивает близкую урожайность зерна кукурузы 107,0–109,2 ц/га. Более высокие уровни урожайности (110,5–116,7 ц/га) и прибавок урожая зерна – 19,8 (вспашка), 20,5 (кулисная культура редьки масличной) и 26,8 ц/га (дискование) в опыте получены при внесении сбалансированных по выносу элементов питания доз удобрений – N₁₃₅P₉₀K₁₈₀.

2. В среднем по всем способам обработок почвы и видам предшественника окупаемость 1 кг NPK базового варианта системы применения удобрений составила 3,1 кг зерна. При внесении же сбалансированных по выносу элементов питания доз удобрений средняя окупаемость 1 кг NPK повышается до 5,5 кг зерна, что в 1,8 раза выше, чем при базовой системе удобрений.

3. При всех способах обработки почвы и видах предшественника уровни накопления биомассы кукурузы на фоне базовой системы применения удобрений ниже, чем при применении сбалансированной с выносом урожаем элементов питания: 150,0 и 161,8 ц/га соответственно. По всем исследуемым вариантам технологий возделывания кукурузы долевое участие листостебельной в общем объеме биомассы изменяется несущественно и в среднем составляет 40 %.

4. При внесении удобрений хозяйственный вынос с биомассой растений колеблется в пределах от 199 – до 232 кг/га азота, 69–81 – оксидов фосфора и 195–285 кг/га – калия. Долевое участие хозяйственного выноса элементов питания с листостебельной в общем объеме выноса с биомассой по исследуемым вариантам опыта изменяется несущественно и в среднем составляет по азоту – 16 %, оксидов фосфора – 19 и калия – 83 %. При средней урожайности зерна кукурузы

около 11 т/га (14 % влажности) в почву поступает около 6,5 т/га органической массы, 65 кг/га азота, 12 – оксида фосфора и 207 – кг/га калия.

По всем способам обработок почвы, видам предшественника и системам удобрения удельный вынос элементов питания изменяется несущественно и в среднем по опыту составляет: N – 19,1; P₂O₅ – 6,5 и K₂O – 21,5 кг/т зерна. Этот показатель можно использовать в качестве норматива удельного выноса элементов питания при расчете доз удобрений на планируемую урожайность зерна кукурузы, возделываемой на антропогенно-преобразованных торфяных почвах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие; под ред. Г.И. Кузнецова, Н.И. Смеяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.
2. *Иващенко, А.И.* В Любанском районе прописалась зерновая технология выращивания кукурузы / А.И. Иващенко // Белорусское сельское хозяйство. – 2008. – № 3.– С. 46–51.
3. Программа мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв в Республике Беларусь на 2011–2015 гг. / В.Г. Гусаков [и др.]; под ред. В.Г. Гусакова. – НАН Беларуси, МСХП РБ, Госкомимущества, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 106 с.
4. Национальный доклад о состоянии, использовании и охране земельных ресурсов (по сост. на 1 янв. 2011 г.) / Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь; под ред. Г.И. Кузнецова. – Минск: РУП «БелНИЦзем», 2011 – 184 с.
5. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 390 с.
6. Система применения удобрений: учеб. пособие для студентов учреждений высшего образования по специальностям «Агрохимия и почвоведение», «Защита растений и карантин» / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Гродно: Гродненский государственный аграрный университет, 2011. – 18 с.
7. *Шпаар, Д.* Кукуруза / Д. Шпаар, В.Н. Шлапунов, А. Постников. – Минск: ФУАинформ, 1999. – 192 с.
8. Технология и техническое обеспечение возделывания и заготовки кормов из кукурузы / Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сб. отраслевых регламентов. – Минск, 2012. – С. 23–75.

THE INFLUENCE THE SYSTEMS OF FERTILIZERS AND OTHER AGROBIOTECHNOLOGIES METHODS ON GRAIN YIELD AND NUTRIENT REMOVAL BY CORN GROWN ON ANTHROPOGENICALLY TRANSFORMED PEAT SOILS OF POLESYE REGION

N.N. Semenenko, E.V. Karankevich

Summary

The results the impact influence of the predecessor in the form of oil radish for green feed and siderat, methods of basic processing of anthropogenic-transformed peat soils

and fertilizer systems on the yield of corn grain and the removal of elements of mineral nutrition in the soil–fertilizer–plant system are presented of the article. The standard of specific removal of nutrients in the calculation of fertilizer doses on the planned yield of corn grown on anthropogenic-transformed peat soils is proposed.

Поступила 13.03.2018

УДК 631.445.2:633.15:632.118.3

ВЛИЯНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{90}Sr РАСТЕНИЯМИ КУКУРУЗЫ

Ю.В. Путятин, И.М. Богдевич, Н.В. Сидорейко, П.С. Манько

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

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время радиозэкологическая обстановка в Беларуси определяется действием долгоживущих изотопов. Среди них – ^{90}Sr с периодом полураспада 28,7 лет. Среди физико-химических свойств почв, влияющих на накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениях, нужно отметить гранулометрический состав, емкость поглощения и состав катионов, концентрацию обменного калия и кальция, минералогический состав и другие факторы внешней среды [1–5]. Физико-химическое состояние радионуклидов в почве и, в первую очередь, количество их мобильных форм являются определяющим фактором в процессах миграции радиоцезия и радиостронция в почвенном профиле и по биологическим цепочкам. ^{90}Sr сорбируется твердой фазой почвы значительно слабее, чем ^{137}Cs [6]. По сравнению с ^{137}Cs , у которого доля фиксированной фракции составляет 83–98 % от валового содержания в почве, содержание ^{90}Sr в прочносвязанной форме не превышает 7–12 % [7].

Высокая степень подвижности ^{90}Sr в почве определяет высокие коэффициенты перехода радиоизотопа из почвы в растения, которые в среднем на порядок выше, чем у ^{137}Cs [8]. По энергии адсорбируемости атомы Sr в лиотропном ряду занимают промежуточное место между Ba^{2+} и Ca^{2+} , и, соответственно, энергия сорбции атомов ^{90}Sr и Ca почвенными коллоидами (анионами кристаллической решетки глинистых минералов и органическими соединениями) неодинакова [20]. Корневое поглощение радионуклидов из почвенного раствора является процессом, контролируемым физиологией растения. Транспорт Ca осуществляется преимущественно в апопласте путем свободной диффузии, ускоряемой транспирацией, в объеме клеточной стенки, где часть ионов находится в растворе, идентичном внешнему почвенному раствору [9].

С момента аварии в загрязненных районах Беларуси обеспечивался достаточно высокий уровень проведения защитных мер, в том числе известкование

кислых почв, внесение повышенных доз фосфорных и калийных удобрений, соответствующий практически 100 % от потребности. Средневзвешенные значения рН загрязненных пахотных почв в настоящее время превышают доаварийные показатели на 0,27 единиц по Гомельской и на 0,40 по Могилевской области. В ряде районов доля почв с близкой к нейтральной реакцией ($pH_{(KCl)} > 6,5$) достигает 41 %. Средневзвешенное содержание подвижных форм калия в пахотных почвах, загрязненных радионуклидами, за послеаварийный период повысилось в Гомельской, Могилевской и Брестской областях – на 64, 36 и 23 мг K_2O / кг почвы соответственно. Аналогичная ситуация наблюдается с обеспеченностью загрязненных почв подвижными фосфатами, содержание которых возросло в Гомельской и Могилевской области соответственно на 57 и 29 мг P_2O_5 на кг почвы. В настоящее время средневзвешенное содержание подвижных фосфатов на загрязненной пашне превышает средний республиканский уровень на 20–30 %. Однако, наблюдаются большие различия в обеспеченности фосфором и калием, степени кислотности почв по полям севооборотов и рабочим участкам [10, 11]. Имеют место случаи превышения допустимых уровней содержания ^{90}Sr в продукции кормовых культур.

В последние годы в республике ведущей кормовой культурой стала кукуруза, возделываемая на зерно и силос. Под кукурузу теперь отводится до 1 млн гектар или до 18 % посевной площади. В зоне радиоактивного загрязнения белорусского Полесья доля кукурузы в посевах ещё выше и достигает 25–30 %.

Цель исследований – установить количественные параметры зависимости накопления ^{90}Sr в растениях кукурузы от агрохимических свойств дерново-подзолистых супесчаных почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Маршрутные исследования проводились в 2014–2016 гг. путём отбора проб кукурузы в фазу молочно-восковой спелости и сопряжённых образцов почв в производственных посевах Хойникского и Брагинского районов Гомельской области методом учетных площадок на дерново-подзолистых супесчаных почвах. Почвенные образцы отбирались из пахотного слоя (0–20 см). Все измерения удельной активности ^{90}Sr в растительных образцах (Бк/кг) пересчитывались на стандартную влажность 75 %.

Агрохимические показатели почв определяли по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (0,4 н $K_2Cr_2O_7$ – ГОСТ 26213-91), обменную кислотность – $pH_{(KCl)}$ потенциометрическим методом (1 М KCl – ГОСТ 26483-85), содержание подвижных форм фосфора и калия – по Кирсанову (0,2 М HCl – ГОСТ 26207-91), обменных форм кальция и магния – на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS-30 (1 М KCl – ГОСТ 26487-85).

Содержание ^{90}Sr оценивали по дочернему продукту распада ^{90}Y после проведения радиохимической очистки от мешающих радионуклидов оксалатным методом с последующим измерением на пластиковом сцинтилляционном детекторе спектрометра-радиометра «Прогресс-БГ». Выход носителя иттрия определяли гравиметрическим методом, выход носителя стронция – на атомно-абсорбционном спектрофотометре [12]. Статистическая погрешность измерений не превышала 15 %.

Коэффициенты перехода (Кп) радионуклида ^{90}Sr из почвы в растения рассчитывались по формуле:

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

где A_p – удельная активность радионуклида в растении (Бк/кг); A_s – плотность загрязнения почвы радионуклидом (кБк/м²).

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

В Беларуси вегетационные периоды с показателями ГТК (гидротермический коэффициент - условный показатель увлажнения по Селянинову) характеризуются: от 0,2 до 0,4 – сухие; от 0,4 до 0,7 – очень засушливые; от 0,7 до 1,0 – засушливые, от 1,0 до 1,3 – слабозасушливые, 1,3–1,6 – оптимальные, а больше 1,6 – влажные [21]. Погодные условия в годы исследований можно охарактеризовать как засушливые. ГТК по данным Брагинской метеостанции составили в 2014 г. – 1,0, в 2015 – 0,7 и в 2016 г. – 1,0. Усредненные коэффициенты перехода ^{90}Sr в зеленую массу кукурузы в 2014 г. составили 1,09 (медиана – 1,01), в 2015 г. – 1,57 (медиана – 1,19) и в 2016 г. – 1,51 (медиана – 1,10). Вегетационный период 2015 года характеризовался меньшим количеством осадков по сравнению с 2014 и 2016 годами, что в некоторой степени вызвало повышенное накопление ^{90}Sr растениями кукурузы в 2015 году.

Несмотря на то что химический состав растений контролируется генетически, уровень минерального питания оказывает существенное влияние на содержание в них элементов питания. При этом более значительные изменения химического состава в зависимости от условий питания характерны для вегетативных органов, нежели для репродуктивных. Корреляционный анализ показал достаточно тесную отрицательную взаимосвязь (r) между агрохимическими показателями дерново-подзолистой супесчаной почвы и коэффициентами перехода (Кп) ^{90}Sr в растения кукурузы. Наиболее тесная отрицательная взаимосвязь Кп ^{90}Sr была отмечена с содержанием в почве обменного кальция (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции (r) между агрохимическими показателями дерново-подзолистой супесчаной почвы и коэффициентами перехода (Кп) ^{90}Sr в растения кукурузы (2014–2016 гг.)

Год	Гумус, %	рН _(КС)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
			мг/кг почвы			
<i>r</i>						
2014	–0,53	–0,72	–0,63	–0,63	–0,72	–0,42
2015	–0,54	–0,76	–0,63	–0,44	–0,78	–0,52
2016	–0,76	–0,44	–0,57	–0,56	–0,70	–0,49

Важным показателем, определяющим миграционную способность радионуклидов, является содержание в почвенном компоненте органического вещества. Органическое вещество почвы способно образовывать сложные комплексные соединения с поллютантами, поэтому в почвах с высоким содержанием гумуса они менее доступны для растений. Гумус объединяет комплекс или группу химических веществ, в состав которых входит как органическая часть (гуминовые и фульвокислоты), так и неорганическая составляющая – химические элементы неорганического происхождения [13]. Органическая часть гумуса – гуминовые кислоты, обладают высокой сорбционной емкостью по отношению к рудным элементам, а также изотопным носителям долгоживущих радионуклидов: 1 г гуминовых кислот сорбирует 30 мг цезия, 18 мг стронция. В связи с этим гуминовые кислоты выступают как эффективный геохимический барьер, ограничивающий подвижность ионов радионуклидов [14].

В наших исследованиях зависимость перехода ^{90}Sr в растения кукурузы от содержания гумуса в почве удовлетворительно описывалась вогнутой параболой второго порядка ($R^2 = 0,38-0,81$). Содержание гумуса, при котором отмечено минимальное накопление ^{90}Sr , составило 3,0 % и находилось в пределах 2,7–3,3 %, наиболее заметное снижение поступления наблюдается до 2,7 % (табл. 2, рис. 1). Полученные значения близки к верхнему уровню диапазона оптимального содержания гумуса для дерново-подзолистых связносупесчаных почв, который установлен в пределах 2,4–2,8 % [10].

Таблица 2

Параметры агрохимических показателей дерново-подзолистых супесчаных почв, обеспечивающие минимальное поступление ^{90}Sr (Кп) в зеленую массу кукурузы

Агрохимический показатель	Значение минимума		Величина аппроксимации (R^2) Кп ^{90}Sr и агрохимических показателей	
	среднее	интервал	среднее	интервал
Гумус, %	3,0	2,7–3,3	0,53	0,38–0,81
pH _(KCl)	6,7	6,1–7,0	0,55	0,41–0,64
P ₂ O ₅ , мг/кг почвы	691	654–721	0,49	0,43–0,53
Ca, мг/кг почвы	1236	1014–1407	0,72	0,66–0,78
Mg, мг/кг почвы	246	185–330	0,37	0,30–0,48

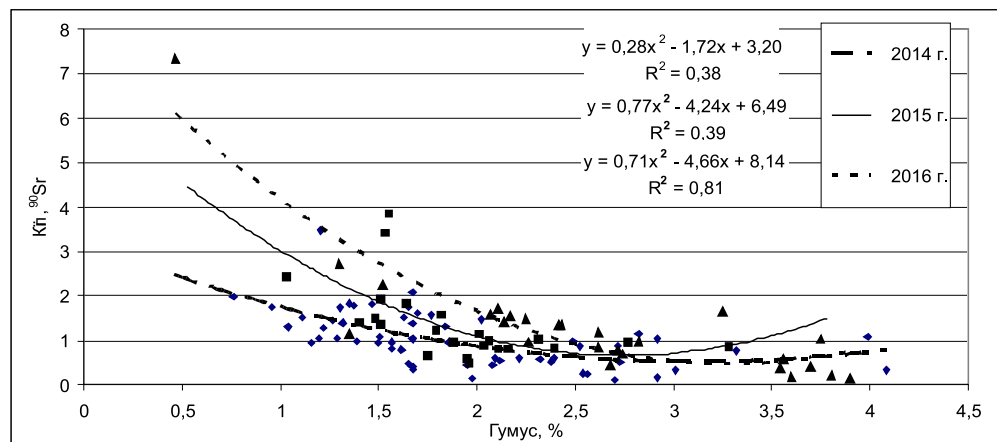


Рис. 1. Коэффициенты перехода (Кп) ^{90}Sr в зеленую массу кукурузы в зависимости от содержания гумуса в дерново-подзолистых супесчаных почвах

При нейтрализации кислотности почв и повышении показателя pH радионуклиды могут переходить из ионной формы в различные гидролизные комплексные соединения, что снижает их доступность для растений. Кислотность оказывает и косвенное влияние на сорбцию почвами радионуклидов, изменяя емкость катионного обмена [15, 16]. Оптимальные параметры показателя pH для основных культур, возделываемых на дерново-подзолистых связносупесчаных почвах Беларуси, установлены в интервале 5,8–6,5 [10].

В наших исследованиях минимальное накопление ^{90}Sr растениями кукурузы имело место при значении pH, которое в среднем за три года составило 6,7 и варьировало в пределах 6,1–7,0. Однако, заметное снижение поступления ^{90}Sr в растения кукурузы наблюдается при нейтрализации кислотности от сильнокислого интервала до pH 6,0 (рис. 2, табл. 2). Рассчитано, что увеличение $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ почвы на 0,1 единицы в интервале 5,0–6,0 вызывает уменьшение накопления ^{90}Sr кукурузой на 3,5 %.

Экспериментально установлено на ряде культур, что абсолютное, минимальное накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческой продукции достигается при дальнейшем сдвиге реакции почв на 0,2–0,3 единицы pH в сторону щелочного диапазона [11]. Однако, снижение накопления радионуклидов, которым можно пренебречь, в растениях в нейтральном и щелочном диапазонах незначительно. В нейтральном и щелочном диапазонах заметно снижается доступность растениям некоторых микроэлементов (Mn, Cu, Zn). Поэтому дозы извести на загрязненных радионуклидами почвах определены для достижения оптимальных диапазонов кислотности почв из расчета на максимальную урожайность возделываемых культур [8].

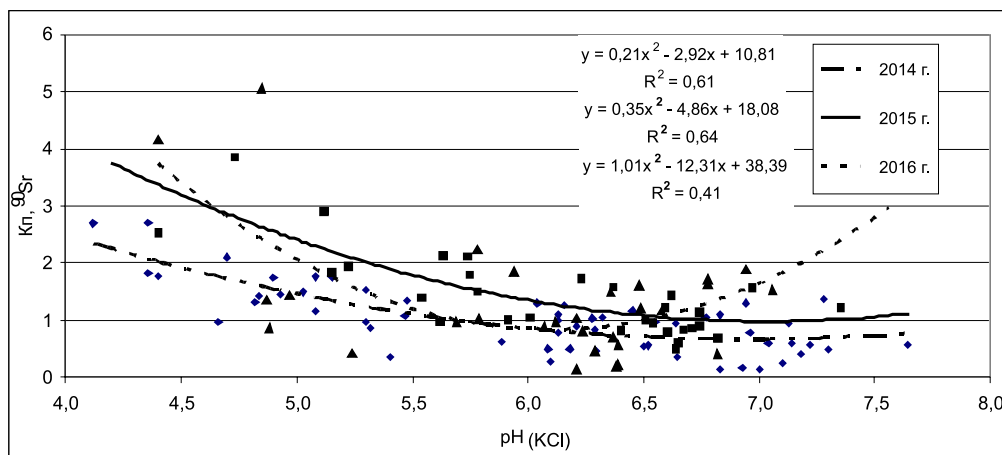


Рис. 2. Коэффициенты перехода (K_p) ^{90}Sr в зеленую массу кукурузы в зависимости от обменной кислотности дерново-подзолистых супесчаных почвах

Положительная роль известкования многогранна и не сводится к изменению реакции почвы. Важный механизм влияния извести на рост растений состоит в изменении ионного состава и концентрации элементов питания в почвенном растворе и поглощающем комплексе. Из многих показателей почвы, влияющих на размеры поступления ^{90}Sr в растения, наиболее информативным является её обеспеченность обменным кальцием, который, как известно, по своим химическим свойствам весьма близок к радиоактивному стронцию [18]. Наши исследования в производственных посевах кукурузы показали, что повышение содержания обменного каль-

ция в почве способствовало снижению содержания ^{90}Sr в урожае зеленой массы кукурузы. При увеличении содержания обменного кальция в почве на 100 мг/кг в интервале 500–1000 мг/кг содержание ^{90}Sr снижалось в среднем на 8,7 % (рис. 4).

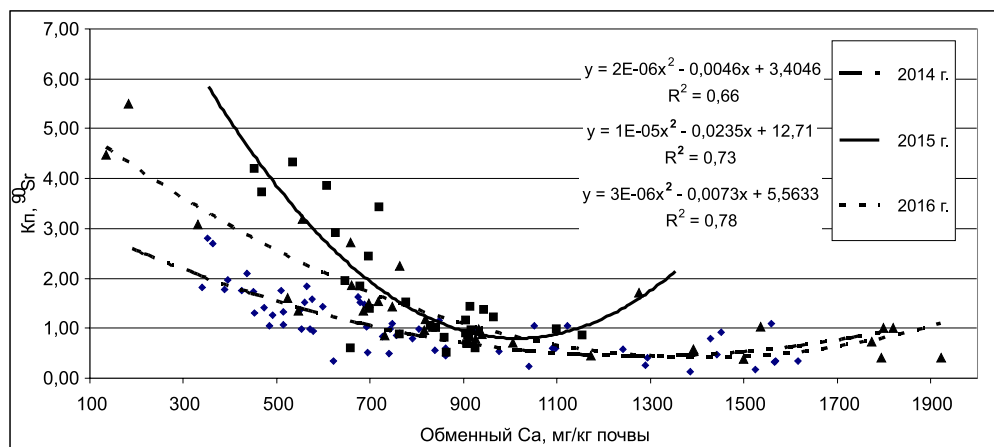


Рис. 3. Коэффициенты перехода (K_p) ^{90}Sr в зеленую массу кукурузы в зависимости от содержания обменного кальция в дерново-подзолистых супесчаных почвах

Накопление ^{90}Sr в зеленой массе кукурузы характеризуется наиболее тесной коррелятивной связью с концентрацией обменного кальция в почве ($R^2 = 0,66–0,78$). Среднее содержание обменного Ca, при котором отмечено минимальное накопление ^{90}Sr зеленой массой кукурузы, соответствует 1236 мг/кг почвы и варьирует по годам в пределах 1014–1407 мг/кг (рис. 3, табл. 2). Согласно градам по содержанию обменного кальция минеральные почвы Республики Беларусь подразделяются на очень низко обеспеченные (менее 285 мг/кг), низко обеспеченные (286–570 мг/кг), среднеобеспеченные (571–850 мг/кг), с повышенным содержанием (851–1140 мг/кг), высоко обеспеченные (1141–1420 мг/кг) и очень высоко обеспеченные (более 1420 мг/кг) [19].

Нейтрализация кислотности доломитовой мукой сопровождается увеличением в почве содержания обменных форм магния, который по своим химическим свойствам близок к кальцию. По результатам маршрутных исследований величина содержания обменного магния, при котором отмечается минимальное накопление ^{90}Sr кукурузой, составило 246 (185–330) мг/кг в пересчете на элемент. По сравнению с кальцием величины достоверности аппроксимации (R^2) были значительно ниже и составили 0,37 (0,30–0,48) (табл. 2, рис. 4).

Известно, что высокие дозы фосфорных удобрений способны уменьшать поглощение растениями токсических концентраций как тяжелых металлов, так и ^{137}Cs и ^{90}Sr [17, 22]. Значительное уменьшение перехода ^{90}Sr из почвы в растительную продукцию связано с образованием в почве нерастворимых фосфатов стронция.

Однако, в научной литературе крайне мало данных о переходе радионуклидов в продукцию сельскохозяйственных культур на почвах с различной обеспеченностью фосфатами. В условиях производства содержание подвижных форм фосфора в дерново-подзолистых почвах Гомельской области по полям и участкам различаются более чем на порядок, P_2O_5 от 50 до 1000 мг/кг [10].

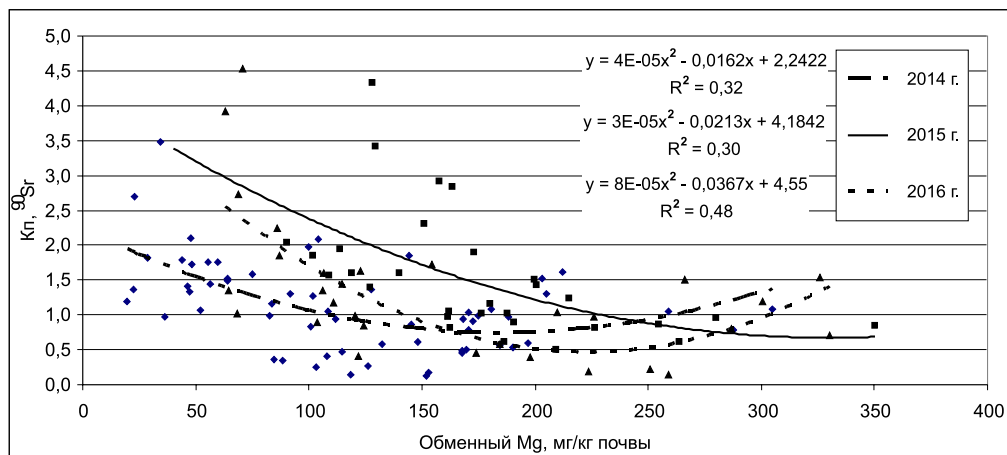


Рис. 4. Коэффициенты перехода (Кп) ^{90}Sr в зеленую массу кукурузы в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистых супесчаных почв

Актуально установление количественных параметров перехода радионуклидов в продукцию сельскохозяйственных культур в зависимости от уровня обеспеченности почвы фосфатами. В специально спланированных полевых опытах установлено, что резкое снижение перехода ^{90}Sr из почвы в зерно озимой пшеницы (в 3–4 раза) наблюдалось при повышении содержания фосфора в почве от уровня P_2O_5 50 до 250 мг/кг почвы. Минимальное накопление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в зерне яровой пшеницы наблюдалось при концентрации подвижных фосфатов в почве в пределах 300–320 мг/кг почвы [23]. В наших исследованиях расчетное минимальное накопление ^{90}Sr зеленой массой кукурузы отмечено при достаточно высоком среднем содержании подвижного фосфора – 691 мг/кг и варьировало по годам в пределах 654–721 мг/кг почвы ($R^2 = 0,43\text{--}0,53$). Наиболее интенсивное снижение поступления радионуклида в растения кукурузы наблюдалось до уровня содержания P_2O_5 500 мг/кг почвы (табл. 2, рис. 5).

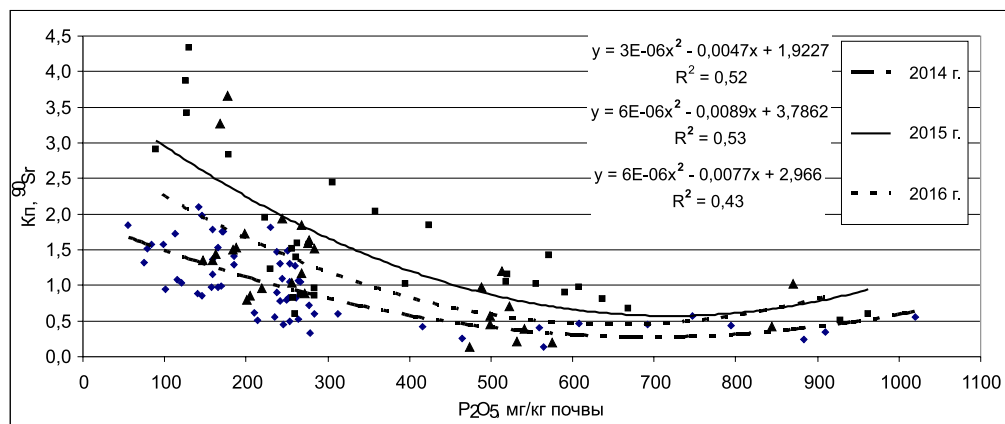


Рис. 5. Коэффициенты перехода (Кп) ^{90}Sr в зеленую массу кукурузы в зависимости от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистых супесчаных почвах

Данные показатели во многом превышают агрохимические оптимумы (200–300 мг P_2O_5 /кг почвы), установленные для дерново-подзолистых супесчаных почв. Достижение и поддержание вышеназванных значений содержания подвижных фосфатов нецелесообразно с учетом высокой стоимости фосфорных удобрений.

ВЫВОДЫ

1. В результате маршрутных исследований проведенных на дерново-подзолистых супесчаных почвах, загрязненных ^{90}Sr , установлены пределы параметров агрохимических свойств почв, при которых обеспечивается минимальное накопление ^{90}Sr растениями. Минимум биологической доступности ^{90}Sr для кукурузы, возделываемой на зеленую массу, отмечен при содержании гумуса 3,0 (2,7–3,3) %, подвижного фосфора – 691 (654–721) мг/кг, обменного кальция – 1236 (1014–1407), обменного магния – 246 (185–330) мг/кг и pH – 6,7 (6,1–7,0).

2. Эффективность насыщения почвы органическим веществом, фосфором, кальцием и магнием в дискриминации ^{90}Sr значительно выше на почвах с низкой обеспеченностью данными элементами питания растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексахин, Р.М.* Поведение ^{137}Cs в системе почва-растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожай / Р.М. Алексахин, И.Т. Моисеев, Ф.А. Тихомиров // *Агрохимия*. – 1992. – № 8. – С. 127–137.
2. *Юдинцева, Е.В.* Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия / Е.В. Юдинцева, И.В. Гулякин. – М., 1968. – 472 с.
3. Relationships between radionuclide content and textural properties in Irish sea intertidal sediments / J. Clifton [et al.] // *Water, Air and Soil Pollution*. – 1997. – Vol. 99. – P. 209–216.
4. Behaviour of radionuclides in meadows and efficiency of countermeasures / N.I. Sanzharova // *Radiation Protection Dosimetry*. – 1996. – Vol. 64, № 1/2. – P. 43–48.
5. *Twining, J.R.* Soil-water distribution coefficients and plant transfer factors for ^{134}Cs , ^{85}Sr and ^{65}Zn under field condition / J.R. Twining. – 2004. – Vol. 71, № 1. – P. 71–87.
6. *Москалев, Ю.И.* Распределение, биологическое действие и миграция радиоактивных изотопов / Ю.И. Москалев, В.Н. Стрельцова. – М., 1961. – 172 с.
7. Ликвидация последствий Чернобыльской аварии в АПК Белоруссии / Г.В. Василюк [и др.] // *Агрохимический Вестник*. – 2001. – № 3. – С. 12–16.
8. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь; под ред. И.М. Богдевича. – Минск, 2003. – 72 с.
9. White P.J. The pathways of calcium movement to the xylem / P.J. White // *Journal of Experimental Botany*. – 2001. – Vol. 52, № 358. – P. 891–899.
10. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) И.М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И.М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 275 с.

11. *Путятин, Ю.В.* Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию: монография / Ю.В. Путятин. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 255 с.
12. International Atomic Energy Agency. Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency. IAEA-TECDOC-1092. – Vienna, 1999. – 307 p.
13. *Смагин, А.И.* Экология водоемов зоны техногенной радиационной аномалии на Южном Урале / А.И. Смагин. – Пермь, 2008. – 51 с.
14. *Орлов, Д.С.* Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. – М.: Изд-во Московского ун-та, 2005. – 561 с.
15. *Алексахин, Р.М.* Поведение ^{137}Cs в системе почва–растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожай / Р.М. Алексахин, И.Т. Моисеев, Ф.А. Тихомиров // Агрохимия. – 1992. – № 8. – С. 127–132.
16. *Анненков, Б.Н.* Основы сельскохозяйственной радиологии / Б.Н. Анненков, Е.В. Юдинцева. – М.: Агропромиздат, 1991. – 287 с.
17. Проблемы применения контрмер в сельском хозяйстве Украины после аварии на Чернобыльской АЭС / Б.С. Пристер [и др.] // Вісник аграрної науки. – 1996. – № 1. – С. 78–81.
18. *Левина, Э.М.* Влияние почвообразующих минералов, удобрений и некоторых химических соединений на накопление ^{90}Sr в урожай растений: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Э.М. Левина. – М., 1979. – 18 с.
19. Агрохимические регламенты для повышения плодородия почв и эффективного использования удобрений: учеб. пособие / В.В. Лапа [и др.]. – Горки: БГСХА, 2002. – 48 с.
20. *Поляков, Ю.А.* Радиозэкология и дезактивация почв / Ю.А. Поляков. – М.: Атомиздат, 1970. – 304 с.
21. *Мельник В.И.* Агроклиматические ресурсы Белорусской ССР / В.И. Мельник, М.А. Гольберг. – Минск, 1985. – 450 с.
22. *Nisbet, A.F.* Soil-to-plant transfer factors for radiocaesium and radiostrontium in agricultural systems / A.F. Nisbet, F.M. Woodman // Health Physics. – 2000. – Vol. 78, № 3. – P. 279–288.
23. *Bogdevitch I.* Yield and quality of spring wheat grain in relation to P-status of Luvisol loamy sand soil and fertilization / I. Bogdevitch, V. Mikulich // Agricultural sciences. – 2008. – № 4. – P. 47–54.

INFLUENCE OF AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOD-PODZOLIC SANDY SOIL ON ^{90}SR ACCUMULATION BY CORN PLANTS

Yu.V. Putyatin, I.M. Bogdevitch, N.V. Sidoreiko, P.S. Manko

Summary

The close negative nonlinear correlations have been found between indexes of soil fertility and ^{90}Sr accumulation by corn in field experiments conducted on sod-podzolic loamy sand soils. The effectiveness of soil saturation with organic matter, phosphorus, calcium and magnesium in ^{90}Sr discrimination is much higher on soils with low supply of these nutrients for plants.

Поступила 07.05.18

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК ЖИДКИМИ МИКРОУДОБРЕНИЯМИ МИКРОСТИМ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

**М.В. Рак, С.А. Титова, Е.Н. Пукалова, Т.Г. Николаева,
А.В. Юхновец, Ю.А. Артюх**

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

ВВЕДЕНИЕ

Существенное влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур, величину и качество урожая оказывает поступление в период вегетации доступных форм микроэлементов. Необходимость применения микроудобрений при возделывании сельскохозяйственных культур обусловлена недостаточным содержанием подвижных форм ряда микроэлементов в почвах республики и большими размерами выноса микроэлементов с урожаем. Низкое содержание подвижных форм ряда микроэлементов в почвах Беларуси обуславливает недостаточное их содержание в растениеводческой продукции, поэтому проблема оптимизации питания растений микроэлементами особенно актуальна [1].

Микроэлементы потребляются растениями в малых количествах, но играют важную роль в их жизнедеятельности [2]. Известно, что для каждой культуры имеются определенные микроэлементы, недостаток или избыток которых в питании вызывает стрессовое состояние растений и значительно снижает их продуктивность [3]. Они улучшают обмен веществ в растениях, устраняют его функциональные нарушения, содействуют нормальному течению физиологических, биохимических процессов [4]. Установлено, что на почвах с низким содержанием микроэлементов внесение микроудобрений может повысить урожайность на 10–15 % и более [5].

Наиболее доступной формой для растений являются микроудобрения в хелатной или органо-минеральной форме. Эти микроудобрения технологичны в применении и обладают биологической активностью, поэтому быстрее включаются в физиологические процессы в растениях [9]. Установлено, что хелаты микроэлементов в меньших дозах, чем минеральные соли (в эквиваленте по микроэлементам) обеспечивают равные прибавки урожайности основных сельскохозяйственных культур [10]. Большое значение имеет также использование регуляторов роста природного происхождения (гуматы, экосил и др.), поскольку они легко включаются в метаболизм растений и повышают их продуктивность [11].

В лаборатории микроэлементов Института почвоведения и агрохимии разработаны и зарегистрированы различные марки жидких микроудобрений с биостимулятором МикроСтим, содержащие хелаты металлоэлементов и регулятор роста гидрогумат. Применение микроудобрений МикроСтим позволяет обеспечить растения микроэлементами, стимулировать рост и развитие в период вегетации [12].

Цель исследований – определить влияние некорневых подкормок жидкими микроудобрениями МикроСтим на урожайность и качество сельскохозяйственных культур, возделываемых на дерново-подзолистых почвах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению эффективности некорневых подкормок жидкими микроудобрениями МикроСтим озимой пшеницы Кубус, яровой пшеницы Рассвет проводили в 2008, 2010–2011 гг. в полевых опытах в СПК «Щомыслица» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH_{KCl} 5,68–6,48, содержание гумуса – 1,89–2,25 %, P_2O_5 – 192–390, K_2O – 200–331, Cu – 1,21–1,93, $Mn_{обм}$ – 1,88–3,54, Zn – 1,4–2,74 мг/кг почвы. Площадь деланки – 25 м², повторность опыта – 3-кратная.

В ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве проведены исследования с озимой пшеницей сортов Сукцес и Скаген (2016–2017 гг.) и яровой пшеницей Тома (2012–2013 гг.). Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH_{KCl} 6,25–6,44, содержание гумуса – 2,54–2,79 %, P_2O_5 – 493–614, K_2O – 408–435, $Mn_{подв}$ – 35,6–51,9, Cu – 2,36–2,74, B – 1,0–3,06, Zn – 3,37–4,51 мг/кг почвы. Площадь деланки – 25 м², повторность опыта – 3-х кратная.

В 2006, 2008–2016 гг. полевые опыты с озимой пшеницей Тонация и Богатка, льном масличным Сонечны, картофелем Крыница, люпином узколиственным Привабны, кукурузой Дельфин и люцерной Плато проводили в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района на дерново-подзолистой супесчаной почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH_{KCl} 5,8–6,27, содержание гумуса – 1,93–3,03 %, P_2O_5 – 147–235, K_2O – 225–358, Cu – 1,48–2,32, $Mn_{обм}$ – 1,0–1,73, B – 0,2–1,22, Zn – 2,22–2,8 мг/кг почвы. Площадь деланки озимой пшеницы – 25 м², льна масличного – 12 м², повторность – 4-кратная, картофеля – 28 м², люпина узколистного – 18 м², кукурузы – 28 м², люцерны – 36 м², повторность опытов – 3-кратная.

В экспериментальной базе «Устье» Оршанского района Витебской области исследования со льном долгунцом сорта Е-68 (2006–2008 гг.) проводили на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH_{KCl} 5,2–5,4, содержание гумуса – 2,2 %, P_2O_5 – 218, K_2O – 225, B – 0,6, Cu – 2,1, Zn – 3,2 мг/кг почвы. Полевой опыт со льном масличным Сонечны (2007–2008 гг.) проведен на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: (pH_{KCl} 5,4, содержание гумуса – 2,0 %, P_2O_5 – 164, K_2O – 148, Cu – 2,19, Zn – 3,4 мг/кг почвы). Площадь деланки – 12 м², повторность опытов – 4-кратная.

В СПК «Городея» (2009 г., 2011 г.) Несвижского района проводили исследования с сахарной свеклой Золеа на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH_{KCl} 6,9, содержание гумуса – 2,16 %, P_2O_5 – 347, K_2O – 255, Cu – 1,3, B – 0,86, Zn – 2,15 мг/кг почвы. Площадь деланки – 30 м², повторность опыта – 3-кратная.

Технология возделывания исследуемых культур – общепринятая для республики. Минеральные удобрения вносили в виде мочевины, КАС, аммофоса, супер-

фосфата аммонизированного и хлористого калия. Во время вегетации культур проводили уход за посевами, применялись средства защиты растений.

Погодные условия за годы проведения исследований значительно отличались. 2006 г. по величине гидротермического коэффициента был влажным (ГТК 1,7), а 2007 г. – наоборот, засушливым (ГТК 0,9), что оказало некоторое негативное влияние на урожайность льна. В 2008 г. для льна ГТК составил 1,3, для озимой пшеницы – 1,6, что характеризуется как оптимально влажный и теплый год. ГТК в течение вегетационного периода 2009 г. изменялся в пределах от 1,79 до 5,31, что свидетельствует о высоком избытке влаги. Вегетационный период в 2010 г. (ГТК 1,4) и 2011 г. (ГТК 1,5) был оптимальным для роста и развития растений, в 2012 г. – избыточно увлажненным (ГТК 1,67). 2013 год характеризовался более высокими температурами при количестве осадков за вегетационный период на уровне среднемноголетних показателей (ГТК 1,31), что положительно влияло на рост и развитие зерновых культур. В 2014 г. погодные условия были менее благоприятными, что обусловлено неравномерностью распределения атмосферных осадков при высоких температурах воздуха за вегетацию (ГТК-1,37). Недостаток влаги и высокая температура воздуха были отмечены в июне-июле (ГТК-1,01 и ГТК-0,43), что отрицательно сказалось на урожайности кукурузы. В 2015 году ГТК составил 0,9, что характеризуется как засушливый год. В 2016 г., наоборот, были вполне благоприятные условия (ГТК-1,46). В 2017 г. вегетационный период характеризовался неравномерностью распределения атмосферных осадков при невысоких температурных показателях воздуха, ГТК-1,92, что характеризует как влажный год.

Микроудобрения МикроСтим представляют собой водорастворимые концентраты, изготовленные на основе хелатов цинка, меди, кобальта и марганца, а также бора и молибдена в органо-минеральной форме с добавлением регуляторов роста гидрогумата. Микроудобрения МикроСтим обладают высокой биологической активностью, отличаются низкой токсичностью, хорошо растворяются в воде и при внесении сочетаются с пестицидами. Состав жидких микроудобрений с биостимулятором МикроСтим представлен в табл. 1.

Таблица 1

Состав жидких микроудобрений МикроСтим

Марки микроудобрений	Cu	B	Zn	Co	Mo	Mn	N	Гуминовые вещества
	г/л							
МикроСтим-Медь Л	78	–	–	–	–	–	65	0,60–5,0
МикроСтим-Марганец	–	–	–	–	–	50	35	–
МикроСтим-Медь,Марганец	50	–	–	–	–	50	60	–
МикроСтим-Медь,Молибден	50	–	–	–	50	–	75	0,60–9,0
МикроСтим-Бор	–	150	–	–	–	–	50	0,60–8,0
МикроСтим-Бор,Медь	40	40	–	–	–	–	65	0,60–6,0
МикроСтим-Цинк	–	–	50	–	–	–	100	–
МикроСтим-Цинк,Бор	–	30	46	–	–	–	93	0,48–6,0
МикроСтим-Цинк,Медь	50	–	50	–	–	–	75	–
МикроСтим-Кобальт	–	–	–	132	–	–	60	–
МикроСтим-Кобальт,Бор	–	50	–	50	–	–	100	0,60–9,0
МикроСтим-Молибден	–	–	–	–	150	–	75	0,60–6,0
МикроСтим-Молибден,Бор	–	50	–	–	50	–	66	0,60–6,0

В опытах микроудобрения МикроСтим использовались для некорневых подкормок сельскохозяйственных культур в рекомендуемых дозах и сроках. Рабочий раствор приготавливался непосредственно перед проведением обработки посевов путем разведения концентрата удобрения водой. Расход рабочего раствора 200 л/га.

Закладка и проведение полевых опытов проводилась в соответствии с методикой полевых опытов. Статистическая обработка полученных результатов выполнена методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [13] с использованием соответствующих программ компьютера. Анализ почвенных и растительных образцов проводили в соответствии с общепринятыми методиками и ГОСТ. Экономическая эффективность применения жидких микроудобрений рассчитывалась по методике, разработанной Институтом почвоведения и агрохимии [14]. Схемы полевых опытов, сроки, дозы макро- и микроудобрений представлены далее в таблицах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Высокую эффективность жидких микроудобрений МикроСтим в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур подтверждают результаты наших исследований. Полученные результаты свидетельствуют, что некорневые подкормки МикроСтим являются экономически оправданным приемом и по эффективности не уступают удобрениям известных зарубежных фирм. Установлено, что при возделывании сельскохозяйственных культур некорневые подкормки микроудобрениями МикроСтим способствуют повышению урожайности и качества продукции, уровень прибавок урожая которых зависел от фона внесения минеральных удобрений, марок, доз и сроков вносимых микроудобрений.

Известно, что лен-долгунец и лен масличный в своем развитии нуждаются в таких микроэлементах, как бор, цинк и медь. Исследования на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве показали, что некорневая подкормка льна-долгунца в фазу «елочка» микроудобрением МикроСтим-Бор (2,0 л/га) обеспечивала повышение урожайности соломки на 20,8 ц/га, семян – на 1,9, длинного волокна – на 1,8 ц/га, МикроСтим-Бор, Медь (1,8 л/га) – на 10,5 ц/га, 1,4 ц/га, 1,7 ц/га, МикроСтим-Цинк, Бор (1,7 и 3,3 л/га) – на 8,4 и 17,5 ц/га, 2,2 и 1,7 ц/га и на 3,5 и 4,7 ц/га соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Влияние микроудобрений МикроСтим на урожайность и качество льна-долгунца, ц/га

Вариант	Семена		Соломка		Длинное волокно	
	урожай-ность	при-бавка	урожай-ность	при-бавка	урожай-ность	прибав-ка
N ₃₀ P ₆₀ K ₉₀ – фон	5,6	–	62,6	–	4,0	–
Фон + МикроСтим-Бор (2,0 л/га)	7,5	1,9	83,4	20,8	5,8	1,8
Фон + МикроСтим-Бор, Медь (1,8 л/га)	7,0	1,4	73,1	10,5	5,7	1,7
Фон + МикроСтим-Цинк, Бор (3,3 л/га)	7,3	1,7	80,1	17,5	8,7	4,7
НСР ₀₅	1,0		6,2		–	
N ₃₀ P ₆₀ K ₉₀ – фон	6,7	–	61,2	–	6,9	–
Фон + МикроСтим-Цинк, Бор (1,7 л/га)	8,9	2,2	69,6	8,4	10,4	3,5
НСР ₀₅	0,9		4,1		–	

В опытах со льном масличным, проведенных на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, некорневая подкормка в фазу «елочка» микроудобрением МикроСтим-Цинк,Бор (3,3 л/га) и МикроСтим-Бор,Медь (1,8 л/га) обеспечила достоверные прибавки урожайности семян до 3,4 ц/га (табл. 3). При этом содержание масла в семенах от МикроСтим-Цинк,Бор увеличивалось на 1,6 % и МикроСтим-Бор,Медь – на 2,0 %. На дерново-подзолистой супесчаной почве микроудобрение МикроСтим-Цинк,Бор (3,3 л/га) повышало урожайность семян на 7,7 ц/га, содержание масла на 2,9 %, МикроСтим-Бор (2,0 л/га) – на 5,9 ц/га и 1,3 % соответственно.

Таблица 3

Влияние удобрений МикроСтим на урожайность и масличность семян льна масличного

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Содержание масла, %
<i>Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва</i>			
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	14,3	–	37,6
Фон + МикроСтим-Цинк,Бор (3,3 л/га)	17,7	3,4	39,2
Фон + МикроСтим-Бор,Медь (1,8 л/га)	17,7	3,4	39,6
НСР ₀₅	1,6		1,4
<i>Дерново-подзолистая супесчаная почва</i>			
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	22,6	–	30,8
Фон + МикроСтим-Цинк,Бор (3,3 л/га)	30,3	7,7	33,7
Фон + МикроСтим-Бор (2,0 л/га)	28,5	5,9	32,1
НСР ₀₅	2,0		1,3

На дерново-подзолистой супесчаной почве наибольшая эффективность некорневой подкормки льна масличного борным удобрением обеспечивается при низком содержании почвы бором (0,28 мг/кг). Применение микроудобрения МикроСтим-Бор в дозах 0,33 и 0,66 л/га увеличивало урожайность семян на 4,2 и 5,0 ц/га соответственно (табл. 4). При этом вносимое микроудобрение способствовало увеличению содержания масла в семенах до 1,7 % и выходу масла на 1,4–2,2 ц/га. Повышение дозы бора в некорневую подкормку до 0,15 кг д.в./га не приводило к дальнейшему росту урожайности семян и масличности.

Таблица 4

Влияние удобрения МикроСтим-Бор на урожайность и масличность семян льна масличного

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Масличность, %	Выход масла, ц/га
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ Zn _{0,2} – фон	23,5	–	34,9	8,2
Фон + МикроСтим-Бор (0,33 л/га)	27,7	4,2	35,6	9,9
Фон + МикроСтим-Бор (0,66 л/га)	28,5	5,0	36,6	10,4
Фон + МикроСтим-Бор (1,0 л/га)	27,8	4,3	34,4	9,6
НСР ₀₅	2,1		–	

При возделывании зерновых культур эффективным приемом повышения урожайности зерна является некорневая подкормка медью, марганцем, молибденом и цинком. Наши исследования показали, что на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве некорневая подкормка в стадии первого узла и фазу выхода флагового листа микроудобрением МикроСтим-Медь Л в дозе 1,0 л/га повышала урожайность зерна на 7,5 ц/га при рентабельности 237 % (табл. 5). Внесение исследуемого удобрения способствовало повышению содержания клейковины в зерне на 1,9 %.

Таблица 5

**Эффективность некорневых подкормок озимой пшеницы
удобрением МикроСтим-Медь Л**

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Клейковина, %	Чистый доход, руб/га	Рентабельность, %
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₈₀ – фон	90,6	–	23,5	–	–
Фон + МикроСтим-Медь Л (1,0 л/га)	98,1	7,5	25,4	188,9	237
НСР ₀₅	3,9		–		

При внесении в эту же фазу МикроСтим-Медь Л в дозе 0,64 л/га прибавка составила 3,2 ц/га (таб. 6). Двукратная некорневая подкормка в начале активной вегетации совместно с азотным удобрением КАС и в стадии первого узла* МикроСтим-Медь Л в дозе 0,64 л/га обеспечила прибавку урожайности зерна 4,1 ц/га, а проведенная в стадии первого узла и фазу молочной спелости** – 3,5 ц/га. Некорневая подкормка исследуемым микроудобрением в этой дозе не оказала влияния на качество зерна.

Таблица 6

Влияние некорневых подкормок в разные сроки удобрением МикроСтим-Медь Л на урожайность и качество зерна озимой пшеницы

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Сырой белок, %	Выход сырого белка, ц/га	Клейковина, %
N ₁₇₆ P ₇₀ K ₁₅₀ – фон	55,1	–	14,9	7,0	28,8
Фон + МикроСтим-Медь Л (0,64 л/га)	58,3	3,2	14,9	7,5	28,8
НСР ₀₅	2,1		–		
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₆₀ – фон	86,5	–	11,0	8,2	25,7
Фон + МикроСтим-Медь Л (0,64 л/га)*	90,6	4,1	11,7	9,1	25,8
Фон + МикроСтим-Медь Л (0,64 л/га)**	90,0	3,5	11,5	8,9	24,9
НСР ₀₅	2,9		–		

При возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой супесчаной почве двукратная некорневая подкормка микроудобрением МикроСтим-Марганец в возрастающих дозах обеспечила достоверное повышение урожайности зерна на 4,3–6,7 ц/га при рентабельности 162–227 % (табл. 7). Следует отметить, что некорневая подкормка увеличивала содержание марганца в зерне на 3,50–7,24 мг/кг

сухой массы по сравнению с фоновым вариантом, что позволило достичь нижней границы оптимальной концентрации для кормов (20–60 мг/кг сухой массы).

Таблица 7

**Эффективность некорневых подкормок озимой пшеницы
микроудобрением МикроСтим-Марганец**

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Сырой белок, %	Марганец, мг/кг сухой массы	Чистый доход, руб/га	Рентабельность, %
N ₁₇₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	53,5	–	14,3	15,61	–	–
Фон + МикроСтим-Марганец (0,5 л/га)	57,8	4,3	15,3	20,14	94,3	209
Фон + МикроСтим-Марганец (1,0 л/га)	60,2	6,7	14,9	22,85	150,8	227
Фон + МикроСтим-Марганец (1,5 л/га)	58,5	5,0	14,7	19,11	100,3	162
НСР ₀₅	2,3		–			

Прибавки урожайности зерна от микроудобрения МикроСтим-Медь, Молибден составили – 2,8–3,3 ц/га при рентабельности 152–208 %, МикроСтим-Медь, Марганец – 3,4–3,9 ц/га и 289–373 % соответственно (табл. 8). При этом отмечалась тенденция повышения содержания белка и клейковины в зерне.

Таблица 8

**Эффективность некорневых подкормок озимой пшеницы микроудобрениями
МикроСтим-Медь, Молибден и МикроСтим-Медь, Марганец**

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Сырой белок, %	Клейковина, %	Чистый доход, руб/га	Рентабельность, %
N ₁₆₉ P ₇₁ K ₁₃₅ – фон	65,3	–	11,8	25,0	–	–
Фон + МикроСтим-Медь, Молибден (0,5 л/га)	68,1	2,8	12,4	26,3	95,1	208
Фон + МикроСтим-Медь, Молибден (1,0 л/га)	68,6	3,3	12,4	26,3	100,1	152
Фон + МикроСтим-Медь, Марганец (0,5 л/га)	69,2	3,9	12,3	26,1	154,8	373
Фон + МикроСтим-Медь, Марганец (1,0 л/га)	68,7	3,4	12,0	25,5	127,1	289
НСР ₀₅	2,2		–			

Для повышения содержания белка в зерне озимой пшеницы рекомендуется применение цинковых удобрений. Установлено, что на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на фоне минеральных удобрений некорневая подкормка озимой пшеницы в фазу первого узла и перед выходом флагового листа микроудобрением МикроСтим-Цинк в возрастающих дозах обеспечила прибавки урожая зерна 2,3–3,0 ц/га, повышения содержания сырого белка – до 2,2 % и клейковины – до 4,2 % (табл. 9). На фоне внесения азотных удобрений некорневая подкормка в стадию первого узла и фазу молочной спелости микроудобрением Микро-

Стим-Цинк в дозе 1,0 л/га повышала урожайности зерна на 3,1 ц/га, содержания сырого белка – на 2,1 %, клейковины – на 4,1 %.

Таблица 9

Влияние некорневых подкормок микроудобрением МикроСтим-Цинк на урожайность и качество зерна озимой пшеницы

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Сырой белок, %	Выход сырого белка, ц/га	Клейковина, %
<i>Стадия первого узла и перед выходом флагового листа</i>					
N ₁₇₆ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	60,4	–	13,1	6,8	25,4
Фон + МикроСтим-Цинк (1,0 л/га)	62,7	2,3	15,3	8,3	29,6
Фон + МикроСтим-Цинк (2,0 л/га)	63,4	3,0	13,3	7,3	25,7
НСР ₀₅	2,0		–		
<i>Стадия первого узла и фаза молочной спелости</i>					
N ₁₆₀ – фон	89,2	–	11,6	8,9	25,0
Фон + МикроСтим-Цинк (1,0 л/га)	92,3	3,1	13,7	10,9	29,1
НСР ₀₅	2,9		–		

Высокая эффективность микроудобрений МикроСтим установлена при возделывании яровой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. На фоне минеральных удобрений прибавки урожайности зерна от некорневой подкормки в фазу выхода в трубку микроудобрением МикроСтим-Медь, Молибден в дозах 0,5–1,5 л/га составили 2,6–4,3 ц/га при рентабельности 105–111 % (табл. 10). Отмечается тенденция повышения содержания белка и клейковины. Более высокие прибавки (2,9–4,9 ц/га) получены при внесении микроудобрения МикроСтим-Медь, Марганец, также отмечено повышение содержания белка на 1,1–1,5 % и клейковины – 2,4–3,1 %.

Таблица 10

Эффективность некорневой подкормки яровой пшеницы микроудобрениями МикроСтим-Медь, Молибден и МикроСтим-Медь, Марганец

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Сырой белок, %	Клейковина, %	Чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
N ₁₀₅ P ₆₅ K ₁₂₀ – фон	60,0	–	12,6	26,7	–	–
Фон + МикроСтим-Медь, Молибден (0,5 л/га)	62,6	2,6	13,0	27,5	44,4	111
Фон + МикроСтим-Медь, Молибден (1,0 л/га)	64,3	4,3	13,0	27,5	71,4	105
НСР ₀₅	2,4		–			
N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ – фон	65,7	–	10,4	21,9	–	–
Фон + МикроСтим-Медь, Марганец (0,5 л/га)	68,6	2,9	11,5	24,3	62,9	202
Фон + МикроСтим-Медь, Марганец (1,0 л/га)	0,5	4,8	11,9	25,0	105,8	212
НСР ₀₅	2,4		–			

Эффективность некорневой подкормки картофеля борными удобрениями во время вегетации зависела от уровня обеспеченности почвы водорастворимым бором. На дерново-подзолистой супесчаной почве отмечена высокая эффективность некорневой подкормки картофеля в фазу бутонизации микроудобрением МикроСтим-Бор в дозах 0,33, 0,66 и 1,0 л/га при низкой обеспеченности почвы водорастворимым бором (табл. 11). Прибавки урожайности клубней составили 54–64 ц/га при рентабельности 103–107 %. Отмечено повышение содержания крахмала до 1,0 %.

Таблица 11

**Эффективность некорневой подкормки картофеля
микроудобрением МикроСтим-Бор**

Вариант	Урожай- ность, ц/га	Прибав- ка, ц/га	Содержание крахмала, %	Чистый доход, руб/га	Рентабель- ность, %
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ – фон	288	–	15,6	–	–
Фон + МикроСтим-Бор (0,33 л/га)	342	54	16,6	175,5	107
Фон + МикроСтим-Бор (0,66 л/га)	345	57	16,1	179,5	104
Фон + МикроСтим-Бор (1,0 л/га)	352	64	15,8	200,0	103
НСР _{0,5}	28		–		

При возделывании сахарной свеклы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве двукратная некорневая подкормка микроудобрением МикроСтим-Бор и МикроСтим-Бор,Медь в дозах 1,5 и 2,0 л/га обеспечила прибавки урожайности корнеплодов 31–39 и 28–38 ц/га, рентабельность 105–107 %, и 97–105 % соответственно (табл. 12). Следует отметить, что при внесении исследуемых удобрений отмечалось снижение содержания альфа-аминного азота с 1,98 до 1,28–1,67 м-моль/100 г корнеплодов и повышение выхода сахара на 3,0–5,6 ц/га в сравнении с фоновым вариантом.

Таблица 12

**Эффективность некорневых подкормок сахарной свеклы
микроудобрениями МикроСтим**

Вариант	Урожай- ность, ц/га	При- бав- ка, ц/га	Содержа- ние α-N, м-моль/ 100 г	Рас- четный выход сахара, ц/га	Чистый доход, руб/га	Рента- бель- ность, %
Навоз 60 т/га + N ₁₅₀ P ₇₅ K ₂₄₀ – фон	518	–	1,98	77,1	–	–
Фон + МикроСтим-Бор (1,5 л/га)	549	31	1,28	82,7	126,6	105
Фон + МикроСтим-Бор (2,0 л/га)	557	39	1,67	80,7	160,4	107
Фон + МикроСтим-Бор,Медь (1,5 л/га)	546	28	1,46	80,1	109,9	97
Фон + МикроСтим-Бор,Медь (2,0 л/га)	556	38	1,63	80,9	154,8	105
НСР ₀₅	27		–			

На дерново-подзолистой супесчаной почве некорневые подкормки люпина узколистного микроудобрениями МикроСтим-Бор и МикроСтим-Кобальт в фазу бутонизации обеспечивали прибавки урожайности зеленой массы 33 ц/га и 29 ц/га, зерна – 2,1 ц/га и 2,6 ц/га соответственно (табл. 13). Внесение в некорневую подкормку люпина микроудобрения МикроСтим-Кобальт, Бор повышало урожайность зеленой массы на 44 ц/га и зерна на 3,3 ц/га. Внесение кобальтсодержащих удобрений повышало содержание кобальта в зеленой массе на 0,41–0,79 мг/кг сухой массы, зерне – на 0,09–0,31 мг/кг сухой массы.

Таблица 13

Влияние некорневой подкормки микроудобрениями МикроСтим на урожайность и качество зеленой массы и зерна люпина узколистного

Вариант	Зеленая масса				Зерно			
	уро-жай-ность, ц/га	при-бавка ц/га	сырой белок, %	Со, мг/кг сухой массы	уро-жай-ность, ц/га	при-бавка ц/га	сырой белок, %	Со, мг/кг сухой массы
P ₉₀ K ₁₂₀ – фон	400	–	20,6	0,09	22,8	–	28,6	0,03
Фон + МикроСтим-Бор (0,33 л/га)	433	33	21,5	–	24,9	2,1	30,4	–
Фон + МикроСтим-Бор (0,66 л/га)	431	31	21,2	–	24,4	1,6	30,0	–
Фон + МикроСтим-Кобальт (0,19 л/га)	424	24	20,8	0,51	23,9	1,1	29,7	0,13
Фон + МикроСтим-Кобальт (0,38 л/га)	429	29	21,3	0,88	25,4	2,6	30,1	0,26
Фон + МикроСтим-Кобальт, Бор (0,5 л/га)	428	28	20,8	0,50	25,4	2,6	31,0	0,12
Фон + МикроСтим-Кобальт, Бор (1,0 л/га)	444	44	21,7	0,55	26,1	3,3	29,8	0,34
НСР ₀₅	10		–		1,7		–	

При возделывании кукурузы некорневая подкормка в фазу 6–8 листьев жидкими микроудобрениями МикроСтим в возрастающих дозах на фоне органических и минеральных удобрений обеспечила высокую эффективность при внесении в средней дозе (по 0,1 кг д.в./га). Прибавки урожайности зеленой массы от микроудобрений МикроСтим-Цинк, МикроСтим-Цинк,Медь, МикроСтим-Цинк,Бор составили 60, 84 и 74 ц/га, при рентабельности 100, 120 и 107 % соответственно (табл. 14). При этом микроудобрение МикроСтим-Цинк увеличивало содержание сырого белка в зеленой массе на 3,5 %, МикроСтим-Цинк,Медь – на 3,3 % и МикроСтим-Цинк,Бор – на 5,0 %. Исследуемые микроудобрения способствовали снижению содержания нитратов в зеленой массе по сравнению с фоновым вариантом (ПДК – 500 мг/кг).

При возделывании кукурузы на зерно внесение в некорневую подкормку микроудобрений МикроСтим-Цинк, МикроСтим-Цинк,Медь и МикроСтим-Цинк,Бор увеличивало урожайность зерна на 6,5, 8,9 и 8,3 ц/га при рентабельности 163, 191 и 194 % (табл. 15). Применение микроудобрений МикроСтим обеспечивали увеличение содержания цинка в зерне на 1,1–2,2 мг/кг, меди – на 0,9 мг/кг сухой массы в сравнении с фоновым вариантом.

Таблица 14

**Эффективность некорневой подкормки кукурузы
на зеленую массу удобрениями МикроСтим**

Вариант	Урожай- ность, ц/га	При- бавка, ц/га	Сырой белок, %	Нит- раты, мг/кг	Чистый доход, руб/га	Рента- бель- ность, %
Навоз 40 т/га + N ₁₃₀ P ₇₀ K ₁₂₀ – фон	588	–	7,7	316	–	–
Фон + МикроСтим-Цинк (1,3 л/га)	648	60	11,2	234	83,6	100
Фон + МикроСтим-Цинк, Медь (2,0 л/га)	672	84	11,0	255	127,5	120
Фон + МикроСтим-Цинк, Бор (2,2 л/га)	662	74	12,7	309	112,4	107
НСР ₀₅	30		–			

Таблица 15

**Эффективность некорневой подкормки кукурузы
на зерно удобрениями МикроСтим**

Вариант	Урожай- ность, ц/га	При- бавка ц/га	Сырой белок, %	Цинк	Медь	Чистый доход, руб/га	Рента- бель- ность, %
				мг/кг сухой массы			
Навоз 40 т/га + N ₁₃₀ P ₇₀ K ₁₂₀ – фон	70,0	–	8,6	13,1	2,7	–	–
Фон + МикроСтим-Цинк (1,3 л/га)	76,5	6,5	7,5	14,2	–	126,0	163
Фон + МикроСтим-Цинк, Медь (2,0 л/га)	78,9	8,9	8,8	13,3	3,6	182,4	191
Фон + МикроСтим-Цинк, Бор (2,2 л/га)	78,3	8,3	8,1	15,3	–	165,7	194
НСР ₀₅	3,8		–				

Некорневые подкормки люцерны микроудобрениями МикроСтим-Молибден и МикроСтим-Молибден, Бор в фазу стеблевания в возрастающих дозах способствовала повышению урожайности в среднем за два года исследований на 8,8–9,7 и 10,5–12,3 ц/га сухой массы соответственно (табл. 16). При этом некорневые подкормки люцерны микроудобрениями МикроСтим-Молибден и МикроСтим-Молибден, Бор были экономически оправданы только в дозе 0,33 и 1,0 л/га. Внесение микроудобрений МикроСтим-Молибден и МикроСтим-Молибден, Бор увеличивало выход сырого белка на 1,9–2,9 и 3,4–4,8 ц/га соответственно. Содержание нитратов в зеленой массе за годы исследований составило 158–168 мг/кг сырой массы, что не превышало предельно допустимую концентрацию (ПДК – 300 мг/кг). Следует отметить, что некорневая подкормка микроудобрением МикроСтим-Молибден в дозе 0,33 л/га позволила повысить содержание молибдена в сухом веществе люцерны до 1,83 мг/кг, МикроСтим-Молибден, Бор в дозе 1,0 л/га – до 2,41 мг/кг сухой массы. Дальнейшее повышение доз микроудобрений приводило к увеличению содержания до 4,21 и 2,90 мг/кг сухой массы, что превышает верхнюю границу допустимого содержания молибдена в кормах.

**Эффективность некорневых подкормок люцерны
микроудобрениями МикроСтим**

Вариант	Урожайность сухой массы (сумма за 3 укоса), ц/га	Прибавка, ц/га	Выход сырого белка, ц/га	Содержание		Чистый доход, руб/га	Рентабельность, %
				нитратов, мг/кг	Мо, мг/кг сухой массы		
P ₉₀ K ₁₈₀ – фон	119,3	–	20,1	147	0,52	–	–
Фон + МикроСтим-Молибден (0,33 л/га)	128,1	8,8	22,0	167	1,83	20,5	24
Фон + МикроСтим-Молибден (0,66 л/га)	129,0	9,7	23,0	168	4,21	-4,0	-3
Фон + МикроСтим-Молибден, Бор (1,0 л/га)	129,8	10,5	23,5	160	2,41	42,0	49
Фон + МикроСтим-Молибден, Бор (2,0 л/га)	131,6	12,3	24,9	158	2,90	31,1	26
НСР ₀₅	6,6				–		

ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве некорневая подкормка льна-долгунца в фазу «елочка» жидким микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор повышает урожайность семян на 1,7–2,2 ц/га, длинного волокна на 3,5–4,7 ц/га. При возделывании льна масличного некорневая подкормка микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор способствует увеличению урожайности семян на 3,4 ц/га, содержания масла в семенах на 1,6 %.

2. Некорневые подкормки озимой пшеницы жидким микроудобрением МикроСтим-Медь Л в возрастающих дозах повышали урожайность зерна на 3,2–7,5 ц/га, при рентабельности 162–227 %. Применение микроудобрения МикроСтим-Цинк увеличивает урожайность зерна на 2,3–3,1 ц/га, содержания сырого белка – на 2,2 %, клейковины – на 4,2 %. Внесение микроудобрения МикроСтим-Медь, Марганец в некорневые подкормки яровой пшеницы повышает урожайность зерна на 2,9–4,8 ц/га при рентабельности 202–212 %. Отмечается увеличение содержания белка на 1,1–1,5 %, клейковины – на 2,4–3,1 %.

3. Внесение жидкого микроудобрения МикроСтим-Бор в некорневую подкормку картофеля обеспечивает прибавку урожая клубней 64 ц/га при рентабельности 107 %. Двукратная некорневая подкормка сахарной свеклы микроудобрением МикроСтим-Бор повышает урожайность корнеплодов на 39 ц/га при рентабельности 107 %. Отмечается снижение содержания альфа-аминного азота в корнеплодах.

4. Некорневые подкормки кукурузы жидкими микроудобрениями МикроСтим-Цинк и МикроСтим-Цинк, Бор повышают урожайность зеленой массы на 60 и 74 ц/га, зерна – на 6,5 и 8,3 ц/га при рентабельности 100 и 107 %, 163 и 194 % соответственно. При этом отмечается повышение содержания сырого белка на 3,3–5,0 % и снижение содержания нитратов в зеленой массе кукурузы.

5. При возделывании люпина узколистного некорневые подкормки микроудобрением МикроСтим-Бор (0,33 л/га), МикроСтим-Кобальт (0,38 л/га) и МикроСтим-Кобальт,Бор (1,0 л/га) способствовали повышению урожайности зеленой массы на 33, 29 и 44 ц/га, зерна на 2,1, 2,6 и 3,3 ц/га соответственно. Некорневые подкормки микроудобрениями увеличивают содержание сырого белка в зеленой массе на 0,6–1,1 %, в зерне – на 1,1–2,4 %. Внесение кобальтсодержащих удобрений повышает накопление кобальта в зеленой массе на 0,41–0,79 мг/кг, в зерне – на 0,09–0,31 мг/кг сухой массы.

6. Некорневые подкормки люцерны микроудобрением МикроСтим-Молибден и МикроСтим-Молибден,Бор повышают урожайность на 8,8 и 10,5 ц/га сухой массы при рентабельности 24 и 49 %

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов / Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 448 с.

2. *Школьник, М.Я.* Микроэлементы в жизни растений / М.Я. Школьник. – Л.: Наука, 1974. – С. 252.

3. Микроэлементы в окружающей среде: биогеохимия, биотехнология и биоремедиация / под ред.: М.Н.В. Прасад, К.С. Саджван, Р. Найдю; пер.: Д.И. Башмаков, А.С. Лукаткин. – М.: Физматлит, 2009. – 816 с.

4. *Ягодин, Б.А.* Агрохимия: учебник для студентов / Б.А. Ягодин. – М., 2002. – С. 584.

5. *Анспок, П.И.* Микроудобрения / П.И. Анспок. – Л: Агропромиздат, 1990. – 272 с.

6. *Протасова, Н.А.* Микроэлементы в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья / Н.А. Протасова, А.П. Щербаков. – Воронеж: Воронежский госуд. ун-т, 2003. – 368 с.

7. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: Беларус. наука, 2007. – 390 с.

8. *Ран, О.П.* Применение биологических препаратов в посевах сои / О.П. Ран, О.А. Селихова, П.В. Тихончук П.В. // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 8. – С. 26–27.

9. *Сургучева, М.П.* Комплексоны и комплексоны микроэлементов и их применение в земледелии / М.П. Сургучева, А.Ю. Киреева, З.К. Благовещенская. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1993. – 46 с.

10. *Лапа, В.В.* Использование жидких удобрений Адоб, Басфолиар и Солибор ДФ в посевах зерновых культур, рапса и льна / В.В. Лапа, М.В.Рак // Белорусское сельское хозяйство. – 2007. – № 5. – С. 37.

11. *Пономаренко, С.П.* Регуляторы роста растений / С.П. Пономаренко. – Киев, 2003. – 319 с.

12. Микроудобрения с биостимулятором «МикроСтим»: ТУ ВУ 100079183.006-2008. – Введ. 06.11.2008. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 15 с.

13. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

14. Методика определения агрономической и экономической эффективности удобрений и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур / И.М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

**EFFICIENCY OF USING NON-ROOT DRESSINGS WITH LIQUID
MICROFERTILIZERS MICROSTEAM IN THE CULTIVATION
OF AGRICULTURAL CROPS ON SOD-PODZOLIC SOILS**

**M.V. Rak, S.A. Titova, E.N. Pukalova, T.G. Nikolaeva,
A.V. Yukhnovets, Yu.A. Artyukh**

Summary

The article presents the results of studies on the effectiveness of the use of liquid microfertilizers MicroSteam in the cultivation of crops on sod-podzolic soils. It has been established that non-root dressings with different microfertilizers of MicroSteam increase the yield of agricultural crops, the quality of crop production and is an economically effective method.

Поступила 07.05.2018

УДК 631.81.095.337:631.11

**ВЛИЯНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЯ МИКРОСТИМ-ЦИНК
НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОЧВЫ ЦИНКОМ**

М.В. Рак, Т.Г. Николаева, С.А. Титова, Л.Н. Гук
*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Микроэлементы являются важной составляющей системы удобрения сельскохозяйственных культур. Одним из необходимых элементов питания для растений является цинк. Он входит в состав более 30 ферментов и принимает участие в белковом, углеводном, липоидном, фосфорном обмене, в синтезе аскорбиновой кислоты, ростовых веществ. Многочисленными исследованиями установлено, что на фоне внесения минеральных удобрений применение цинка повышает урожайность сельскохозяйственных культур, а также улучшает качество сельскохозяйственной продукции (повышает содержание белка, оптимизирует фракционный состав белка зерновых культур) [1–4].

Помимо положительного влияния на урожайность и качество сельскохозяйственных культур, применение микроудобрений необходимо для получения кормов, сбалансированных по микроэлементному составу. Недостаток или избыток отдельных микроэлементов в рационе приводит к снижению продуктивности животных, ухудшению использования питательных веществ, различным заболеваниям. Цинк является важным элементом в рационе сельскохозяйственных животных. Он влияет на обмен белков, углеводов, кроветворение, минерализацию костей,

оказывает положительное действие на репродуктивную функцию, рост и развитие животных. Этот элемент входит в состав более 70 ферментов. При недостатке цинка в рационе у животных снижается аппетит, они отстают в росте, наблюдается повреждение эпидермальных тканей. Приплод рождается слабый [5–7].

В республике закономерности распределения в почвах цинка и потребления его озимой пшеницей в зависимости от уровней обеспеченности им почвы изучены слабо. В связи с этим разработка теоретической базы для оптимизации питания растений цинком является актуальным направлением и будет способствовать повышению эффективности применения цинковых удобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур.

Цель исследований – изучить влияние цинкового микроудобрения на урожайность и показатели качества зерна озимой пшеницы при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в полевом опыте в РУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района на дерново-подзолистой супесчаной почве, развивающейся на рыхлых водно-ледниковых супесях, сменяемых с глубины около 0,5 м связной супесью. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы при возделывании озимой пшеницы: рН в КСl – 5,8, содержание гумуса – 2,9 %, P_2O_5 и K_2O в 0,2 н НСl – 216 и 368 мг/кг почвы соответственно.

Схема полевого опыта была развернута на 4-х уровнях насыщения 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). Уровни насыщения пахотного слоя почвы цинком созданы перед закладкой опыта внесением сернокислого цинка в виде водного раствора, с учетом исходного содержания подвижного цинка в почве и нормативов затрат для смещения содержания подвижного цинка на данной почве.

Схема полевого опыта с озимой пшеницей включала варианты некорневых подкормок растений возрастающими дозами цинкового микроудобрения на различных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком.

Схема опыта с озимой пшеницей (2016–2017 гг.):

1. Контроль (без удобрений);
2. $N_{160}P_{90}K_{150}$ – фон;
3. Фон + Zn_{25} ;
4. Фон + Zn_{50} ;
5. Фон + Zn_{75} ;
6. Фон + Zn_{100} .

В качестве микроудобрения для некорневой подкормки применяли жидкое удобрение МикроСтим-Цинк, содержащее 50 г/л цинка в органической форме. Некорневые подкормки цинковым микроудобрением проведены в стадию первого узла и при появлении последнего листа. Расход рабочего раствора 200 л/га. Повторность в опытах четырехкратная.

В полевом опыте возделывали озимую пшеницу Арктис. Норма высева 4,5 млн всхожих семян на 1 гектар. Предшественник – овес. Исследования про-

водили на фоне минеральных удобрений $N_{160}P_{90}K_{150}$, которые вносили в форме КАС, карбамида, аммонизированного суперфосфата, хлористого калия. Расчет доз минеральных удобрений сделан на планируемую урожайность зерна 80 ц/га. Фосфорные и калийные удобрения внесены под основную обработку почвы. Азотные удобрения вносили в 3 срока: ранневесенняя подкормка, в стадию первого узла и при появлении последнего листа.

Погодные условия вегетационного периода 2016 г. по показателю гидротермического коэффициента были влажными (ГТК 1,8). В апреле и июле количество выпавших осадков значительно превысило среднемноголетние показатели. Температура воздуха в эти месяцы также была выше среднемноголетней. Период вегетации 2017 г. по величине гидротермического коэффициента был избыточно увлажненным (ГТК 2,2). Количество осадков, выпавших в мае-июле, значительно превышало среднемноголетние показатели. При этом температура воздуха была ниже, чем в среднем по результатам многолетних наблюдений. В целом погодные условия вегетационных периодов были благоприятными для роста и развития озимой пшеницы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой супесчаной почве урожайность зерна зависела от уровня обеспеченности почвы цинком и от доз внесения цинкового микроудобрения (табл. 1). В среднем за два года исследований в варианте без удобрений получена урожайность зерна 37,9 ц/га. При низкой обеспеченности почвы цинком урожайность зерна в фоновом варианте составила 70,1 ц/га. От внесения в некорневые подкормки микроудобрения МикроСтим-Цинк в возрастающих дозах получены прибавки 3,4–6,2 ц/га. Наиболее высокие прибавки урожайности отмечены при внесении МикроСтим-Цинк в дозах 50 и 75 г/га д.в. – 4,3 и 6,2 ц/га соответственно.

Таблица 1

Влияние микроудобрения МикроСтим-Цинк на урожайность зерна озимой пшеницы при различной обеспеченности почвы цинком (среднее 2016–2017 гг.)

Уровни насыщения почвы цинком	Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га
I уровень (низкий, 2,8 мг/кг)	1. Контроль без удобрений	37,9	–
	2. $N_{160}P_{90}K_{150}$ – фон	70,1	–
	3. Фон + МикроСтим-Цинк ₂₅	73,5	3,4
	4. Фон + МикроСтим-Цинк ₅₀	74,4	4,3
	5. Фон + МикроСтим-Цинк ₇₅	76,3	6,2
	6. Фон + МикроСтим-Цинк ₁₀₀	72,3	2,2
II уровень (средний, 4,4 мг/кг)	2. $N_{160}P_{90}K_{150}$ – фон	69,8	–
	3. Фон + МикроСтим-Цинк ₂₅	71,8	2,0
	4. Фон + МикроСтим-Цинк ₅₀	72,7	2,9
	5. Фон + МикроСтим-Цинк ₇₅	73,6	3,8
	6. Фон + МикроСтим-Цинк ₁₀₀	71,2	1,4

Уровни насыщения почвы цинком	Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га
III уровень (высокий, 6,9 мг/кг)	1. Контроль без удобрений	37,9	–
	2. N ₁₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	69,5	–
	3. Фон + МикроСтим-Цинк ₂₅	70,4	0,8
	4. Фон + МикроСтим-Цинк ₅₀	69,9	0,3
	5. Фон + МикроСтим-Цинк ₇₅	69,0	–
	6. Фон + МикроСтим-Цинк ₁₀₀	69,3	–
IV уровень (избыточный, 15,6 мг/кг)	2. N ₁₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	70,6	–
	3. Фон + МикроСтим-Цинк ₂₅	70,7	0,1
	4. Фон + МикроСтим-Цинк ₅₀	69,5	–
	5. Фон + МикроСтим-Цинк ₇₅	69,8	–
	6. Фон + МикроСтим-Цинк ₁₀₀	68,8	–
НСР ₀₅		1,92	

На среднем уровне обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком урожайность зерна в фоновом варианте составила 69,8 ц/га. Прибавки урожайности зерна от некорневых подкормок цинковым микроудобрением были ниже и составили при внесении в дозах 50 и 75 г/га д.в. 2,9 и 3,8 ц/га соответственно.

На высоком и избыточном уровнях обеспеченности дерново-подзолистой почвы цинком урожайность зерна в фоновых вариантах составила 69,5 и 70,6 ц/га соответственно. Внесение микроудобрения МикроСтим-Цинк в некорневые подкормки озимой пшеницы не приводило к повышению урожайности зерна.

Важнейшим показателем качества зерна, используемого на продовольственные и фуражные цели, является содержание белка. В полевом опыте с озимой пшеницей содержание белка в зерне в 2016 году колебалось в пределах 8,8–15,8 % (табл. 2). В 2017 году содержание белка было несколько ниже и составило 6,6–13,0 %. В среднем за два года исследований установлено, что при увеличении содержания подвижного цинка в почве увеличивается содержание сырого протеина в зерне. В варианте без удобрений содержание сырого протеина составило 7,7 %, в фоновом варианте на низком уровне обеспеченности почвы цинком – 11,6 %, при среднем, высоком и избыточном уровне – 11,8 %, 12,4 % и 12,5 % соответственно. Некорневые подкормки микроудобрением МикроСтим-Цинк в возрастающих дозах способствовали повышению содержания белка в зерне на 0,6–2,0 % по сравнению с фоновыми вариантами. При низкой обеспеченности дерново-подзолистой почвы цинком содержание сырого протеина увеличилось на 0,9–1,4 % по сравнению с фоном. Наибольшее содержание сырого протеина в зерне отмечено при внесении микроудобрения МикроСтим-Цинк в дозе 75 г/га д.в. При средней обеспеченности почвы цинком содержание сырого протеина увеличилось на 0,3–2,0 % по сравнению с фоном. Наибольшее содержание сырого протеина также отмечено при внесении микроудобрения МикроСтим-Цинк в дозе 75 г/га д.в. – 13,8 %. При высокой обеспеченности почвы цинком содержание сырого протеина в зерне увеличилось на 1,0–1,8 % по сравнению

с фоном. Самое высокое содержание сырого протеина получено при внесении микроудобрения МикроСтим-Цинк в дозе 100 г/га г.д. – 14,2 %. При избыточном уровне содержания цинка содержание сырого протеина в зерне увеличилось на 0,6–1,6 % по сравнению с фоном.

Таблица 2

Влияние микроудобрения МикроСтим-Цинк на содержание белка в зерне озимой пшеницы при различной обеспеченности почвы цинком

Уровни насыщения почвы цинком	Варианты	Содержание, %		
		2016 г.	2017 г.	среднее
I уровень (низкий, 2,8 мг/кг)	1. Контроль без удобрений	8,8	6,6	7,7
	2. N ₁₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	12,3	10,9	11,6
	3. Фон + МикроСтим-Цинк ₂₅	13,6	11,4	12,5
	4. Фон + МикроСтим-Цинк ₅₀	13,2	11,9	12,6
	5. Фон + МикроСтим-Цинк ₇₅	13,6	12,3	13,0
	6. Фон + МикроСтим-Цинк ₁₀₀	10,9	12,0	11,5
II уровень (средний, 4,4 мг/кг)	2. N ₁₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	13,2	10,3	11,8
	3. Фон + МикроСтим-Цинк ₂₅	12,7	11,4	12,1
	4. Фон + МикроСтим-Цинк ₅₀	15,3	11,4	13,4
	5. Фон + МикроСтим-Цинк ₇₅	15,8	11,8	13,8
	6. Фон + МикроСтим-Цинк ₁₀₀	14,0	10,8	12,4
	III уровень (высокий, 6,9 мг/кг)	2. N ₁₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	13,2	11,6
3. Фон + МикроСтим-Цинк ₂₅		14,9	11,9	13,4
4. Фон + МикроСтим-Цинк ₅₀		14,7	12,7	13,7
5. Фон + МикроСтим-Цинк ₇₅		14,9	12,7	13,8
6. Фон + МикроСтим-Цинк ₁₀₀		15,3	13,0	14,2
IV уровень (избыточный, 15,6 мг/кг)		2. N ₁₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	12,3	12,6
	3. Фон + МикроСтим-Цинк ₂₅	13,2	13,0	13,1
	4. Фон + МикроСтим-Цинк ₅₀	14,4	12,9	13,7
	5. Фон + МикроСтим-Цинк ₇₅	15,3	12,8	14,1
	6. Фон + МикроСтим-Цинк ₁₀₀	14,9	13,1	14,0

Содержание цинка в зерне озимой пшеницы зависело от уровня содержания элемента в почве и доз цинкового микроудобрения (табл. 3). На низком уровне обеспеченности почвы подвижным цинком содержание цинка в зерне составило 13,9–17,8 мг/кг сухой массы, что ниже оптимального содержания элемента для кормов сельскохозяйственных животных (20–60 мг/кг сухой массы). На среднем уровне обеспеченности почвы цинком содержание цинка на фоне составило 17,2 мг/кг сухой массы. Некорневые подкормки в возрастающих дозах микроудобрением МикроСтим-Цинк повысили содержание цинка до нижней границы оптимума для кормов. На высоком уровне обеспеченности почвы цинком содержание цинка в фоновом варианте составило 18,8 мг/кг. Некорневые подкормки цинко-

вым микроудобрением повышали содержание цинка в зерне до оптимальных значений (21,5–23,1 мг/кг сухой массы). На избыточном уровне обеспеченности почвы цинком содержание цинка в зерне в фоновом варианте и вариантах с внесением в некорневые подкормки МикроСтим-Цинк соответствовало оптимуму для кормов.

Таблица 3

**Влияние микроудобрения МикроСтим-Цинк на содержание цинка
в зерне озимой пшеницы при различной обеспеченности
почвы цинком**

Уровни насыщения почвы цинком	Варианты	Содержание цинка, мг/кг сухой массы		
		2016 г.	2017 г.	среднее
I уровень (низкий, 2,8 мг/кг)	1. Контроль без удобрений	8,6	11,6	10,1
	2. N ₁₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	12,8	14,9	13,9
	3. Фон + МикроСтим-Цинк ₂₅	13,0	19,2	16,1
	4. Фон + МикроСтим-Цинк ₅₀	13,8	19,5	16,7
	5. Фон + МикроСтим-Цинк ₇₅	14,3	20,6	17,5
	6. Фон + МикроСтим-Цинк ₁₀₀	14,7	20,9	17,8
II уровень (средний, 4,4 мг/кг)	2. N ₁₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	14,6	19,8	17,2
	3. Фон + МикроСтим-Цинк ₂₅	17,5	21,3	19,4
	4. Фон + МикроСтим-Цинк ₅₀	18,6	21,5	20,1
	5. Фон + МикроСтим-Цинк ₇₅	18,0	22,3	20,2
	6. Фон + МикроСтим-Цинк ₁₀₀	18,2	22,8	20,5
III уровень (высокий, 6,9 мг/кг)	2. N ₁₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	17,8	19,7	18,8
	3. Фон + МикроСтим-Цинк ₂₅	19,0	23,9	21,5
	4. Фон + МикроСтим-Цинк ₅₀	19,3	24,9	22,1
	5. Фон + МикроСтим-Цинк ₇₅	9,2	25,0	17,1
	6. Фон + МикроСтим-Цинк ₁₀₀	21,1	25,0	23,1
IV уровень (избыточный, 15,6 мг/кг)	2. N ₁₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	23,9	20,9	22,4
	3. Фон + МикроСтим-Цинк ₂₅	20,6	24,4	22,5
	4. Фон + МикроСтим-Цинк ₅₀	20,9	24,6	22,8
	5. Фон + МикроСтим-Цинк ₇₅	20,9	24,4	22,7
	6. Фон + МикроСтим-Цинк ₁₀₀	25,5	24,9	25,2

Для оценки эффективности применения микроудобрения МикроСтим-Цинк при возделывании озимой пшеницы на различных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой почвы цинком был проведен экономический анализ. Экономическая эффективность рассчитана на основании полученных в опыте прибавок урожайности зерна и нормативных данных затрат и цен на текущий год. Расчет показал, что применение микроудобрения МикроСтим-Цинк в возрастающих дозах способствовало увеличению чистого дохода и было рентабельным (табл. 4).

Таблица 4

**Экономическая эффективность применения цинкового микроудобрения
при возделывании озимой пшеницы на различных уровнях
обеспеченности почвы цинком**

Уровни насыщения почвы цинком	Варианты	Прибавка, ц/га	Стоимость прибавки, руб.	Затраты, руб.	Чистый доход, руб.	Рентабельность, %
I уровень (низкий, 2,8 мг/кг)	3. Фон + МикроСтим-Цинк ₂₅	3,4	110,6	53,7	56,9	106,0
	4. Фон + МикроСтим-Цинк ₅₀	4,3	139,9	69,0	70,9	102,8
	5. Фон + МикроСтим-Цинк ₇₅	6,2	201,7	90,6	111,1	122,6
	6. Фон + МикроСтим-Цинк ₁₀₀	2,2	71,6	74,9	-3,3	-4,5
II уровень (средний, 4,4 мг/кг)	3. Фон + МикроСтим-Цинк ₂₅	2,0	65,1	44,8	20,2	45,1
	4. Фон + МикроСтим-Цинк ₅₀	2,9	94,3	60,1	34,2	56,9
	5. Фон + МикроСтим-Цинк ₇₅	3,8	123,6	75,4	48,2	63,9
	6. Фон + МикроСтим-Цинк ₁₀₀	1,4	45,5	69,8	-24,3	-34,8

При возделывании озимой пшеницы на низком уровне обеспеченности почвы цинком при внесении цинкового микроудобрения в дозе 25 г/га д.в. чистый доход составил 56,9 руб. при рентабельности 106 %, в дозе 50 г/га д.в. – 70,9 руб. и 102,8 % соответственно. Более высокая экономическая эффективность получена при внесении микроудобрения МикроСтим-Цинк в дозе 75 г/га д.в. – чистый доход составил 111,1 руб., рентабельность – 122,6 %. Внесение микроудобрения в дозе 100 г/га д.в. экономически нецелесообразно. На среднем уровне обеспеченности почвы цинком экономически эффективны некорневые подкормки микроудобрением МикроСтим-Цинк в дозах 50 и 75 г/га д.в. При этом чистый доход составил 34,2 руб. и 48,2 руб., рентабельность – 56,9 и 63,9 соответственно. Некорневые подкормки озимой пшеницы микроудобрением МикроСтим-Цинк на высоком и избыточном уровне обеспеченности дерново-подзолистой почвы цинком экономически нецелесообразны, так как затраты на внесение микроудобрения не окупаются полученными прибавками урожайности.

ВЫВОДЫ

1. Некорневые подкормки озимой пшеницы цинковым микроудобрением эффективны при низком и среднем уровне обеспеченности дерново-подзолистой почвы цинком. При содержании подвижного цинка в супесчаной почве менее 2,8 мг/кг некорневые подкормки озимой пшеницы микроудобрением МикроСтим-Цинк в дозах 50 и 75 г/га д.в. повышали урожайность зерна на 4,3 и 6,2 ц/га при рентабельности 102,8 и 122,6% соответственно. На среднем уровне обеспеченности почвы цинком (4,4 мг/кг) прибавки урожайности озимой пшеницы были ниже и составили при внесении цинкового микроудобрения в дозах 50 и 75 г/га д.в. 2,9 и 3,8 ц/га при рентабельности 56,9 и 63,9% соответственно.

2. Содержание белка в зерне озимой пшеницы увеличивалось при повышении содержания подвижного цинка в почве. Некорневые подкормки микроудобрением МикроСтим-Цинк в возрастающих дозах на различных уровнях содержания цинка

в почве способствовали повышению содержания белка в зерне на 0,6–2,0%. Некорневые подкормки цинковым микроудобрением повышали содержание цинка в зерне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2006. – 28 с.
2. *Рак, М.В.* Микроэлементы в почвах Беларуси и применение микроудобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур / Биогеохимия и биохимия микроэлементов в условиях техногенеза биосферы: материалы VIII международной Биогеохимической Школы, посвященной 150-летию со дня рождения академика В.И. Вернадского. – М: ГЕОХИ РАН, 2013. – С. 339–342.
3. *Marcher, H.* Mineral nutrition of higher plants / H. Marchner. – 2-nd ed. – London, 2002. – 674 p.
4. *Bergmann, W.* Nutritional disorders of plants / W. Bergmann, G. Fisher. – New York, 1992. – 741 p.
5. Сбалансированное кормление крупного рогатого скота / Н.В. Казаровец [и др.]; под общ. ред. В.А. Люндышева. – Минск: БГАТУ, 2012. – 280 с.
6. Кормовые нормы и состав кормов: справ. пособие / А.П. Шпаков [и др.]. – Минск: Ураджай, 1991. – 384 с.
7. *Ковальский, В.В.* Микроэлементы в растениях и кормах / В.В. Ковальский, Ю.Е. Раецкая, Т.И. Грачева. – М.: Колос, 1971. – 235 с.
8. Методика определения агрономической и экономической эффективности удобрений и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур / И.М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

INFLUENCE OF MICROFERTILIZER MICROSTIM-ZINC ON PRODUCTIVITY AND QUALITY OF WINTER WHEAT GRAIN UNDER DIFFERENT ZINC SOIL AVAILABILITY

M.V. Rak, T.G.Nikolaeva, S.A Titova, L.N. Hooke

Summary

The influence of microfertilizer MicroSteam-Zinc on the productivity and quality parameters of winter wheat grains has been studied for various provision of sod-podzolic sandy loamy soil with zinc. It was established that foliar top dressing of winter wheat with zinc microfertilizer is effective at a low and medium level of zinc soil supply. An increase in the protein and zinc content in the grain was noted with an increase in the content of the mobile element in the soil and the introduction of microfertilizer MicroStim-Zinc into various non-root fertilizing at different levels of zinc in the soil.

Поступила 07.05.18

ВЛИЯНИЕ БИНАРНОГО ИНОКУЛЯНТА *A. BRASILENSE* + *B. CIRCULANS* НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЭРОДИРОВАННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ

**Н.А. Михайловская, Н.Н. Цыбулько, А.В. Юхновец,
А.М. Устинова, Т.Б. Барашенко**

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

ВВЕДЕНИЕ

На территории республики Беларусь эродированные почвы, приуроченные к пахотным землям, занимают 479,5 тыс. га (9,4 % от общей площади). Кроме этого, 2108,2 тыс. га или 41,2 % пахотных земель относятся к эрозионно-опасным землям, которые при неправильном использовании могут быть подвержены эрозии [1].

Процессы эрозии имеют выраженные региональные особенности. В Северной и Центральной почвенно-экологических провинциях преобладает водная эрозия. В Центральной почвенно-экологической провинции это обусловлено сочетанием природных и антропогенных факторов – особенностями рельефа, спецификой почвообразующих пород с преобладанием пылеватых частиц в гранулометрическом составе и достаточной увлажненностью территории [1–3]. Существенную роль в формировании эрозионных процессов здесь играет высокая сельскохозяйственная освоенность территории, достигающая в некоторых районах 50–88 % [1]. В Северной почвенно-экологической провинции водная эрозия развивается в условиях повышенной увлажненности территории, сложной структуры почвенного покрова, при высоком и неравномерном расчленении рельефа как по густоте, так и по глубине. Почвы с потенциальным смывом занимают в отдельных регионах до 50 %, причем почти пятая их часть уже подвержена в той или иной степени эрозионной деградации [2].

Экологический и экономический ущерб при развитии водной эрозии значителен. В среднем недоборы урожаев зерновых культур варьируют от 12 до 40 % в зависимости от степени эродированности почвы [3]. Снижение производительной способности эродированных почв обусловлено ухудшением их агрохимических, агрофизических и биологических свойств [2]. Ежегодно с обрабатываемых склонов выносятся от 0,1 до 100 и более т/га почвы [2], при этом теряется не только органическое вещество, гумус, минеральная часть почвы, но и прочно связанные с ними микробная биомасса и внеклеточные почвенные ферменты [4–6].

На эродированных и эрозионноопасных почвах актуально применение микробных удобрений, что может не только повысить уровень биогенности эродированных почв за счет увеличения их заселенности микроорганизмами, но и вовлечь биологические факторы для улучшения минерального питания, стимуляции роста и защиты растений. Как показывает опыт наших исследований, микробные удобрения наиболее эффективны в стрессовых условиях [7].

Современным направлением биологизации растениеводства на эродированных почвах является разработка полифункциональных микробных удобрений. Эта задача реализуется путем создания многокомпонентных инокулянтов, включающих штаммы микроорганизмов с разными полезными свойствами. Для биологизации растениеводства на эродированных почвах разработан бинарный инокулянт, который включает штаммы азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий – *Azospirillum brasilense* и *Bacillus circulans*.

Цель исследований – изучить влияние бинарного бактериального инокулянта *A. brasilense* + *B. circulans* на урожайность и качество озимой пшеницы при возделывании на эродированных дерново-подзолистых почвах, сформированных на лессовидных и моренных суглинках.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лабораторный опыт. Для количественной оценки совместного действия азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий *A. brasilense* и *B. circulans* на развитие проростков яровой пшеницы проведен краткосрочный лабораторный опыт. Поверхностная стерилизация семян проведена 10 % H_2O_2 в течение 30 мин с последующим отмыванием стерильной водой. Стерильные семена инокулировали суспензиями моноинокулянтов и бинарной бактериальной композицией *A. brasilense* + *B. circulans*. На полосу полиэтиленовой пленки (10×55 см) накладывали равную по размеру полосу фильтровальной бумаги, увлажненную до полной влагоемкости. На фильтровальную бумагу выкладывали инокулированные семена пшеницы (интервал 1–2 см), накрывали полосой фильтровальной бумаги, сворачивали в рулоны и устанавливали вертикально в стеклянные стаканы. Экспозиция проводилась в течение 7 суток при $t = 22–25$ °С. Действие моно- и бинарного инокулянтов на проростки пшеницы оценивали по биометрическим характеристикам – длине, количеству и сухой массе корней, длине и сухой массе проростков.

Полевые опыты для оценки эффективности бинарной композиции на посевах озимой пшеницы. В Центральной и Северной почвенно-экологических провинциях республики заложены стационарные полевые опыты на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных и моренных суглинках по геоморфологическому профилю. На водораздельной равнине расположена незеродированная почва, в верхней части склона – среднеэродированная, в средней части – сильноэродированная почва.

В Северной провинции в стационаре «Браслав» изучено влияние бинарной бактериальной композиции на урожайность озимой пшеницы сорта Богатка на эродированных дерново-подзолистых почвах на мощных моренных суглинках: в 2014 г. – на фоне $N_{90+20}P_{50}K_{120}$, в 2016 г. – $N_{90+30}P_{60}K_{120}$. Бинарная бактериальная композиция внесена путем инокуляции посевов весной в фазе кушения, соотношение компонентов 1:1 (титры: *A. brasilense* – $1,6 \cdot 10^9$ КОЕ/мл, *B. circulans* – $1,6 \cdot 10^9$ КОЕ/мл). Общая площадь делянки на водораздельной равнине – 12,5 м², на эродированных почвах – 10 м², учетная площадь – 9 м² и 7 м² соответственно. Повторность в опыте трехкратная.

В Центральной провинции в стационаре «Стоковые площадки» изучено влияние двухкомпонентного бактериального инокулянта на урожайность озимой пшеницы сортов Богатка и Сукцес на эродированных дерново-подзолистых

почвах на мощных лессовидных суглинках: в 2015 г. – на фоне $N_{90+30}P_{60}K_{90}$, в 2016 г. – $N_{90+30}P_{60}K_{100}$. Инокуляция посевов озимой пшеницы проведена весной в фазе кущения бинарным инокулянтom *A. brasilense* + *B. circulans* (титры: $1,5 \cdot 10^9$ КОЕ/мл в соотношении 1:1) на всех элементах склона. Повторность в опытах трехкратная. Общая площадь делянки на водораздельной равнине – 50 м², на эродированных почвах – 40 м², учетная площадь соответственно – 35 м² и 30 м².

Минеральные удобрения (аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) вносили перед посевом, карбамид – перед посевом и в подкормку.

Агрохимические свойства пахотного слоя почв полевых опытов и метеорологические условия вегетационных периодов в годы исследований (ГТК по Г.Т. Селянину) представлены в табл. 1. Статистическую обработку результатов исследований проводили по Б.А. Доспехову с использованием соответствующих программ для дисперсионного анализа на ПЭВМ.

Для оценки качества продукции определяли содержание общего и белкового азота, фосфора, калия, кальция и магния в зерне озимой пшеницы методом ИК-спектрометрии (NIR Systems 4500).

Таблица 1

Характеристика объектов и гидротермических условий в период исследований

Год исследований	Почва	Культура	Гумус, % (ГОСТ 26213-91)	рН _{KCl} (ГОСТ 26483-85)	(ГОСТ 26207-91)		ГТК
					P ₂ O ₅	K ₂ O	
2015	Эродированная дерново-подзолистая, развивающаяся на мощных лессовидных суглинках	Озимая пшеница Богатка	1,3–1,8	5,5–5,7	272–284	215–269	1,32
2016		Озимая пшеница Сукцес	0,8–2,5	5,5–5,9	290–330	180–230	1,43
2014, 2016	Эродированная дерново-подзолистая, развивающаяся на мощных моренных суглинках	Озимая пшеница Богатка	1,5–2,0	6,1–6,3	177–280	127–185	1,42 1,70

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для создания бинарной бактериальной композиции из собственных коллекций были отобраны биологически совместимые штаммы азотфиксирующих *Azospirillum brasilense* 2(в)3 и калиймобилизующих бактерий *Bacillus circulans* К–81. Критериями отбора штаммов для бактериальной композиции были высокие показатели активности по целевым свойствам – азотфиксации, калиймобилизации, а также наличие дополнительных приспособительных свойств, способствующих адаптации в конкурентных условиях ризосферы растений. В серии *in vitro* экспериментов установлена совместимость штаммов бактерий *A. brasilense* 2(в)3 и *B. circulans* К–81 [8].

Штамм *Azospirillum brasilense* 2(в)3 характеризуется высоким гормональным эффектом на растения [8, 10], значительным азотфиксирующим потенциалом [9] и способностью к растворению ортофосфата кальция [10]. *Azospirillum spp.* спо-

способны осуществлять все реакции цикла азота, кроме нитрификации. В качестве источников азота азоспириллы могут использовать как молекулярный азот, так и аммоний, нитраты, аминокислоты [11].

Штамм *Bacillus circulans* К-81 характеризуется высокой активностью мобилизации труднодоступных форм почвенного калия из почвенных калийсодержащих минералов, в частности, из слюд и гидрослюд, а также способен использовать разные по степени подвижности формы калия в гидрослюдах [12]. Штамм активен в отношении мобилизации фосфора из нерастворимых трехзамещенных фосфатов кальция [10].

Отобранные штаммы не патогенны, не опасны для человека и окружающей среды, удовлетворяют требованиям технологичности, характеризуются высокой скоростью роста на недорогих субстратах, сохранением титров и отсутствием заражения посторонней микрофлорой при длительном культивировании [8].

В течение четырех лет тестировали бинарный бактериальный инокулянт *A. brasilense* + *B. circulans* на двух сортах озимой пшеницы, Богатка и Сукцес, на эродированных дерново-подзолистых почвах, сформированных на лессовидных и моренных суглинках. Сравнительный анализ урожайных данных, полученных на разных фонах удобрений, позволил выявить ряд общих зависимостей.

Установлено, что бинарный бактериальный инокулянт был эффективен на разных элементах склона и обеспечивал прибавки урожайности озимой пшеницы на неэродированной, средне- и сильноэродированной почвах.

В большинстве случаев отмечено повышение эффекта от бинарного бактериального инокулянта при возделывании озимой пшеницы в условиях стресса на сильноэродированных почвах.

В полевом опыте на дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках в течение 2-х лет исследований наибольший эффект от инокуляции посевов бинарным инокулянтом получали на сильноэродированных почвах. Прибавки урожайности зерна озимой пшеницы Богатка составили: в 2014 г. на неэродированной почве – 1,9 ц/га (урожайность без инокуляции 50,3 ц/га), на сильно эродированной – 3,2 ц/га (урожайность без инокуляции 39,0 ц/га); в 2016 г. – 3,5 ц/га (без инокуляции 52,5 ц/га), и 3,9 ц/га (без инокуляции 39,4 ц/га) соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Влияние бинарного инокулянта на урожайность озимой пшеницы Богатка на эродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках (Стационар «Браслав», 2014 и 2016 гг.)

Почва	Вариант	2014 г.		2016 г.	
		1	2	1	2
Неэродированная.	Контроль	50,3	–	52,5	–
	А+В	52,2	1,9	56,0	3,5
Среднеэродированная	Контроль	48,1	–	50,7	–
	А+В	50,1	2,0	53,9	3,2
Сильноэродированная	Контроль	39,0	–	39,4	–
	А+В	42,2	3,2	43,3	3,9
НСР ₀₅	А (почва)	2,29		3,45	
	В (инокуляция)	1,62		3,04	

Примечание. А – *A. brasilense*; В – *B. circulans*; 1 – урожайность, ц/га; 2 – прибавка, ц/га.

В полевом опыте на дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках в 2015 г. прибавка урожайности озимой пшеницы Богатка от бинарного инокулянта на незеродированной почве составила 3,7 ц/га (урожайность без инокуляции 77,5 ц/га). На среднеэродированной почве отмечено повышение эффекта от инокуляции посевов, прибавка зерна составила 4,8 ц/га (урожайность без инокуляции 74,2 ц/га). На сильноэродированной почве эффект от инокуляции снижался до 3,5 ц/га зерна (урожайность без инокуляции 72,1 ц/га). В 2016 г. при возделывании озимой пшеницы Сукцес установлено повышение эффективности бинарного бактериального инокулянта на эродированных почвах: от 3,6 ц/га зерна (урожайность без инокуляции 61,4 ц/га) на незеродированной почве до 4,6 ц/га (урожайность без инокуляции 45,9 ц/га) на сильноэродированной почве (табл. 3).

Таблица 3

Влияние бинарного инокулянта на урожайность озимой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках (Стационар «Стоковые площадки», 2015 и 2016 гг.)

Почва	Вариант	Сорт Богатка, 2015 г.		Сорт Сукцес, 2016г.	
		1	2	1	2
Неэродированная	Контроль	77,5	–	61,4	–
	А+В	81,2	3,7	65,0	3,6
Среднеэродированная	Контроль	74,2	–	54,2	–
	А+В	79,0	4,8	58,3	4,1
Сильноэродированная	Контроль	72,1	–	45,9	–
	А+В	75,6	3,5	50,5	4,6
НСР ₀₅	А (почва)	2,55		2,93	
	В (инокуляция)	2,95		3,39	

Примечание. А – *A. brasilense*; В – *B. circulans*; 1 – урожайность, ц/га; 2 – прибавка, ц/га.

В задачи исследований входила оценка влияния бинарного инокулянта на качество продукции, что является приоритетным вопросом на эродированных почвах, где растения испытывают дефицит элементов питания в результате развития эрозионных процессов [1–3].

Для оценки качества продукции определено содержание общего и белкового азота, фосфора, калия, кальция и магния в зерне озимой пшеницы, а также сырой протеин, сбор белка и масса 1000 зерен.

Установлено, что на незеродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках (стационар «Браслав») инокуляция посевов озимой пшеницы Богатка бинарным инокулянтom *A. brasilense* + *B. circulans* приводила к достоверному повышению $N_{\text{общ}}$ и $N_{\text{белк}}$ и содержания протеина в зерне. На эродированных почвах отмечено достоверное повышение содержания белкового азота в зерне и сырого протеина. Инокуляция посевов приводила к увеличению сбора белка и повышению массы 1000 зерен озимой пшеницы на всех элементах склона. Влияние бинарного инокулянта на содержание P_2O_5 , K_2O , CaO и MgO в зерне было несущественным (табл. 4, 5).

Повышение содержания белкового азота косвенно указывает на вклад азотфиксирующих бактерий *A. brasilense* в азотное питание озимой пшеницы. Поло-

жительное влияние азоспирилл, как моноинокулянтов, на содержание протеина в зерне ячменя и сухой массе разных видов многолетних злаковых трав было установлено нами ранее [9].

Таблица 4

Содержание элементов питания в зерне озимой пшеницы Богатка при использовании бинарного инокулянта на дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках («Браслав», 2016 г.)

Почва	Вариант	% в сухом веществе					
		N _{общ}	N _{белк}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Неэродированная	Контроль	2,07	1,98	0,68	0,46	0,07	0,13
	A+B	2,09	2,02	0,61	0,41	0,07	0,12
Среднеэродированная	Контроль	1,98	1,87	0,72	0,49	0,06	0,13
	A+B	2,00	1,91	0,67	0,46	0,06	0,12
Сильноэродированная	Контроль	1,95	1,86	0,71	0,48	0,06	0,13
	A+B	2,02	1,92	0,75	0,51	0,06	0,14
НСП ₀₅	A (почва)	0,04	0,04	0,03	0,02	0,004	0,006
	B (инокуляция)	0,03	0,03	0,02	0,01	0,003	0,005

Примечание. А – *A. brasilense*; В – *B. circulans*; 1 – урожайность, ц/га; 2 – прибавка, ц/га.

Таблица 5

Влияние бинарного инокулянта на качество озимой пшеницы Богатка на дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках («Браслав», 2016 г.)

Почва	Вариант	Сырой белок, %	Сбор сырого белка, ц/га	Масса 1000 зерен, г
Неэродированная	Контроль	11,3	5,9	42,9
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	11,5	6,4	43,5
Среднеэродированная	Контроль	10,7	5,4	42,4
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	10,9	5,9	43,0
Сильноэродированная	Контроль	10,6	4,2	39,6
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	10,9	4,7	40,9
НСП ₀₅	A (почва)	0,23		0,48
	B (инокуляция)	0,17		0,39

При возделывании озимой пшеницы Богатка на дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках («Стоковые площадки») под влиянием двухкомпонентного инокулянта отмечено достоверное повышение содержания белкового азота и сырого протеина на неэродированных и сильноэродированных почвах. Установлено повышение сбора белка и существенное увеличение массы 1000 зерен (табл. 6, 7).

При возделывании озимой пшеницы Сукцес на неэродированной, средне- и сильноэродированной почвах проявилась тенденция повышения содержания N_{белк} при бинарной инокуляции. Достоверным было влияние бактериальной композиции на массу 1000 зерен озимой пшеницы Сукцес. Содержание P₂O₅, K₂O, CaO и MgO в зерне обоих сортов озимой пшеницы не зависело от инокуляции (табл. 6, 7).

Таблица 6

Содержание элементов питания в зерне озимой пшеницы при использовании бинарного инокулянта *A. brasilense* + *B. circulans* на дерново-подзолистой почве на лессовидных суглинках («Стоковые площадки» 2015, 2016 гг.)

Почва	Вариант опыта	Содержание (% в сухом веществе)					
		N _{общ}	N _{белк}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
<i>Сорт Богатка, 2015 г.</i>							
Неэродированная	Контроль	1,91	1,81	0,65	0,45	0,05	0,12
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	2,03	1,93	0,59	0,40	0,06	0,11
Среднеэродированная	Контроль	1,88	1,79	0,62	0,43	0,05	0,11
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	1,93	1,84	0,67	0,46	0,05	0,12
Сильноэродированная	Контроль	1,84	1,75	0,64	0,45	0,05	0,11
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	1,93	1,84	0,66	0,46	0,05	0,12
НСП ₀₅	А (почва)	0,08	0,08	0,04	0,02	0,002	0,002
	В (инокуляция)	0,09	0,09	0,04	0,03	0,002	0,003
<i>Сорт Сукцес, 2016 г.</i>							
Неэродированная	Контроль	1,80	1,72	0,69	0,50	0,04	0,12
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	1,84	1,75	0,68	0,48	0,04	0,12
Среднеэродированная	Контроль	1,75	1,67	0,74	0,53	0,03	0,13
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	1,80	1,72	0,73	0,51	0,04	0,12
Сильноэродированная	Контроль	1,62	1,55	0,74	0,53	0,03	0,12
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	1,72	1,64	0,71	0,50	0,04	0,12
НСП ₀₅	А (почва)	0,10	0,10	0,05	0,04	0,002	0,003
	В (инокуляция)	0,12	0,12	0,06	0,04	0,001	0,002

Примечание. А – *A. brasilense*; В – *B. circulans*.

Таблица 7

Влияние бинарного инокулянта на качество озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках («Стоковые площадки» 2015, 2016 гг.)

Почва	Вариант	Сорт Богатка, 2015 г.			Сорт Сукцес, 2016 г.		
		Сырой белок, %	Сбор сырого белка, ц/га	Масса 1000 зерен, г	Белок, %	Сбор сырого белка, ц/га	Масса 1000 зерен, г
Неэродированная	Контроль	10,3	8,0	49,1	9,8	6,0	44,7
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	11,1	9,0	50,9	10,0	6,5	45,2
Среднеэродированная	Контроль	10,2	7,6	48,1	9,5	5,1	43,7
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	10,7	8,5	49,8	9,8	5,7	44,8
Сильноэродированная	Контроль	10,0	7,2	47,5	8,8	4,0	42,0
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	10,5	7,9	48,9	9,3	4,7	43,2
НСП ₀₅	А (почва)	0,46		0,77	0,57		0,51
	В (инокуляция)	0,51		0,63	0,68		0,41

На эродированных почвах важную роль играет адаптация растений. Стимуляция развития корневой системы, вызванная инокуляцией, может быть значимым фактором повышения их адаптивного потенциала и урожайности растений. Более

развитая корневая система является также фактором усиления почвозащитных свойств сельскохозяйственной культуры при возделывании на эродированных почвах.

Литературные данные [13–15] и наши собственные исследования [8, 9] свидетельствуют, что *Azospirillum brasilense* отличаются повышенным гормональным воздействием на инокулированные растения. По параметрам стимуляции роста корней бактерии *Azospirillum brasilense* превосходят многих представителей PGPR (стимулирующих рост ризобактерий).

Наиболее часто наблюдаемые и регистрируемые эффекты от инокуляции *A. brasilense* – это изменение морфологии корней, их числа, длины и массы [8, 10]. На эродированных почвах способность азоспирилл стимулировать развитие корней имеет существенное значение, так как позволяет не только повысить урожайность, но и улучшить почвозащитные свойства сельскохозяйственной культуры.

Данные краткосрочного (7 суток) лабораторного эксперимента показали, что при совместном действии азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий *A. brasilense* + *B. circulans* отмечен значительный гормональный эффект. Длина проростка пшеницы увеличивалась на 21 %, суммарная длина корней одного растения – на 25 %, число корней – на 10 %, сухая масса корней – на 28 %, сухая масса надземной части – на 33 % по сравнению с контрольными вариантами (табл. 8).

Таблица 8

Влияние бинарного бактериального инокулянта *A. brasilense* + *B. circulans* на развитие корневой системы пшеницы (лабораторный эксперимент, 2017 г.)

Вариант	N _{корней} / растение	L _{корней} /растение, мм	СМ корней, г	СМ надземной части, г
Контроль	4,43	328,27	0,25	0,18
<i>A. brasilense</i>	4,83	402,22	0,31	0,24
<i>B. circulans</i>	4,82	406,17	0,29	0,22
A + B	4,88	410,95	0,32	0,24
НСР ₀₅	0,16	21,48	0,05	0,04

Примечание. А – *A. brasilense*; В – *B. circulans*; СМ – сухая масса; L – длина; N – количество.

ВЫВОДЫ

Установлено, что бинарная бактериальная композиция, включающая штаммы азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий *A. brasilense* + *B. circulans* является эффективным инокулянтом для озимой пшеницы при возделывании на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах. Бинарный инокулянт обеспечивает прибавки урожайности двух сортов озимой пшеницы, Богатка и Сукцес, на разных элементах склона: незеродированной, средне- и сильноэродированной дерново-подзолистых почвах, сформированных на моренных и лессовидных суглинках.

Эффективность бинарного инокулянта *A. brasilense* + *B. circulans* повышается в условиях стресса на эродированных почвах. На дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках прибавки зерна озимой пшеницы Богатка в 2014 и

2016 г. составили на неэродированной почве 1,9 и 3,5 ц/га, на сильноэродированной – 3,2 и 3,9 ц/га соответственно. На дерново-подзолистых почвах на лесовидных суглинках прибавка зерна озимой пшеницы сорта Сукцес на неэродированной почве составила 3,6 ц/га, на сильноэродированной повышалась до 4,6 ц/га; при возделывании сорта Богатка наибольший эффект был получен на среднеэродированной почве – 4,8 ц/га по сравнению с 3,7 ц/га на контроле без инокуляции.

На эродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках бинарный инокулянт способствовал повышению содержания сырого протеина, увеличивал сбор сырого белка и массу 1000 зерен озимой пшеницы Богатка.

При использовании бинарной бактериальной композиции повышение урожайности озимой пшеницы на эродированных почвах в значительной степени обусловлено повышением адаптационного потенциала инокулированных растений. Под действием *A. brasilense* + *B. circulans* суммарная длина корней одного растения увеличивалась на 25 %, число корней – на 10 %, сухая масса корней – на 28 %, сухая масса надземной части растения – на 33 % по сравнению с контролем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / Г.И. Кузнецов [и др.]; под ред. Г.И. Кузнецова, Н.И. Смеяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.
2. Черныш, А.Ф. Экологически безопасное использование земель холмисто-моренных ландшафтов Белорусского Поозерья / А.Ф. Черныш, Ю.П. Качков, И.И. Касьяненко // Природные ресурсы. – 2003. – № 2. – С. 21–36.
3. Проектирование противозерозионных комплексов и использование эрозионноопасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси: рекомендации / А.Ф. Черныш [и др.]; РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси»; под общ. ред. А.Ф. Черныша. – Минск, 2005. – 52 с.
4. Хазиев, Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф.Х. Хазиев. – М.: Наука, 1982. – 202 с.
5. Косинова, Л.Ю. Влияние эрозии на микробные сообщества черноземов Западной Сибири / Л.Ю. Косинова, Н.И. Гантимурова, А.А. Танасиенко // Почвоведение. – 1993. – № 8. – С. 72–80.
6. Ферментативная активность эродированных дерново-подзолистых почв на мощных моренных суглинках / Н.А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 2(51). – С. 123–133.
7. Эффективность бактериального удобрения Калиплант на посевах яровой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках / А.Ф. Черныш [и др.] // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2013. – № 1. – С. 51–57.
8. Влияние микробной композиции и ее компонентов на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур / Н.А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 2(59). – С. 166–176.
9. Эффективность бактериализации ячменя на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Н.А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 2(35). – С. 146–152.

10. Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н.А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 225–231.

11. *Zimmer, W.* The phytohormonal interactions between *Azospirillum* and wheat / W. Zimmer and H. Bothe // Nitrogen fixation with non-legumes / F.A. Skinner et al. (Eds); Kluwer Academic Publishers. – 1989. – P. 137–145.

12. . Количественная оценка активности калиймобилизующих бактерий и их эффективность на посевах озимой ржи / Н.А. Михайловская [и др.] // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2006. – № 3. – С. 41–46.

13. *Okon, Y.* Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots / Y. Okon, Y. Kapulnik // Plant Soil. – 1986. – Vol. 90. – P. 3–16.

14. *Bashan, Y.* Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture / Bashan Y, Levanony H. // Can. J. Microbiol. – 1990. – Vol. 36. – P. 591–608.

15. *Okon, Y.* Agronomic application of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years world-wide field inoculation / Y. Okon, C.A. Labandera-Gonzalez // Soil Biol. Biochem. – 1994. – Vol. 26. – P. 1591–1601.

EFFECT OF BINARY INOCULANT *A. BRASILENSE* + *B. CIRCULANS* ON YIELD AND QUALITY WINTER WHEAT GROWING ON ERODED SOD-PODZOLIC LOAMY SOILS

**N.A. Mikhailovskaya, N.N. Tsybulko, A.V. Yukhnovets,
A.M. Ustinova, T.V. Barashenko**

Summary

Binary inoculant application resulted in the yield increase of two cultivars of winter wheat at different slope elements: not eroded, moderately – and severely eroded sandy loam soils on morain and loess loams. The effect from binary inoculant *A. brasilense* + *B. circulans* is increased in stress conditions on eroded soils. In the field experiment on not eroded sod podzolic loamy soil on moraine loam the responses of winter wheat to inoculation varied in diapason of 1,9–3,5 c ha⁻¹, on severely eroded soils – in diapason of 3,2– 3,9 c ha⁻¹ of grain. Application of binary inoculant resulted in the improvement of winter wheat grain quality in respect of protein content and 1000 grains mass.

Поступила 03.05.18

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПИТАНИЯ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОДУКЦИИ И ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ЛЮПИНОМ УЗКОЛИСТНЫМ

Т.Ф. Перскова, М.Л. Радкевич

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

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач растениеводческой отрасли сельского хозяйства Республики Беларусь является обеспечение собственного производства белкового сырья для животноводства. Значимая роль в решении проблемы производства кормового протеина принадлежит зернобобовым культурам. Среди зернобобовых культур большое кормовое и агротехническое значение имеет люпин узколистный, который отличается самым высоким содержанием белка среди зернобобовых культур [6].

На нынешнем этапе развития агропромышленного комплекса страны на первое место выходят ресурсосберегающие технологии. Применительно к бобовым культурам это можно осуществить за счет бактериальных препаратов для максимального использования потенциала симбиотической фиксации азота воздуха и фосфатмобилизующей способности некоторых бактерий. В последнее время перспективным является использование двухкомпонентных биопрепаратов, которые характеризуются комплексом положительных свойств [10]. Применение бактериальных удобрений способствует улучшению минерального питания растений, повышению урожаев и кормовой ценности продукции при рациональных расходах минеральных удобрений, улучшению экологического состояния почв и их плодородия [9].

Управление ростом и развитием растений при помощи регуляторов роста приобретает актуальное значение в связи с тем, что они повышают устойчивость растений к неблагоприятным условиям и позволяют существенно увеличить урожайность при минимальных затратах.

В технологии возделывания люпина основным фактором формирования высокой урожайности с хорошим качеством продукции является система применения удобрений, важной составляющей которой являются микроудобрения [6]. Поэтому актуальна разработка и совершенствование научных основ рационального, агрохимически эффективного и экологически безопасного применения микроудобрений в зависимости от погодных-климатических условий и обеспечения растений основными элементами питания [1].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опыты с люпином узколистным сортов зернового направления Першацвет и Ян проводили в 2011–2013 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины 1 м моренным суглинком на территории УНЦ «Опытные поля БГСХА». Почва средне-

окультуренная (индекс агрохимической окультуренности – 0,71) и по годам исследования имела низкое и среднее содержание гумуса (1,48–1,69 %), повышенное и среднее – подвижных форм фосфора и калия (238–242 мг/кг; 176–187 мг/кг соответственно), низкое и среднее содержание меди и цинка (1,35–2,82 мг/кг; 1,87–3,26 мг/кг соответственно), низкое содержание Со (0,55–0,6 мг/кг) и Мп обм. (1,5 мг/кг). Реакция почвы была близкой к нейтральной (pH_{KCl} 6,13–6,2).

Агротехника возделывания люпина узколистного (обработка почвы, нормы высева семян, сроки и способы сева) – рекомендуемая современными технологическими регламентами. Предшественник – яровые зерновые. Повторность четырехкратная. Расположение делянок рендомизированное, форма – прямоугольная. Общая площадь делянки составила 30 м², учетная – 25 м².

Минеральные удобрения вносили в дозах $N_{30}P_{30}K_{90}$ и $N_{30}K_{90}$. В опытах применяли карбамид (46 % N), аммофос (10 % N, 50 % P_2O_5), хлористый калий (60 % K_2O). В качестве протравителя применяли Максим XL в дозе 1 л/т. Микроэлементы, регуляторы роста и бактериальные препараты вводили в пленкообразующие составы при предпосевной обработке семян. В качестве прилипателя использовали 2%-й раствор NaKMЦ. Для инкрустации семян применяли различные формы микроэлементов в виде солей: $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, $Na_3[Co(NO_2)_6]$, $MnSO_4 \cdot 5H_2O$ и однокомпонентные микроэлементы в хелатной форме – $NaCuH(edta) \cdot nH_2O$, $NaZnH(edta) \cdot nH_2O$, $NaCoH(edta) \cdot nH_2O$. Также совместно с микроэлементами в инкрустационные составы вводили регулятор роста Эпин в дозе 80 мл/т. Бактериальные препараты, созданные в Институте микробиологии НАН Беларуси, фитостимифос и сапронит для инокуляции семян применяли в дозе 200 мл на гектарную норму высева. Схемой опыта было предусмотрено также изучение жидкого комплексного удобрения ЖКУ (разработанного в РУП «Институт почвоведения и агрохимии»), которое содержит главные для растений элементы питания – азот (61 г/л), фосфор (86 г/л), калий (123 г/л), а также добавки микроэлементов бор (1,8 г/л) и молибден в хелатной форме. ЖКУ применяли в фазу бутонизации культуры во внекорневую подкормку в дозе 4 л/га.

Анализы растительных проб зерна, соломы проводили по соответствующим методикам: определение сухой массы – по ГОСТу 23637-90; азот, фосфор, калий – в одной навеске после мокрого озоления по методу ЦИНАО; фосфор – на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 26657-97), калий – на пламенном фотометре, азот – по Кьельдалю (ГОСТ 13496-93), кальций, магний – на атомно-адсорбционном спектрофотометре ААС-30 [2].

Учет урожайности проводился сплошным поделяночным способом. Статистическая обработка результатов исследований проводилась методом дисперсионного анализа на ЭВМ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание элементов питания является важным показателем оценки качества культуры и эффективности применяемых удобрений. Оптимизация условий питания растений является наиболее важным фактором в формировании высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Содержание элементов питания в растении определяется условиями выращивания и зависит от фазы роста и развития растений [3]. При этом содержание элементов питания непосредственно влияет

на качество растениеводческой продукции (содержание белка, крахмала, аминокислотный состав и т.д.).

Химический состав зерна узколистного люпина, его урожайность и выход питательных веществ зависят от сорта, метеоусловий, почвенного плодородия, агротехники и ряда других внешних факторов [8]

Азот является одним из важнейших элементов, определяющих продуктивность растений. Люпин узколистный с урожаем зерна 10 ц/га потребляет более 80 кг азота. Проведенные исследования показали, что наиболее существенное влияние макро- и микроэлементы, бактериальные удобрения и регуляторы роста растений оказали именно на содержание азота в зерне и соломе люпина узколистного. В среднем за три года содержание азота в зерне люпина узколистного сорта Першацвет изменялось в пределах 4,52–5,16 % (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав зерна и соломы люпина узколистного сорта Першацвет, 2011–2013 гг., % на сухое вещество

Вариант	Зерно					Солома				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1. Контроль (без удобрений)	4,52	0,68	0,88	0,34	0,26	0,87	0,34	2,08	0,54	0,26
2. N ₃₀ P ₃₀ K ₉₀	4,58	0,74	0,94	0,39	0,28	0,93	0,36	2,32	0,59	0,30
3. N ₃₀ K ₉₀	4,61	0,74	0,95	0,42	0,31	0,93	0,36	2,54	0,64	0,33
4. N ₃₀ P ₃₀ K ₉₀ + фитостимифос + сапронит	4,68	0,77	0,99	0,45	0,31	1,14	0,39	2,68	0,69	0,37
5. N ₃₀ P ₃₀ K ₉₀ + фитостимифос + сапронит + эпин – фон	4,72	0,81	1,01	0,44	0,31	1,21	0,40	2,74	0,75	0,41
6. Фон + ЖКУ	4,80	0,91	1,19	0,62	0,35	1,25	0,51	2,89	1,00	0,55
7. Фон + CuSO ₄ *5H ₂ O	4,86	0,89	1,14	0,52	0,34	1,40	0,48	3,03	0,92	0,51
8. Фон + Cu(хелат)	5,02	0,94	1,17	0,60	0,35	1,43	0,49	2,94	0,92	0,50
9. Фон + ZnSO ₄ *7H ₂ O	4,97	0,94	1,06	0,56	0,34	1,49	0,50	2,76	0,92	0,52
10. Фон + Zn(хелат)	4,92	0,91	1,20	0,57	0,37	1,54	0,57	2,95	0,98	0,53
11. Фон + Na ₃ [Co(NO ₂) ₆]	5,02	1,01	1,27	0,59	0,39	1,57	0,60	3,11	1,08	0,58
12. Фон + Co(хелат)	5,16	1,05	1,34	0,68	0,48	1,66	0,62	3,18	1,36	0,61
13. Фон + MnSO ₄ *5H ₂ O	5,00	1,10	1,32	0,72	0,46	1,74	0,64	3,25	1,24	0,63
HCP ₀₅	0,049	0,021	0,021	0,024	0,008	0,031	0,039	0,061	0,035	0,008

Содержание азота в зерне по годам в вариантах без минеральных удобрений изменялось в пределах 4,50–4,53 % (разница 0,03 %). Допосевное внесение макроудобрений в дозе N₃₀P₃₀K₉₀ в среднем за 3 года повышало содержание азота в зерне сорта Першацвет на 0,06 %. Способствовало некоторому увеличению количества азота в зерне (на 0,10 %) применение бактериальных удобрений сапронит и фитостимифос. Положительное влияние на накопление азота в зерне оказали микроэлементы. Так, включение в предпосевную обработку семян хелатной формы кобальта повышало содержание азота в зерне относительно фонового варианта N₃₀P₃₀K₉₀ + фитостимифос + сапронит + эпин на 0,44 %, и было максимальным

по вариантам опыта – 5,16 %. В среднем повышение концентрации азота в зерне от применения микроэлементов составило 0,27 %.

Содержание белковых веществ в зерне люпина было обусловлено как биологическими особенностями, так и условиями произрастания. Как считает И.П. Такунов [12], наименьшее количество белка в зерне накапливается в годы с дождливым и холодным летом, особенно в период цветения-образования бобов. В наших исследованиях погодно-климатические условия 2012 г. (холодный и дождливый июль) в период налива зерна обусловили самое низкое содержание азота в зерне по годам исследования – 4,50–4,93 %.

Достоверное увеличение содержания азота (4,80 %) в зерне было отмечено в варианте с применением жидкого комплексного удобрения для зернобобовых культур – (+0,08 %).

Максимальное содержание азота в соломе люпина узколистного сорта Першацвет (1,74 %) наблюдалось в варианте с использованием микроудобрения $MnSO_4 \cdot 5H_2O$ на фоне $N_{30}P_{30}K_{90}$ + фитостимифос + сапронит + эпин. В среднем за три года содержание азота в соломе изменялось в пределах 0,87–1,74 %.

Во всех удобряемых вариантах содержание фосфора и калия в зерне и соломе было выше, чем в вариантах без внесения удобрений. Так в зерне люпина узколистного содержание фосфора и калия на фоне $N_{30}P_{30}K_{90}$ составило 0,74 и 0,94 %, на фоне $N_{30}P_{30}K_{90}$ + фитостимифос + сапронит + эпин – 0,81 и 1,01 %. В зерне люпина узколистного сорта Першацвет содержание фосфора в зависимости от исследуемых микроэлементов оказалось на уровне 0,89–1,10 %, калия – 1,06–1,34 %. Содержание фосфора в соломе люпина колебалось от 0,34 до 0,64 %. Наибольшее количество калия в соломе было в варианте с использованием в предпосевной обработке сульфата марганца (3,25 %) и хелатной формы кобальта (3,18 %).

Содержание азота в зерне люпина узколистного сорта Ян при внесении $N_{30}P_{30}K_{90}$, $N_{30}K_{90}$ по сравнению с вариантом без внесения удобрений возросло в среднем за 3 года исследований на 0,05 и 0,11 %, в соломе на 0,06 и 0,10 % соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Химический состав зерна и соломы люпина узколистного сорта Ян, 2011–2013 гг., % на сухое вещество

Вариант	Зерно					Солома				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1. Контроль (без удобрений)	4,57	0,64	1,03	0,27	0,26	0,71	0,26	2,24	0,49	0,25
2. $N_{30}P_{30}K_{90}$	4,62	0,72	1,10	0,40	0,27	0,77	0,27	2,50	0,59	0,26
3. $N_{30}K_{90}$	4,68	0,75	1,12	0,43	0,27	0,81	0,34	2,62	0,66	0,29
4. $N_{30}P_{30}K_{90}$ + фитостимифос + сапронит	4,71	0,78	1,16	0,44	0,28	0,83	0,38	2,79	0,72	0,30
5. $N_{30}P_{30}K_{90}$ + фитостимифос + сапронит + эпин – фон	4,82	0,79	1,17	0,46	0,28	0,87	0,41	2,85	0,80	0,31
6. Фон + ЖКУ	4,98	0,91	1,33	0,56	0,33	1,10	0,45	3,15	1,02	0,44
7. Фон + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	5,01	0,86	1,26	0,52	0,30	1,00	0,45	3,36	0,92	0,37

Вариант	Зерно					Солома				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
8. Фон + Cu(хелат)	5,00	0,90	1,27	0,55	0,31	1,03	0,48	3,15	0,95	0,39
9. Фон + ZnSO ₄ *7H ₂ O	4,96	0,84	1,23	0,52	0,31	0,91	0,45	3,11	1,01	0,40
10. Фон + Zn(хелат)	4,97	0,89	1,30	0,55	0,32	1,14	0,47	3,25	1,11	0,42
11. Фон + Na ₃ [Co(NO ₂) ₆]	5,06	0,93	1,31	0,60	0,33	1,23	0,53	3,47	1,19	0,48
12. Фон + Co(хелат)	5,11	1,03	1,31	0,68	0,34	1,38	0,72	3,62	1,24	0,52
13. Фон + MnSO ₄ *5H ₂ O	5,19	1,01	1,35	0,69	0,38	1,33	0,70	3,40	1,33	0,49
НСР ₀₅	0,051	0,025	0,028	0,007	0,005	0,0036	0,034	0,104	0,029	0,010

Положительное влияние на накопление азота в зерне оказал микроэлемент кобальт. В вариантах с применением его в различных формах содержание азота было свыше 5,0 %. Повышенным содержанием азота в зерне отличались и варианты с применением меди в неорганической форме в виде сульфата меди – 5,01 % (+0,19 % к фону) и в хелатной форме – 5,0 % (+0,18 %). Положительное действие меди на содержание азота в зерне можно объяснить участием меди в белковом обмене и низким содержанием данного микроэлемента в почве.

Наибольшее содержание азота (5,19 %) в зерне люпина узколистного сорта Ян в среднем за 2011–2013 гг. наблюдалось в варианте с использованием микроудобрения сульфата марганца на фоне N₃₀P₃₀K₉₀ + фитостимифос + сапронит + эпин.

Максимальное содержание азота в соломе изучаемого сорта Ян (1,38 %) наблюдалось в варианте с использованием хелатной формы кобальта на фоне применения бактериальных удобрений и регулятора роста. В среднем по вариантам опыта содержание азота в соломе находилось в пределах 0,71–1,38 %.

В целом по опыту в зерне люпина узколистного отмечалось достоверное повышение содержания фосфора в зерне и соломе в удобряемых вариантах. Содержание P₂O₅ изменялось в зависимости от применяемых систем удобрения от 0,64 % до 1,03 % в зерне и от 0,26 до 0,72 % в соломе.

Наибольшее количество калия в зерне было в варианте MnSO₄*5H₂O на фоне N₃₀P₃₀K₉₀ + фитостимифос + сапронит + эпин – 1,35 %. При использовании кобальта для предпосевной обработки семян повышалось содержание калия в зерне на 0,14 % (1,31 %). При использовании хелатной формы кобальта отмечено и максимальное содержание калия в соломе (3,62 %).

В целом, при анализе результатов исследований химического состава продукции сортов люпина узколистного установлено, что содержание азота и фосфора было выше в зерне, калия – в соломе.

Кроме азота, фосфора и калия растения в значительных количествах потребляют кальций, магний, которые по размерам потребления и по роли в формировании урожая относятся к группе мезофильных элементов. В среднем за три года исследований содержание оксида кальция в зерне люпина узколистного сортов Першацвет и Ян изменялось в пределах 0,34–0,72 % и 0,27–0,69 % соответственно. Содержание в зерне MgO являлось относительно стабильной величиной и находилось в пределах 0,26–0,48 %.

В целях поддержания в норме здоровья животных и повышения их продуктивности имеет значение не только абсолютное содержание в кормах минеральных

веществ, но и их соотношение [13]. С точки зрения кислотно-щелочного баланса кормов необходимо знать соотношение $K/(Ca : Mg)$ и $Ca : P$. Соотношение $K/(Ca : Mg)$ в опыте (по зерну) у сорта Першацвет составляло 1,1–1,4 (оптимальное – 1,4, допустимое – 2,2). Данный показатель у сорта Ян находился в пределах 1,3–1,9. Это свидетельствует о том, что корм безопасен для животных, у них не возникнет симптомов гипомагниевой болезни. Соотношение $Ca : P$ не должно превышать 1,6. Отношение $Ca : P$ в сухом веществе люпина узколистного по сортам изменялось в пределах 0,5–0,7.

Содержание элементов питания в зерне и соломе служит для определения хозяйственного и удельного выноса элементов [5]. Показатели выноса основных элементов питания с основной и побочной продукцией сельскохозяйственных культур находят широкое применение в агрохимической практике для расчета доз удобрений балансовым методом. Вынос элементов питания урожаем неустойчив и зависит от количества внесенных удобрений, свойств почвы, метеорологических условий, биологических особенностей культуры и сорта, содержания и соотношения элементов в семенах и соломе и т.д. [4].

По годам исследований (2011–2013 гг.) общий вынос питательных элементов изменялся в зависимости от содержания основных элементов питания в зерне и соломе люпина узколистного, а также от урожайности основной и побочной продукции (табл. 3).

Таблица 3

**Урожайность зерна, общий и удельный вынос элементов питания
люпином узколистным, сорт Першацвет, 2011–2013 гг.**

Вариант	Урожайность зерна, среднее 2011–2013 гг.	Общий вынос, кг/га					Удельный вынос (с 1 т основной и соответствующим количеством побочной продукции), кг				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1. Контроль (без удобрений)	17,2	89,6	18,2	63,0	17,8	10,0	52,3	10,6	36,4	10,4	5,8
2. N ₃₀ P ₃₀ K ₉₀	19,5	103,2	21,8	77,6	22,2	12,8	53,0	11,2	39,7	11,4	6,6
3. N ₃₀ K ₉₀	20,6	107,0	22,4	81,8	24,0	14,0	52,0	10,9	39,7	11,7	6,8
4. N ₃₀ P ₃₀ K ₉₀ + фитостимифос + сапронит	20,8	113,4	23,6	86,4	25,6	15,0	54,8	11,5	42,3	12,4	7,3
5. N ₃₀ P ₃₀ K ₉₀ + фитостимифос + сапронит + эпин – фон	22,9	123,2	25,9	89,5	27,8	16,6	53,8	11,4	39,4	12,1	7,2
6. Фон + ЖКУ	26,6	142,9	34,7	106,3	41,7	22,8	53,8	13,1	40,1	15,6	8,6
7. Фон + CuSO ₄ *5H ₂ O	31,4	165,4	36,4	109,4	37,8	22,6	52,6	11,6	34,9	12,0	7,2
8. Фон + Cu(хелат)	27,9	160,7	37,3	117,2	42,4	23,7	57,6	13,4	42,1	15,2	8,5
9. Фон + ZnSO ₄ *7H ₂ O	24,2	141,2	33,1	97,2	37,3	21,7	58,2	13,7	40,6	15,3	8,9
10. Фон + Zn(хелат)	27,2	152,9	36,3	107,5	39,8	22,7	56,2	13,4	40,0	14,7	8,4
11. Фон + Na ₃ [Co(NO ₂) ₆]	25,8	149,0	38,1	110,1	41,7	23,9	57,7	14,9	43,1	16,2	9,3

Вариант	Урожайность зерна, среднее 2011–2013 гг.	Общий вынос, кг/га					Удельный вынос (с 1 т основной и соответствующим количеством побочной продукции), кг				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
12. Фон + Со(хелат)	31,6	180,6	44,8	121,6	55,4	29,3	56,9	14,3	38,9	17,8	9,4
13. Фон + MnSO ₄ *5H ₂ O	28,6	165,6	43,9	119,5	51,4	28,0	57,8	15,4	42,1	17,9	9,9

По данным ранее проведенных исследований [11] оптимальное содержание основных элементов питания в основной и побочной продукции люпина узколистного составляет в зерне: N – 4,09–5,31, P₂O₅ – 1,12–1,34, K₂O – 0,83–1,5, CaO – 0,33–0,41, MgO – 0,27–0,32; в соломе N – 0,88–1,57, P₂O₅ – 0,46–0,69, K₂O – 1,65–2,45, CaO – 1,01–1,16, MgO – 0,35–0,76. Таким образом, приведенные данные по химическому составу зерна и соломы сортов люпина узколистного показывают, что содержание элементов минерального питания в наших исследованиях в целом соответствует стандартным параметрам.

В зависимости от варианта опыта для формирования урожайности люпина узколистного сорта Першацвет было использовано из почвы и удобрений 89,6–180,6 кг азота, 18,2–44,8 кг фосфора, 63,0–121,6 кг калия.

Наименьшие значения общего выноса отмечались в контрольном варианте – 89,6 кг азота, 18,2 кг фосфора, 63 кг калия. Применение минеральных удобрений в дозах N₃₀P₃₀K₉₀ и N₃₀K₉₀ способствовало возрастанию общего выноса всех элементов питания в среднем за 3 года исследований. Вынос азота, фосфора и калия возрастал на фоне применения бактериальных удобрений и регулятора роста на 20,0 кг по азоту, на 4,1 кг по фосфору, на 11,9 кг по калию. При применении микроэлементов вынос азота, фосфора и калия возрастал до 141,2–180,6 кг/га, 33,1–44,8 кг/га, 97,2–121,6 кг/га соответственно. При максимальной по опыту урожайности зерна (31,6 ц/га) в варианте с применением Со(хелат) хозяйственный вынос азота, фосфора и калия был значительно выше фонового варианта N₃₀P₃₀K₉₀+фитостимифос+сапронит+эпин и составил: азот – 180,6 кг/га, фосфор – 44,8 кг/га, калий – 121,6 кг/га соответственно.

В среднем за 2011–2013 гг. на удобряемых вариантах по сорту Першацвет общий вынос кальция и магния достигал 22,2–55,4 кг/га и 12,8–29,3 кг/га соответственно (табл. 3).

Удельный вынос элементов питания по вариантам опыта варьировал в значительно меньших пределах. Наименьший удельный вынос азота, фосфора и калия на 1 т основной и соответствующее количество побочной продукции люпина узколистного зафиксирован в контрольном варианте. Наибольшие величины удельного выноса азота (57,8–58,2 кг) в среднем за три года достигали в вариантах с использованием в предпосевной обработке семян сульфата марганца и цинка на фоне N₃₀P₃₀K₉₀ + фитостимифос + сапронит + эпин. Наибольший удельный вынос фосфора (15,4 кг) и калия (42,1, кг) также был в варианте с включением при обработке семян сульфата марганца.

Минимальное отчуждение основных элементов питания с урожаем люпина узколистного сорта Ян характерно для варианта без удобрений – 90,8 кг/га азота, 16,6 кг/га фосфора, 71,8 кг/га калия, 16,4 кг/га кальция, 10,4 кг/га магния (табл. 4).

Наибольший вынос отмечен при внесении хелатной формы кобальта: по сравнению с фоновым вариантом превышение по азоту составило 48,2 кг/га, фосфору – 19,2 кг/га, калию – 35,4 кг/га, кальцию – 21,2 кг/га, магнию – 9,5 кг/га. Хозяйственный вынос азота, фосфора, калия, кальция и магния при использовании жидкого комплексного удобрения увеличивался на 24,2 %; 28,6 %; 23,0 %; 38,9 % и 45,0 % соответственно.

Таблица 4

Урожайность зерна, общий и удельный вынос элементов питания люпином узколистным, сорт Ян, 2011–2013 гг.

Вариант	Урожайность зерна, среднее 2011–2013 гг.	Общий вынос, кг/га					Удельный вынос (с 1 т основной и соответствующим количеством побочной продукции), кг				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1. Контроль (без удобрений)	18,6	90,8	16,6	71,8	16,4	10,4	48,8	9,0	38,7	8,8	5,6
2. N ₃₀ P ₃₀ K ₉₀	20,9	103,4	20,0	84,9	22,6	11,9	49,4	9,6	40,6	10,8	5,7
3. N ₃₀ K ₉₀	21,0	105,3	22,2	86,8	24,5	12,4	50,1	10,7	41,6	11,8	5,9
4. N ₃₀ P ₃₀ K ₉₀ + фитостимифос + сапронит	22,0	110,8	24,7	94,4	27,1	13,3	50,4	11,4	43,2	12,5	6,1
5. N ₃₀ P ₃₀ K ₉₀ + фитостимифос + сапронит + эпин – фон	23,2	119,0	26,2	97,2	29,8	14,2	51,1	11,3	41,8	12,9	6,1
6. Фон + ЖКУ	27,3	147,8	33,7	119,6	41,4	20,6	54,2	12,5	44,0	15,4	7,6
7. Фон + CuSO ₄ *5H ₂ O	27,3	144,6	32,4	121,2	37,1	17,4	53,2	12,0	44,9	13,8	6,4
8. Фон + Cu(хелат)	26,6	140,6	32,2	108,8	36,5	17,3	53,2	12,5	41,8	14,1	6,5
9. Фон + ZnSO ₄ *7H ₂ O	25,7	134,9	30,9	114,3	39,5	18,8	52,5	12,1	44,5	15,5	7,3
10. Фон + Zn(хелат)	26,5	143,8	32,8	118,0	42,5	19,3	54,5	12,5	44,9	16,3	7,3
11. Фон + Na ₃ [Co(NO ₂) ₆]	26,1	144,5	34,2	118,4	43,6	20,3	56,0	13,4	46,3	17,2	7,8
12. Фон + Co(хелат)	29,4	167,2	45,4	132,6	51,0	23,7	57,0	15,6	45,6	17,7	8,1
13. Фон + MnSO ₄ *5H ₂ O	28,0	161,2	42,9	123,8	51,8	22,4	57,9	15,6	44,9	19,0	8,0

В годы исследований удельный вынос азота, фосфора и калия на 1 тонну основной и соответствующее количество побочной продукции люпина узколистного сортов Першцавет и Ян был более стабильным и оказался менее варьируемым. Так же прослеживается закономерность – с повышением урожайности снижаются затраты питательных элементов на формирование единицы продукции. Так, в варианте с включением в предпосевную обработку сульфата меди, была получена одна из самых высоких по вариантам опыта урожайностей, при этом удельный вынос был значительно меньше в сравнении с другими вариантами.

В результате многолетних исследований, проведенных в Институте почвоведения и агрохимии [7], установлено, что в результате использования новых бо-

лее интенсивных сортов зерновых культур и технологий их возделывания, роста урожайности удельный вынос элементов питания в расчете на 1 т/зерна (кг/т) существенно ниже в сравнении с установленными ранее справочными нормативами. Подобная тенденция отмечена и в наших исследованиях – установлено, что с одной тонной зерна люпина узколистного и соответствующим количеством побочной продукции в среднем вынесено: азота – 55,2 кг/т, фосфора – 12,8 кг/т, калия – 40,1 кг/т, кальция – 14,2 кг/т, магния – 8,1 кг/т. Удельный вынос по азоту и фосфору был значительно ниже ранее установленных значений, а по калию, кальцию и магнию – близок к существующим справочным нормативам.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования показали, что наиболее существенное влияние макро- и микроэлементы, бактериальные удобрения и регуляторы роста растений оказали на содержание азота в зерне и соломе люпина узколистного. В среднем за три года содержание азота в зерне люпина узколистного сорта Першацвет изменялось в пределах 4,52–5,16 %, у сорта Ян – 4,57–5,19 %. Установлено, что содержание азота и фосфора было выше в зерне, калия – в соломе.

2. Общий вынос питательных элементов изменялся в зависимости от содержания основных элементов питания в зерне и соломе люпина узколистного сортов Першацвет и Ян, а также от урожайности основной и побочной продукции.

Удельный вынос азота (57,6–58,2 кг/т), фосфора (13,4–15,4 кг/т) и калия (42,1–43,1 кг/т) максимальных величин достигал в вариантах с использованием в предпосевной обработке семян (сорт Першацвет) хелатной формы меди, неорганической формы цинка, марганца и кобальта на фоне $N_{30}P_{30}K_{90}$ + фитостимифос + сапронит + эпин.

У люпина узколистного сорта Ян максимальный удельный вынос азота (56–57,9 кг/т), фосфора (13,4–15,6 кг/т) и калия (44,9–46,3 кг/т) наблюдался в вариантах с предпосевной обработкой семян кобальтом в хелатной и неорганической формах и сульфатом марганца.

В исследованиях установлено, что с одной тонной зерна люпина узколистного и соответствующим количеством побочной продукции в среднем вынесено: азота – 55,2 кг/т, фосфора – 12,8 кг/т, калия – 40,1 кг/т, кальция – 14,2 кг/т, магния – 8,1 кг/т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барбасов, Н.В. Эффективность применения новых форм комплексных микроудобрений и регуляторов роста при возделывании среднепозднего сорта ячменя на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Н.В. Барбасов // Вестник БГСХА. – 2017. – № 3. – С. 85–89.

2. Вильдфлуш, И.Р. Агрохимия. Практикум: учебн. пособ. / И.Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И.Р. Вильдфлуша, С.П. Кукреша. – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 368 с.

3. Германович, Т.М. Влияния известкования на урожайность и химический состав продукции, вынос элементов питания горохом / Т.М. Германович, И.А. Царук // Почвоведение и агрохимия. – № 2(41). – 2008 – С. 137–138.

4. Дуктов, В.П. Вынос основных элементов питания и коэффициенты их использования из удобрений при различных условиях питания льна / В.П. Дук-

тов // Приемы повышения плодородия почв, эффективности удобрений и средств защиты растений. Ч 2. материалы Междунар. науч.-практ. конф.; отв. ред. И.Р. Вильдфлуш. – Горки: Белорусская госуд. сельхоз. академия. 2003. – С. 92–95.

5. Эффективность систем удобрения озимой ржи при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве / В.В. Лапа [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 1(56). – С. 105–121.

6. Николаева, Т.Г. Влияние некорневых подкормок кобальтом и марганцем на урожайность и качество люпина узколистного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве: дис. ...канд. с.-х. наук.: 06.01.04 / Т.Г. Николаева. – Минск, 2014.

7. Нормативы возмещения выноса элементов питания для расчета доз минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры / В.В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – С. 4

8. Рекомендации по практическому применению кормов из люпина в рационах сельскохозяйственных животных / ГНУВНИИ люпина, ФГОУВПО «Брянская ГСХА». – Брянск, 2009. – 84 с.

9. Рудаевская, Н.Н. Изменение ботанического состава бобово-злакового травостоя под влиянием удобрения и применения биопрепаратов / Н.Н. Рудаевская // Земледелие и защита растений. – 2016. – № 4. – С. 16–17.

10. Рышкель, И.В. Влияние микробиологических препаратов и регулятора роста эпин на урожайность зернобобовых культур/ Проблемы и пути повышения эффективности растениеводства в Беларуси: тезисы юбилейной Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию образования Ин-та земледелия; 29 июня 2007 г., г. Жодино / НПЦ НАН Беларуси по земледелию». – Минск: ИВЦ Минфина. 2007. – С. 223–224.

11. Система применения удобрений: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальностям «Агрохимия и почвоведение», «Защита растений и карантин» / В.В. Лапа и [и др.]; под общ. ред. В.В. Лапа. – Гродно: ГГАУ, 2011. – С. 9.

12. Такунов, И.П. Люпин в земледелии России / И.П. Такунов // Кормопроизводство. – 1996. – № 5. – С. 37–44.

13. Удобрения и качество урожая сельскохозяйственных культур: монография / И.Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Технопринт, 2005. – С.137.

INFLUENCE OF FOOD CONDITIONS ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF PRODUCTS AND THE REMOVAL OF FOOD ITEMS LUPINE NARROW-LEAVED

T.F. Persikova, M.L. Radkevich

Summary

In studies on sod-podzolic light loam soil, the effectiveness of the application of mineral fertilizers, bacterial preparations, growth regulators, microelements – copper, zinc, boron, cobalt, molybdenum, manganese was studied. It has been established that a significant influence of nutritional conditions on grain yield, chemical composition of the main and by-products of lupine narrow-leaved, calculated indicators of total and specific removal of nutrients.

Поступила 10.05.18

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ УРОВНЕЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ОБМЕННЫМ МАГНИЕМ НА УРОЖАЙНОСТЬ ГОРОХА

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Магний занимает важное место в минеральном питании растений [1, 2, 3]. Недостаток этого элемента ограничивает урожайность сельскохозяйственных культур, снижает качество продукции, оказывает влияние на эффективность использования азотных, фосфорных и калийных удобрений [4,5]. В связи с этим возникла необходимость в определении оптимального содержания обменного магния в почве.

Поскольку велось системное известкование кислых почв доломитовой мукой с содержанием MgO ~ 20 %, содержание обменных форм магния в дерново-подзолистых почвах многократно повысилось. В настоящее время средневзвешенное содержание обменного магния в пахотных почвах составляет 147 мг/кг почвы, в луговых – 163 мг/кг. Большинство пахотных почв в Беларуси, ~ 76 %, относится к группам с повышенным и высоким содержанием магния. Доля почв с низким содержанием элемента многократно снизилась и составляет 4,8 %. Повышенная и высокая обеспеченность почв магнием наблюдается на 90 % площади почв луговых земель [6]. Также на значительной части площади пахотных земель нарушено требуемое соотношение катионов $Ca^{2+}:Mg^{2+}$ и $K^+:Mg^{2+}$, и возделываемые культуры испытывают недостаток или избыток магния для формирования урожайности [6].

В настоящее время получение полноценного зернофуражного корма стало актуальной проблемой [8]. Сбалансированность рационов по энергии, питательным веществам: протеину, аминокислотам, витаминам, макро- и микроэлементам и другим биологически активным веществам является одним из основных условий эффективного использования кормов. При оптимальном соотношении компонентов питательность рационов повышается на 8–12 % по сравнению с суммарной энергетической ценностью входящих в них компонентов, так как при этом улучшаются переваримость и усвояемость комбикормов, корма охотнее поедаются животными [9]. Проблему производства растительного белка можно решить за счет расширения посевных площадей зернобобовых культур, белок которых более полноценен по аминокислотному составу. Зернобобовые культуры содержат в семенах в 2–3 раза больше белка, чем зерновые культуры [10].

Горох – важнейшая и наиболее распространенная зернобобовая культура, имеющая важное продовольственное и кормовое значение [8,11]. Ценность его определяется высокой урожайностью зерна и зеленой массы, богатых белком и другими питательными веществами. В зерне гороха содержится 22–30 % белка,

1,1–1,5 % жира и 5–6 % клетчатки, витамины А, В₁, В₂, С, минеральные вещества и все необходимые аминокислоты. [11–14]. Горох оставляет в почве 40–50 кг/га азота и является хорошим предшественником для зерновых, в том числе озимых и других культур [15]. В мире посевы гороха занимают около 10 млн га. Он широко распространен в Китае, США, Канаде, Западной Европе, Австралии [15]. Для европейских стран горох является основной зернобобовой культурой, которая возделывается на пищевые и кормовые цели на площади около 3 млн га [11]. В настоящее время в Республике Беларусь зернобобовые культуры занимают 170 тыс. га площади посевов, с валовым сбором гороха 50 тыс. тонн. Средняя урожайность гороха по республике составляет около 30 ц/га [16].

Цель исследования – установить параметры количественной зависимости урожайности и качества зерна гороха от обеспеченности обменным магнием дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и эффективность некорневых подкормок сульфатом магния.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на базе стационарного полевого опыта в ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощном лессовидном суглинке. Опыт заложен в двух полях в звене севооборота: ячмень – яровое тритикале – горох. В 2016–2017 гг. возделывался горох посевного сорта Белус. Повторность опыта 4-кратная, размещение делянок рендомизированно. Общая площадь делянки – 15 м², учетная площадь – 8 м².

Агрохимические показатели пахотного горизонта почвы перед закладкой опыта следующие: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,8–2,1%, рН_{KCl} 5,8–6,0, P₂O₅ (0,2 М HCl) – 350–450 мг/кг почвы, K₂O (0,2 М HCl) – 264–300 мг/кг, Ca (1 М KCl) – 750–900 мг/кг. Характеристика почвы по содержанию микроэлементов: среднее содержание бора – 0,33–0,65 мг/кг, меди – 2,08–2,84 мг/кг, обменного марганца – 2,02–5,92 мг/кг, подвижных форм серы – 6,1–8,8 мг/кг, низкое содержание цинка – 1,84–2,60 мг/кг. Гидролитическая кислотность была в пределах 1,23–3,33 мг-экв/100 г почвы.

На опытном участке предварительно было создано четыре уровня содержания в почве обменного магния Mg: I уровень – 46–50 мг/кг, II уровень – 90–92 мг/кг, III уровень – 138–147 мг/кг, IV уровень – 183–198 мг/кг, отражающие диапазон различий по обеспеченности обменным магнием дерново-подзолистых суглинистых почв Беларуси. Высокие уровни содержания обменного магния в почве были созданы за счет внесения быстродействующего удобрения – сульфата магния (MgSO₄ · 7H₂O). Эквивалентные соотношения катионов составили: Ca : Mg = 20,7 – 9,2 – 5,0 – 3,5; K : Mg = 1,9 – 0,95 – 0,6 – 0,4.

Схема опыта предусматривала 9 вариантов удобрений на каждом из четырех уровней содержания обменного магния в почве:

1. Контроль (без удобрений);
2. N₃₀P₆₀;
3. N₃₀P₆₀K₁₂₀ – фон;
4. N₃₀P₆₀K₁₈₀;
5. Фон + Mg₁;

6. Фон + Mg_{1,5};
7. Фон + S₃₆ (сульфат аммония);
8. Фон + S₃₆ + Mg₁;
9. Фон + S₃₆ + Mg_{1,5}.

На каждом уровне содержания обменного магния в почве исследуется действие полной дозы удобрений, варианта с повышенной дозой калия, серы в дозе S₃₆ и некорневых подкормок сульфатом магния в фазу бутонизации. Из минеральных удобрений использовали карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий, сульфат аммония. Агротехника возделывания культур – общепринятая для республики.

Закладку опыта, наблюдения, учет урожайности, анализы почвы и растений проводили по соответствующим методическим указаниям. Статистическая обработка результатов исследований выполнена по Б.А. Доспехову (1985) с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований была установлена зависимость урожайности зерна гороха от обеспеченности почвы обменным магнием (табл. 1).

Таблица 1

Урожайность зерна гороха в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве и удобрений (в среднем за 2016–2017 гг.)

Вариант	Урожайность зерна, ц/га				Прибавка зерна, ц/га, за счет повышения содержания Mg		
	уровни содержания Mg, мг/кг почвы				90–92	138–147	183–198
	46–50	90–92	138–147	183–198			
Контроль	29,2	36,2	39,8	38,4	7,0	10,6	9,2
N ₃₀ P ₆₀	34,8	43,3	42,7	41,0	8,5	7,9	6,2
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ (фон)	39,0	43,9	45,5	43,4	4,9	6,5	4,4
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	41,9	46,8	46,1	44,9	4,9	4,2	3,0
Фон + Mg ₁	45,1	48,0	47,0	42,0	2,9	1,9	–3,1
Фон + Mg _{1,5}	45,6	49,0	47,3	42,5	3,4	1,7	–3,1
Фон+ S ₃₆	43,6	46,9	45,7	43,9	3,3	2,1	0,3
Фон+ S ₃₆ + Mg ₁	48,0	49,7	46,2	44,0	1,7	–1,8	–4,0
Фон+ S ₃₆ + Mg _{1,5}	48,6	50,7	47,1	42,8	2,1	–1,5	–5,8
НСР ₀₅ варианты уровни	3,46				–		
	1,15				–		

С повышением обеспеченности почвы обменным магнием с 46–50 до 138–147 мг/кг почвы в контрольном варианте (без внесения минеральных удобрений) урожайность зерна гороха увеличилась. Дальнейшее повышение обеспеченности почвы обменным магнием до уровня 183–198 мг/кг почвы снизило урожайность зерна гороха на 3,5 %. Аналогичное варьирование урожайности наблюдалось и в фоновом варианте N₃₀P₆₀K₁₂₀, наибольшая урожайность гороха 45,5 ц/га получена

при содержании в почве обменного магния на уровне 138–147 мг Mg на кг почвы. Прибавка урожайности зерна за счет повышения содержания в почве обменного магния с 46–50 до 138–147 мг/кг почвы составила в контрольном варианте 10,6 ц/га (26 %), в фоновом варианте $N_{30}P_{60}K_{120}$ – 6,5 ц/га (14,3 %).

В вариантах с некорневыми подкормками сульфатом магния непосредственно и на фоне серы наибольшая урожайность получена при обеспеченности почвы обменным магнием на уровне 90–92 мг/кг почвы, далее с повышением концентрации магния в почве наблюдалось снижение урожайности зерна гороха. Максимальная урожайность 50,7 ц/га получена в варианте $N_{30}P_{60}K_{120} + S_{36} + Mg_{1,5}$ с содержанием 90–92 мг/кг почвы обменного магния.

Зависимость урожайности зерна гороха от содержания обменного магния в почве в фоновом варианте $N_{30}P_{60}K_{120}$ описывалась квадратичным уравнением с высокой вероятностью аппроксимации ($R^2 = 0,99$). Урожайность зерна гороха повышалась с увеличением концентрации обменного магния в почве до уровня Mg 138–147 мг/кг почвы. Дальнейшее повышение обеспеченности почвы обменным магнием уже сопровождалось снижением урожайности гороха (рис. 1).

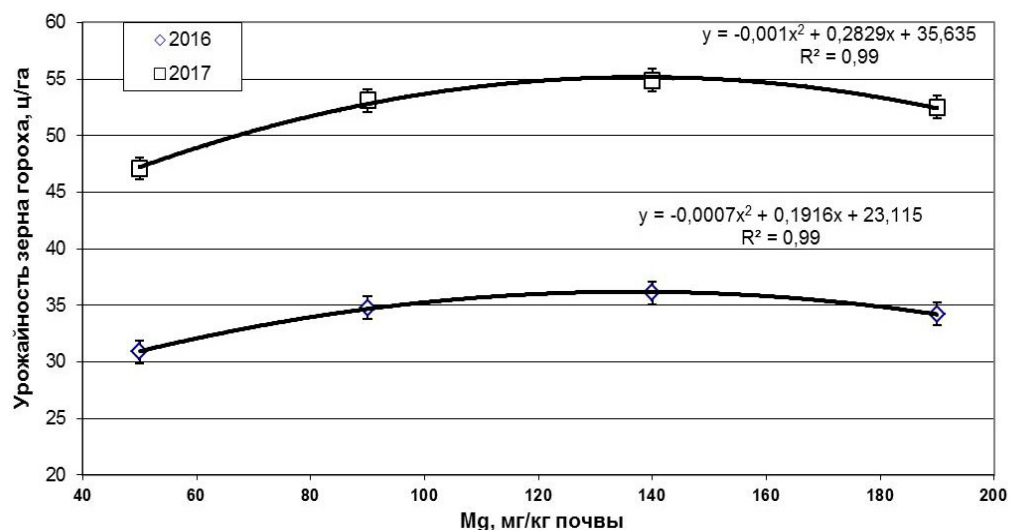


Рис. 1. Урожайность зерна гороха в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, вариант $N_{30}P_{60}K_{120}$

Согласно приведенным на рис. 1 уравнениям параболы, наибольшая расчетная урожайность зерна гороха в 2016 г. получена при обеспеченности почвы обменным магнием Mg – 140 мг/кг, а в 2017 – 135 мг/кг почвы. Таким образом, определен ориентировочный расчетный диапазон оптимального содержания обменного магния в почве для получения высокой урожайности зерна гороха – Mg 125–150 (или MgO 220–250) мг/кг почвы. Этот диапазон оптимума находится в верхней части четвертой группы действующей в Беларуси градации обеспеченности почв магнием. При этом эквивалентное соотношение в почве катионов Ca : Mg должно быть в пределах около 5, а соотношение K : Mg – около 0,6.

Существенное влияние на формирование урожайности зерна гороха оказали некорневые подкормки раствором сульфата магния в фазу бутонизации. Наибо-

лее эффективными подкормки оказались на первых двух уровнях обеспеченности почвы обменным магнием в диапазоне 46–92 мг Mg на кг почвы (табл. 2). Некорневые подкормки сульфатом магния Mg₁ и Mg_{1,5} обеспечили прибавку урожайности зерна к фону на первом уровне содержания обменного магния (46–50 мг/кг) – 6,1 и 6,6 ц/га, на втором уровне (90–92 мг/кг) – 4,1 и 5,1 кг/га соответственно. При более высоком содержании в почве обменного магния некорневые подкормки сульфатом магния оказались неэффективными.

Таблица 2

Прибавки урожайности зерна гороха к фону N₃₀P₆₀K₁₂₀ от применения магниевых и серосодержащих удобрений на разных уровнях содержания в почве обменного магния (в среднем за 2016–2017 гг.)

Вариант	Урожайность зерна, ц/га				Прибавка зерна гороха к фону, ц/га			
	уровни содержания Mg, мг/кг почвы							
	46–50	90–92	138–147	183–197	46–50	90–92	138–147	183–197
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ (фон)	39,0	43,9	45,5	43,4				
Фон + Mg ₁	45,1	48,0	47,0	42,0	6,1	4,1	1,5	–1,4
Фон + Mg _{1,5}	45,6	49,0	47,3	42,5	6,6	5,1	1,8	–0,9
Фон+ S ₃₆	43,6	46,9	45,7	43,9	4,6	3,0	0,2	0,5
Фон+ S ₃₆ + Mg ₁	48,0	49,7	46,2	44,0	9,0	5,8	0,7	0,6
Фон+ S ₃₆ + Mg _{1,5}	48,6	50,7	47,1	42,8	9,6	6,8	1,6	–0,6
НСП ₀₅ варианты уровни	2,61				–			
	1,17				–			

Применение серосодержащего удобрения (S₃₆) сульфата аммония было эффективно на низком уровне (Mg 46–50 мг/кг) содержания магния в почве, прибавка урожайности зерна составила 4,6 ц/га, а на среднем уровне (Mg 90–92 мг/кг почвы), прибавка урожайности зерна составила только 3 ц/га. Повышение обеспеченности почвы обменным магнием до 138–197 мг/кг сопровождалось снижением прибавки урожайности зерна гороха до незначительных величин.

Наиболее эффективными оказались подкормки сульфатом магния на фоне серосодержащего удобрения при низкой (Mg 46–50) и средней (Mg 90–92 мг/кг) обеспеченности почвы обменным магнием. Прибавки урожайности зерна гороха составили 9,6 и 6,8 ц/га, соответственно.

Таким образом, содержание в почве обменных форм магния служит критерием как для определения интервала оптимальной обеспеченности магнием возделываемых культур, так и для прогноза эффективности магниевых подкормок растений. Некорневые подкормки 4% раствором сульфата магния в дозе Mg 1,5 кг/га могут быть эффективными на посевах гороха в стадию бутонизации на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах 1–3 групп обеспеченности обменным магнием.

Для более объективной оценки состояния магниевое питания растений желательно почвенную диагностику дополнить растительной. Известно, что концентрации магния в растениях гороха в фазу бутонизации наиболее тесно коррелируют с содержанием магния в почве. К началу образования бобов содержание магния

в растениях гороха снижается и различия между уровнями обеспеченности почвы обменным магнием сглаживаются. Магниева диагностика растений гороха в фазу бутонизации предпочтительнее, так как данные могут быть получены до оптимального срока проведения некорневой подкормки растений сульфатом магния.

В наших опытах с увеличением в почве содержания обменного магния с 46–50 мг/кг до 183–197 мг/кг наблюдалось повышение содержания магния в растениях гороха в 1,5 раза и одновременное снижение содержания кальция в 1,3 раза, калия в 1,1 раза (рис. 2). Это объясняется тем, что доступность катиона Mg^{2+} растениям зависит от емкости катионного обмена почвы и влияния конкурирующих катионов Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Fe^{2+} , Al^{3+} . Влияющими катионами в большей степени являются Ca^{2+} и K^+ [17,18,19]. В свою очередь, повышение в почве содержания обменного магния сопровождается уменьшением поступления в растения кальция, и, в меньшей степени, калия.

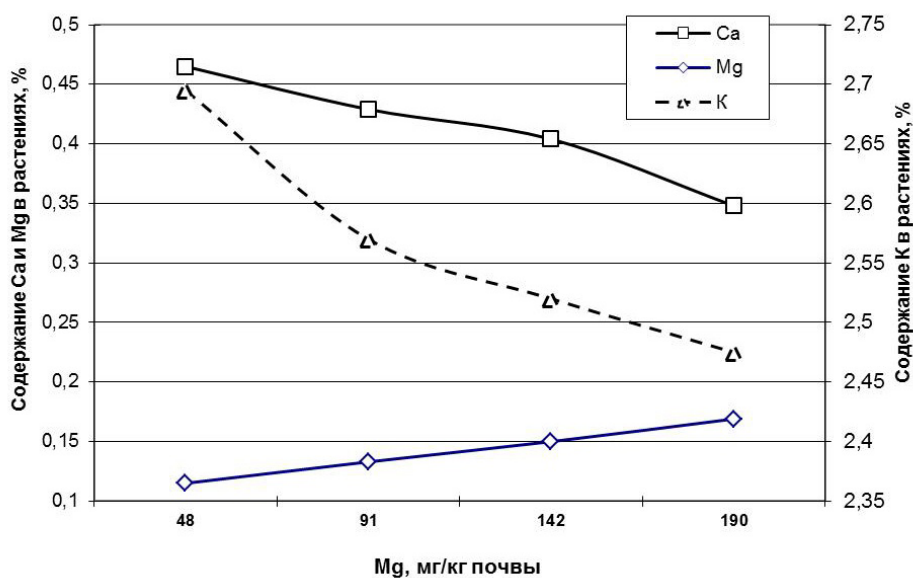


Рис. 2. Содержание Mg, Ca и K в растениях гороха в фазу начало цветения в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (в среднем за 2016–2017 гг.)

Повышение в почве содержания обменного магния на 100 мг/кг в интервале от 50 до 200 мг/кг почвы сопровождается увеличением концентрации магния в растениях гороха в фазу цветения на 0,04 %, уменьшением поступления в растения кальция на 0,08 % и уменьшением поступления калия на 0,15 %.

ВЫВОДЫ

1. В условиях модельных полевых экспериментов установлен диапазон оптимального содержания обменного магния для получения высокой урожайности зерна гороха на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах: 125–150 мг Mg на кг почвы. Этот диапазон оптимума соответствует четвертой группе действующей в Беларуси градации обеспеченности почв магнием. При этом эквивалентное

соотношение в почве катионов Са : Mg должно быть в пределах около 5, а соотношение К : Mg – около 0,6.

2. Получены существенные прибавки урожайности зерна гороха 9,6 и 6,8 ц/га от некорневых подкормок растений сульфатом магния на фоне серы на низком и среднем уровнях обеспеченности почвы обменным магнием в диапазоне 46–92 мг/кг почвы.

3. Повышение в почве содержания обменного магния на 100 мг/кг в интервале от 50 до 200 мг/кг почвы сопровождается увеличением концентрации магния в растениях гороха в фазу цветения на 0,04 %, уменьшением поступления в растения кальция на 0,08% и уменьшением поступления калия на 0,15 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Магницкий, К.П.* Магниевые удобрения / К.П. Магницкий. – М.: Колос, 1967. – 200 с.
2. *Мазаева, М.М.* Магниевое питание растений и магниевые удобрения: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / М.М. Мазаева. – М., 1967. – 42 с.
3. *Шкляев, Ю.Н.* Магний в жизни растений / Ю.Н. Шкляев. – М.: Наука, 1981. – 95 с.
4. *Аристархов, А.Н.* Агрохимическое обоснование применения магниевых удобрений / А.Н. Аристархов // Плодородие. – 2002. – № 3. – С. 15–17.
5. Nutritional disorders of plants – development, visual and analytical diagnosis / W. Bergmann [et al.] // Stuttgart, New York. – 1992. – 234 p.
6. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И.М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И.М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 276 с.
7. *Очковская, Л.В.* Влияние уровней обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы магнием при различном соотношении СаО : MgO на урожай сельскохозяйственных культур и его качество / Л.В. Очковская, В.В. Барашенко // Актуальные проблемы адаптивной интенсификации земледелия на рубеже столетий. – Минск: Бел. изд. тов-во «Хата», 2000. – С 54–57.
8. *Шор, В.Ч.* Возделывание гороха и яровой вики в чистых и смешанных посевах / В.Ч. Шор, Л.И. Белявская // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. тр. 2-е изд., доп. и перераб. / НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – С. 179–190.
9. Корма и биологически активные вещества / Н.А. Попков [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2005. – 882 с.
10. *Кукреш, Л.В.* Оценка белка зернобобовых культур по аминокислотному составу / Л.В. Кукреш, И.В. Рышкель // Земляробства і ахова раслін. – 2008. – № 1. – С. 21–24.
11. Зернобобовые культуры / Д. Шпаар [и др.]. – Минск: ФУ Аинформ, 2000. – 264 с.
12. Растениеводство; 2-е, перераб. изд. под ред. проф. В.Н. Степанова. – М.: Колос, 1965. – 470 с.
13. *Тарануха, В.Г.* Горох: значение, биология, технология: пособие / В.Г. Тарануха, С.С. Камасин. – Горки, 2009. – 52 с.

14. *Кукреш, Л.В.* Горох (биология, агротехника, использование) / Л В Кукреш Н.П. Лукашевич. – Минск: Ураджай, 1997. – 159 с.

15. Растениеводство: учебник / под ред. В.А. Федотова. – СПб.: Лань, 2015. – 336 с.

16. Статистический ежегодник 2016 / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2016.

17. *Барбер, С.А.* Биологическая доступность питательных веществ в почве. Механистический подход / С.А. Барбер; под ред. Э.Е. Хавкина. – М.: Агропромиздат, 1988. – 376 с.

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

19. Basic cation saturation rations as a basis for fertilizing and liming agronomic crops. II. Field studies / E.O. McLean [et al.] // Agronomy Journal. – 1983. – P. 635–639.

EFFECT OF EXCHANGEABLE MAGNESIUM SYPPLY OF SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL ON THE PEA'S GRAIN YIELD

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

Summary

The optimal range of exchangeable Mg content (125–150 mg/kg) in sod-podzolic light loamy soil for the high yield or pea's grain had been found in the field experiments. The equivalent ratio of Ca:Mg should be around 5 and ratio K:Mg – around 0.6. Sufficient grain yield response up to 0.68–0.96 t/ha to foliar application of magnesium sulphate solution verified the deficit of Mg nutrition for pea plants at Mg content 46–92 mg/kg of soil.

Поступила 11.05.18

УДК 635.656:631.8

ВЛИЯНИЕ МАКРО-, МИКРОУДОБРЕНИЙ, РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА И РИЗОБИАЛЬНОГО ИНОКУЛЯНТА НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЕМЯН ПОСЕВНОГО ГОРОХА

И.Р. Вильдфлуш, О.В. Малашевская

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

ВВЕДЕНИЕ

В почвенно-климатических условиях Беларуси наиболее продуктивной зерно-бобовой культурой является горох. Среди существующих источников растительного белка для балансирования концентрированных кормов экономически выгод-

нее использовать высокобелковое зерно бобовых культур. В условиях Беларуси проблема кормового растительного белка наиболее выражена в балансировании концентрированных кормов, представленных в Республике зерном злаковых культур, которое недостаточно обеспечено переваримым белком. Вследствие этого при скармливании скоту небогатого белком зерна злаковых культур перерасход его для производства единицы животноводческой продукции превышает 30 % [1].

Современным направлением повышения урожайности и качества продукции растениеводства является внедрение в сельскохозяйственное производство высоких энергосберегающих технологий с применением регуляторов роста растений. Управление ростом и развитием растений при помощи регуляторов роста позволяет существенно повысить устойчивость к неблагоприятным факторам среды: высоким и низким температурам, недостатку влаги [2,3].

Препараты биологического происхождения, получаемые на основе гуминовых веществ, и регуляторы роста свободно включаются в естественные природные цепи превращений, легко расщепляются до простых химических соединений. Применение составов, содержащих совместно микроэлементы в органоминеральной форме и биологически активные вещества, представляется наиболее эффективным средством повышения урожайности и качества продукции. Некорневые подкормки способствуют устранению дефицита микроэлементов в критические фазы роста и развития растений. Разработка новых форм микроудобрений позволяет уменьшить зависимость сельского хозяйства Беларуси от импортных поставок дорогостоящих препаратов и наладить собственное производство жидких концентрированных микроудобрений.

Микроэлементы активно участвуют во многих важнейших физиологических и биохимических процессах развития растений, входят в состав ферментов, витаминов, являются активаторами процессов роста, развития и продуктивности растений. Для каждой культуры имеются важнейшие микроэлементы, при дефиците которых нарушаются процессы обмена веществ в растениях, задерживается их развитие, снижается устойчивость к неблагоприятным условиям внешней среды и болезням. Бор как элемент питания необходим бобовым культурам в течение всего вегетационного периода. Он участвует в делении клеток и синтезе белков, в углеводном обмене. В современном сельском хозяйстве возрастающая роль микроэлементов объясняется также снижением их подвижных форм в почве в связи с отрицательным балансом, обусловленным снижением почвенной кислотности, постоянным выносом урожаями и невнесением микроудобрений в почву. Содержание подвижных форм микроэлементов изменяется по почвенным типам, а также от кислотности, содержания гумуса, фосфора и кальция. Для нормального роста и развития гороха рекомендуется внесение микроэлементов на почвах первой и второй групп обеспеченности и близкой к нейтральной реакции почвенной среды (рН более 6,0) [4].

В опытах БГСХА, проведенных на дерново-подзолистой почве, некорневая подкормка гороха в фазе бутонизации борной кислотой (200 г/га), молибденовокислым аммонием (150 г/га), сернокислым кобальтом (100 г/га) и комплексным микроудобрением Миком повышала урожайность семян гороха на фоне $N_{50}P_{50}K_{90}$ на 3,3, 2,8, 2,6 и 4,3 ц/га. Наиболее существенное возрастание сырого белка в семенах гороха отмечено при внесении кобальта и молибдена, которое составило

1,08 и 1,10 % соответственно [5]. Высокая эффективность молибдена при возделывании гороха связана, прежде всего, с важной ролью молибдена в процессах фиксации атмосферного азота.

В опытах, проведенных кафедрой агрохимии БГСХА на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, обработка посевов гороха регуляторами роста Агростимулином и Эмистимом С повышала урожайность семян с 36,5 ц до 41,1 и 39,5 ц/га, т.е. на 4,5 и 3,0 ц/га. При этом возрастало содержание сырого белка в семенах на 1,0 и 1,1% соответственно [6]. На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве исследовалась эффективность применения комплексных удобрений для некорневых подкормок Эколист для зернобобовых культур (2 л/га), Басфолиар 36 экстра (4 л/га) и комплексных препаратов на основе микроэлементов и регуляторов роста отечественного производства Витамара (1 л/га), ЭлеГум Бор(1 л/га). На фоне $N_{30}P_{60}K_{90}$ урожайность семян гороха сорта Милениум при внесении Эколиста, Басфолиара 36 экстра, Витамара и ЭлеГум Бор возрастала на 5,3; 4,7; 4,8 и 4,7 ц/га [7]. Применение регуляторов роста и микроудобрений в органоминеральной форме становится все более перспективным и быстро развивающимся направлением в современных условиях.

Цель исследований – изучить влияние применения новых форм удобрений для допосевого внесения, сочетания минеральных удобрений с регулятором роста Экосилом, многокомпонентным удобрением для некорневых подкормок (Кристалон), комплексным микроудобрением с регулятором роста (МикроСтим-Бор) и ризобияльного инокулянта на урожайность, качество семян гороха, содержание и вынос элементов питания с урожаем.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опыты с горохом посевным сорта Миллениум проводились в 2015–2017 гг. на территории УНЦ «Опытные поля БГСХА» на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины около 1 м моренным суглинком. Почва опытного участка за годы исследований имела слабокислую и близкую к нейтральной реакцию почвенной среды, низкое и среднее содержание гумуса, высокое содержание подвижного фосфора, среднее и повышенное – калия, среднее и высокое содержание бора и среднее меди. По степени окультуренности почва относится к средне окультуренной (табл. 1).

Таблица 1

Агрохимические показатели почвы опытного участка

рН _{KCl}	Гумус, %	P ₂ O ₅	K ₂ O	B	Cu	Индекс окультуренности
		в подвижной форме, мг/кг почвы				
2015 г.						
6,4	1,6	298,1	232,5	0,71	1,73	0,89
2016 г.						
6,2	1,5	283,9	197,3	0,60	1,55	0,80
2017 г.						
5,9	1,3	261,1	172,5	–	2,89	0,70

Предшественником гороха был овес. Норма высева семян – 1,5 млн всхожих семян на гектар.

В опытах применялись удобрения для основного внесения: карбамид (N – 46 %), аммофос (N – 12 %, P₂O₅ – 52 %), хлористый калий (60%), из комплексных удобрений использовали новое комплексное удобрение марки N:P:K (6:21:32) с 0,16 % В и 0,09 % Мо, которое разработали в Институте почвоведения и агрохимии.

В фазе бутонизации проводились следующие обработки посевов: борной кислотой (300 г/га) и молибдатом аммония (80 г/га), микроудобрением Адоб Бор в дозе 0,33 л/га, регулятором роста Экосил (75 мл/га), комплексным микроудобрением с регулятором роста МикроСтим-Бор (содержит в 1 л 5 г азота, 150 г бора, 0,6–8,0 мг/л гуминовых веществ) – в дозе 0,33 л/га. Использовали две обработки комплексным удобрением Кристалон. Первая подкормка проводилась в фазе выбрасывания усов Кристалоном желтым марки 13–40–13 в дозе 2 кг/га, который наряду с азотом, фосфором и калием содержит бор (0,025 %), медь (0,01 %), железо (0,07 %), марганец (0,04 %), молибден (0,004 %), цинк (0,025 %). Вторая подкормка Кристалоном особым марки 18–18–18 + 3MgO (содержит бор 0,025 %, медь 0,01 %, железо 0,07 %, марганец 0,04 %, молибден 0,004 %, цинк 0,025 %) проводилась в дозе 2 кг/га в фазу начала образования бобов.

В опытах проводили исследование нового препарата для инокуляции семян гороха на основе специфичных штаммов клубеньковых бактерий гороха *Rhizobium leguminosarum biovar viciae* 27П. Препарат был разработан Институтом микробиологии НАН Беларуси. Инокуляция семян проводилась в день посева ручным способом в дозе 200 мл на гектарную норму высева семян.

Определение агрохимических показателей почвы и показателей качества урожая проводили согласно ГОСТ и ОСТ. Данные, полученные в полевых опытах и лабораторных исследованиях, обрабатывались дисперсионным методом анализа по Б.А. Доспехову с использованием специальных программ на компьютере [8]. Расчет средней НСР за три года исследований производился по Дембицкому М.Ф. [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Минеральные удобрения существенно повышали урожайность семян гороха (табл. 2). Внесение до посева N₁₀P₄₀K₆₀ увеличивало урожайность семян по сравнению с контролем на 4,3 ц/га, а N₁₈P₆₃K₉₆ – на 7,4 ц/га. В этих вариантах окупаемость 1 кг NPK кг семян составила в среднем за 3 года 3,9 и 4,2 кг. Увеличение доз минеральных удобрений до N₃₀P₇₅K₁₂₀ способствовало дальнейшему повышению урожайности семян гороха, при этом не изменялась окупаемость 1 кг NPK кг семян. Применение до посева АФК с В и Мо для зернобобовых культур по сравнению с вариантом с эквивалентными дозами стандартных удобрений, повышало урожайность семян гороха на 6,0 ц/га.

Таблица 2

Влияние удобрений и регуляторов роста на урожайность семян гороха в среднем за 2015–2017 гг.

Вариант опыта	Урожайность, ц/га				Прибавка к контролю	Прибавка к фону	Окупаемость 1 кг NPK, кг семян
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Средняя за 2015–2017 гг.			
1. Без удобрений	21,3	25,1	26,1	24,2	–		

Вариант опыта	Урожайность, ц/га				Прибавка к контролю	Прибавка к фону	Окупаемость 1 кг НРК, кг семян
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Средняя за 2015–2017 гг.			
2. $N_{10}P_{40}K_{60}$	28,5	27,3	29,7	28,5	4,3		3,9
3. $N_{18}P_{63}K_{96}$ – фон	32,4	30,1	32,2	31,6	7,4		4,2
4. $N_{30}P_{75}K_{120}$	34,0	32,3	34,9	33,7	9,5	2,1	4,2
5. АФК с В и Мо (в дозе НРК эквивалентной варианту 3)	38,1	36,0	38,6	37,6	13,4	6,0	7,6
6. Фон + В и Мо	35,3	34,3	36,6	35,4	11,2	3,8	6,3
7. Фон + Адоб Бор	36,1	34,6	37,7	36,1	11,9	4,5	6,7
8. Фон + Кристалон	38,0	35,8	38,2	37,3	13,1	5,7	7,4
9. Фон + Экосил	37,6	34,9	37,1	36,5	12,3	4,9	6,9
10. Фон + МикроСтим-Бор	37,0	34,7	37,7	36,5	12,3	4,9	6,9
11. Фон + инокулянт	41,2	36,7	40,1	39,3	15,1	7,7	8,5
12. Фон + инокулянт + МикроСтим-Бор	41,7	37,1	40,4	39,7	15,5	8,1	8,8
НСР ₀₅	1,5	1,9	1,3	0,9	–	–	–

Эффективными оказались некорневые подкормки бором при использовании жидких микроудобрений Адоб Бор и МикроСтим-Бор. Урожайность семян в этих вариантах опыта возрастала по сравнению с фоном $N_{18}P_{63}K_{96}$ на 4,5 и 4,9 ц/га. При двукратной обработке посевов гороха комплексным удобрением Кристалон урожайность семян по сравнению с фоновым вариантом возросла на 5,7 ц/га. Достаточно высокая урожайность семян гороха (37,6 и 37,3 ц/га) и окупаемость 1 кг НРК кг семян (7,6 и 7,4 кг) отмечена в вариантах с применением АФК с В и Мо и Кристалона на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$.

Инокуляция семян гороха ризобияльным инокулянтном на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим-Бор повышала урожайность семян на 7,7 и 8,1 ц/га. В этих вариантах опыта получена максимальная урожайность семян (39,3–39,7 ц/га).

Таблица 3

**Влияние удобрений и регуляторов роста на качество семян гороха
в среднем за 2015–2017 гг.**

Вариант опыта	Сырой белок, %	Выход сырого белка, ц/га	Масса 1000 зерен, г			Средняя масса 1000 зерен за 3 года, г
			2015 г.	2016 г.	2017 г.	
1. Без удобрений	23,4	5,03	209,1	207,1	206,4	207,5
2. $N_{10}P_{40}K_{60}$	23,9	5,89	216,6	211,4	213,1	213,7
3. $N_{18}P_{63}K_{96}$ – фон	24,3	6,66	226,2	215,0	215,4	218,8
4. $N_{30}P_{75}K_{120}$	24,2	7,10	228,1	218,5	219,4	222,0
5. АФК с В и Мо (в дозе НРК эквивалентной варианту 3)	24,9	8,11	245,1	220,7	231,3	232,4
6. Фон + В и Мо	24,5	7,69	231,7	218,2	222,5	224,1
7. Фон + Адоб Бор	24,4	7,77	235,9	219,9	225,8	227,2

Окончание табл. 3

Вариант опыта	Сырой белок, %	Выход сырого белка, ц/га	Масса 1000 зерен, г			Средняя масса 1000 зерен за 3 года, г
			2015 г.	2016 г.	2017 г.	
8. Фон + Кристалон (особый + желтый)	24,5	7,94	244,2	220,4	226,6	230,4
9. Фон + Экосил	25,1	8,18	237,1	219,5	225,9	227,5
10. Фон + МикроСтим-Бор	24,3	7,77	237,9	219,3	229,9	229,0
11. Фон + инокулянт	24,1	8,37	257,9	223,4	234,7	238,7
12. Фон + инокулянт + МикроСтим-Бор	24,4	8,58	259,9	223,6	235,8	239,8
НСР ₀₅	0,8	–	7,1	5,4	8,5	4,1

Некорневые обработки Экосилом, Адоб Бором и микроэлементами В и Мо, а также внесение комплексного удобрения (АФК с В и Мо) по сравнению с контрольным вариантом повышали содержание сырого белка в семенах гороха. Достаточно высокий выход сырого белка отмечен в вариантах на фоне N₁₈P₆₃K₉₆ с обработкой посевов Экосилом и внесением комплексного удобрения АФК с В и Мо, который составил 8,18 и 8,11 ц/га. Применение удобрений по сравнению с неудобренным контролем способствовало увеличению массы 1000 семян гороха.

Максимальный выход сырого белка был в вариантах N₁₈P₆₃K₉₆ + инокулянт и N₁₈P₆₃K₉₆ + инокулянт + МикроСтим-Бор, который составил 8,37 и 8,58 ц/га. В этих же вариантах опыта отмечена и наибольшая масса 1000 семян гороха (238,7 и 239,8 г.).

Содержание азота, фосфора и калия в семенах гороха и вынос их с урожаем семян приведен в табл. 4.

Таблица 4

Влияние удобрений и регуляторов роста на содержание в семенах гороха элементов питания и их вынос с семенами в 2015–2017 гг.

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Вынос элементов питания семенами, кг/га		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений	3,75	1,03	1,45	78,53	21,63	30,90
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	3,83	1,08	1,23	93,17	26,33	30,07
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	3,89	1,13	1,24	105,73	30,60	33,73
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	3,87	1,04	1,25	111,03	30,33	36,33
5. АФК с В и Мо (в дозе NPK эквивалентной варианту 3)	3,99	1,08	1,32	129,07	34,77	42,63
6. Фон + В и Мо	3,89	1,10	1,28	118,37	33,47	39,03
7. Фон + Адоб Бор	3,91	1,08	1,48	121,50	33,57	45,73
8. Фон + Кристалон (особый + желтый)	3,92	1,10	1,25	125,90	35,27	40,10
9. Фон + Экосил	4,01	1,07	1,20	126,90	33,77	38,13
10. Фон + МикроСтим-Бор	3,89	1,03	1,19	123,17	32,43	37,80
11. Фон + инокулянт	3,86	1,07	1,20	130,73	35,97	40,67
12. Фон + инокулянт + МикроСтим-Бор	3,90	0,99	1,47	133,37	35,83	49,90
НСР ₀₅	0,16	0,05	0,06	–	–	–

Наиболее высоким содержание азота в семенах гороха в среднем за три года было в вариантах, где применялись АФК с В и Мо (3,99 %) и регулятор роста Экосил (4,01 %).

Содержание фосфора в семенах было довольно стабильным и по вариантам опыта изменялось в незначительных пределах (0,99–1,13 %). Содержание калия в большинстве вариантов опыта находилось в пределах 1,20–1,45 %. Наиболее высоким вынос азота, фосфора и калия с семенами был в варианте с применением ризобияльного инокулянта на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим-Бор.

Урожайность соломы гороха была выше в вариантах с обработкой посевов комплексным удобрением Кристалон и применением АФК с В и Мо, инокулянта на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим-Бор. В этих вариантах опыта она составляла 44,6–47,8 ц/га (табл. 5). Более высокое содержание азота (1,32 %) в соломе отмечено в варианте с инокуляцией семян гороха ризобияльным инокулянтном с применением $N_{18}P_{63}K_{96}$.

Таблица 5

Влияние удобрений и регуляторов роста на урожайность соломы, содержание в ней элементов питания и их вынос в 2015–2017гг.

Вариант	Урожайность соломы, ц/га	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Вынос элементов питания соломой, кг/га		
		% на сухое вещество			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений	29,4	1,13	0,29	1,58	27,60	7,13	37,87
2. $N_{10}P_{40}K_{60}$	34,1	0,91	0,25	1,67	25,97	7,17	48,07
3. $N_{18}P_{63}K_{96}$ – фон	37,7	1,20	0,34	1,83	37,57	10,53	58,47
4. $N_{30}P_{75}K_{120}$	40,5	1,04	0,27	1,67	35,53	9,13	57,40
5. АФК с В и Мо (в дозе НРК эквивалентной варианту 3)	44,8	1,07	0,26	1,85	40,03	9,57	69,17
6. Фон + В и Мо	42,4	1,10	0,28	1,75	38,93	9,87	62,33
7. Фон + Адоб Бор	43,2	1,11	0,28	1,92	39,80	10,00	69,90
8. Фон + Кристалон (особый + желтый)	44,6	0,96	0,26	1,77	36,13	9,70	66,60
9. Фон + Экосил	43,8	1,13	0,28	1,54	41,33	10,20	57,13
10. Фон + МикроСтим-Бор	43,9	0,98	0,23	1,37	36,10	8,40	50,73
11. Фон + инокулянт	47,1	1,17	0,31	1,72	45,97	11,87	69,53
12. Фон + инокулянт + МикроСтим-Бор	47,8	1,32	0,31	1,80	52,63	12,20	73,33
НСР ₀₅	1,0	0,3	0,06	0,2	–	–	–

Содержание фосфора и калия в соломе в большинстве вариантов опыта варьировало в незначительных пределах и составляло по фосфору 0,26–0,31 % и калию 1,67–1,92 %. Максимальный вынос элементов питания с соломой был при применении $N_{18}P_{63}K_{96}$ + инокулянт + МикроСтим-Бор, который составил по азоту 52,63, фосфору 12,20 и калию 73,33 % (табл. 5).

Макро-, микроудобрения, регуляторы роста и инокуляция семян повышали хозяйственный вынос элементов питания. Максимальный вынос элементов питания отмечен в варианте с применением $N_{18}P_{63}K_{96}$ + инокулянт + МикроСтим-Бор.

Удельный вынос элементов питания варьировал в удобряемых вариантах опыта в незначительных пределах и составил по азоту 32,7–34,8, фосфору – 9,2–12,7 и по калию 26,9–30,1 кг/т основной продукции с учетом побочной. Следует отметить, что удельный вынос по азоту и фосфору несколько возрос в удобряемых вариантах по сравнению с вариантом, где удобрения не вносились (табл. 6).

Таблица 6

Влияние новых форм удобрений и регуляторов роста на хозяйственный и удельный вынос элементов питания в 2015–2017гг.

Вариант	Хозяйственный вынос элементов питания, кг/га			Удельный вынос элементов питания (кг) на 1 т основной продукции с учетом побочной		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений	78,53	26,83	68,9	32,5	8,3	28,5
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	93,17	29,93	78,17	32,7	9,2	27,4
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	105,73	35,5	87,23	33,5	10,6	27,6
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	111,03	36,33	96,53	32,9	11,0	28,6
5. АФК с В и Мо (в дозе NPK эквивалентной варианту 3)	129,07	40,97	107,23	34,3	11,9	28,5
6. Фон + В и Мо	118,37	38,27	100,23	33,4	11,4	28,3
7. Фон + Адоб Бор	121,5	38,47	105,73	33,7	11,4	29,3
8. Фон + Кристалон	125,9	41,07	100,5	33,8	12,2	26,9
9. Фон + Экосил	126,9	37,87	98,73	34,8	10,9	27,0
10. Фон + МикроСтим-Бор	123,17	37,33	96,7	33,7	11,1	26,5
11. Фон + инокулянт	130,73	40,77	104,47	33,3	12,3	26,6
12. Фон + инокулянт + Микро-Стим-Бор	133,37	42,73	119,4	33,6	12,7	30,1

В вариантах с применением удобрений, регуляторов роста и инокуляцией семян ризобиальным инокулянтом существенно возрос выход переваримого протеина. Максимальных значений он достигал в вариантах с инокуляцией семян ризобиальным инокулянтом в варианте N₁₈P₆₃K₉₆ – 7,20 и N₁₈P₆₃K₉₆ + МикроСтим-Бор – 7,38 ц/га (табл. 7).

Таблица 7

Влияние удобрений и регуляторов роста на кормовую ценность гороха в 2015–2017 гг.

Вариант	Выход, ц/га к.ед.	Выход переваримого протеина, ц/га	Обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином, г
1. Без удобрений	33,9	4,32	126
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	39,9	5,07	128
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	44,2	5,73	129
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	47,2	6,11	129
5. АФК с В и Мо в дозе NPK эквивалентной варианту 3	52,6	6,97	133
6. Фон + В и Мо	49,6	6,61	133

Вариант	Выход, ц/га к.ед.	Выход переваримого протеина, ц/га	Обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином, г
7. Фон + Адоб Бор	50,5	6,68	132
8. Фон + Кристалон (особый + желтый)	52,2	6,82	131
9. Фон + Экосил	51,1	7,04	137
10. Фон + МикроСтим-Бор	51,1	6,68	129
11. Фон + инокулянт	55,0	7,20	130
12. Фон + инокулянт + МикроСтим-Бор	55,6	7,38	132

Обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином была выше в вариантах с применением микроэлементов бора и молибдена – АФК с В и Мо, $N_{18}P_{63}K_{96}$ + В и Мо, $N_{18}P_{63}K_{96}$ + Адоб Бор, а также $N_{18}P_{63}K_{96}$ + Экосил и составила от 131 до и 137 г соответственно (см. табл. 7).

ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве применение АФК с В и Мо повышало урожайность семян посевного гороха на 6,0 ц/га по сравнению с внесением аммофоса и хлористого калия в эквивалентных по азоту, фосфору и калию дозах.

2. Обработка посевов Адоб Бор и МикроСтим-Бор на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ повышала урожайность семян гороха на 4,5 и 4,9 ц/га, а Экосилом и Кристалоном – на 4,9 ц/га.

3. Обработка семян гороха ризобиальным инокулянтом на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим-Бор увеличивала урожайность семян на 7,7 и 8,1 ц/га и обеспечивала максимальную урожайность (39,3 и 39,7 ц/га), выход сырого белка (8,37 и 8,58 ц/га) и переваримого протеина (7,20 и 7,38 ц/га).

4. Применение макро-, микроудобрений, регуляторов роста и ризобиального инокулянта существенно повышало хозяйственный вынос азота, фосфора и калия, который максимальных величин достигал в варианте $N_{18}P_{63}K_{96}$ + инокулянт + МикроСтим-Бор с максимальной урожайностью гороха. Удельный вынос азота, фосфора и калия в удобряемых вариантах варьировал в незначительных пределах и составлял на 1 т основной продукции с учетом побочной по азоту 32,7–34,8 кг, фосфору 9,2–12,7 и калию 26,9–30,1 кг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кукреш, Л.В.* Горох (биология, агротехника, использование) / Л.В. Кукреш, Н.П. Лукашевич. – Минск: Ураджай, 1997. – 159 с.
2. *Посыпанов, Г.С.* Растениеводство / Г.С. Посыпанов, В.Е. Долгодворов, Б.Х. Жеруков; под ред. Г.С. Посыпанова. – М.: КолосС, 2006. – 612 с.
3. *Пономаренко, С.П.* Регуляторы роста растений / С.П. Пономаренко. – Киев: Ин-т биооргани. химии и нефтехимии, 2003. – 319 с.

4. Применение комплексных гуминовых микроудобрений ЭлеГум: рекомендации / М.В. Рак, В.В. Лапа, Г.А. Соколов [и др.]; Ин-т природопользования, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2013. – 28 с.
5. Tsyganov, A. The influence of microfertilizers on productivity and quality of peas grain on sward-podzolic soil / A. Tsyganov, I. Vildflush, O. Mishyra // Annales universitatis / Mariae Curie-Skłodowska. – Lublin, 2004. – Vol. lix, № 4. – P. 1527–1532.
6. Удобрения и качество урожая сельскохозяйственных культур: монография / И.Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Технопринт, 2005. – 276 с.
7. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И.Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 293 с.
8. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
9. Дзямбіцкі, М.Ф. Асаблівасці дысперсійнага аналізу вынікаў шматгадовага палявога доследу / М.Ф. Дзямбіцкі // Весці Акадэміі аграрных навук Беларусі. – 1994. – № 3. – С. 60–64.

THE INFLUENCE OF MACRO-, MICRONUTRIENTS, GROWTH REGULATORS, AND INOCULANT ON YIELD AND SEED QUALITY OF SEED PEAS

I.R. Vildflush, O.V. Malashevskaya

Summary

The application of NPK with B and Mo increased the seed yield sowing peas at 6,0 t/ha. The treatment of crops Adobe B in and MicroStim-Bor the background $N_{18}P_{63}K_{96}$ increased the seed yield of peas by 4,5 and 4,9 t/ha, and Ekasila and Kristalina – 4,9 t/ha.

Seed treatment of pea by inoculum in the background $N_{18}P_{63}K_{96}$ and $N_{18}P_{63}K_{96}$ + MicroStim-Bor provide the maximum yield (is 39,3 and 39,7 t/ha), crude protein (of 8,37 and 8,58 in c/ha) and digestible protein (to 7,20 and 7,38 kg/ha). The provision of a feed unit with digestible protein was higher in variants with the use of microelements boron and molybdenum – NPK with b and Mo, $N_{18}P_{63}K_{96}$ + B and Mo, $N_{18}P_{63}K_{96}$ + Adob Bor, as well as Ecosil in the budding phase. In these versions of the experiment, the provision of feed units of digestible protein ranged from 131 to 137 g, respectively.

Поступила 10.05.18

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРБАМИД-АММИАЧНОЙ СМЕСИ (КАС) ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СОРГО САХАРНОГО

Р.Н. Василенко

*Институт орошаемого земледелия НААН Украины,
г. Херсон, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

Сельскохозяйственное производство в засушливой зоне южной Степи ориентировано на получение большего количества качественной растениеводческой продукции. Однако отрасль земледелия в южном регионе проводится в тяжелых почвенно-климатических условиях с количеством осадков меньше чем 400 мм. В таких регионах сорго сахарное, благодаря высокой засухоустойчивости, малым требованиям к почвам, хорошей чувствительности к орошению и высоким урожаям, может выращиваться как культура универсального использования [7, 8]. Биологические особенности этой культуры позволяют за короткий промежуток времени формировать высокий урожай зеленой массы, которую можно использовать как в качестве корма, так и для технических целей [1, 2, 6].

Главное достоинство растительного сырья из сорго сахарного – высокое содержание сахаров в стеблях. В настоящее время лучшие селекционные образцы данной культуры содержат в клеточном соке стеблей до 20% (а иногда и больше) сахаров. Также, благодаря внедрению сорго сахарного в производство при более полного использовании биоклиматического потенциала региона, возможно существенно увеличить и производство кормов [3, 4].

Важнейшим источником гарантированного выращивания растениеводческой продукции в условиях южной Степи Украины служат орошаемые земли, где должны применяться научно обоснованные, системные подходы в выращивании сорго [5].

С целью экономии производственных затрат при выращивании сахарного сорго, необходимо исследовать сроки внесения азотных удобрений. Их внесение необходимо увеличивать в период активного роста растений, уменьшая общую норму. Такое внесение азотных удобрений обусловлено сокращением их общего использования, позволяет внедрить энергосберегающую технологию при оптимальной влажности почвы [1].

В связи с поставленной задачей увеличить производство качественных кормов с единицы площади в Институте орошаемого земледелия НААН был заложен опыт по изучению эффективности выращивания сорго сахарного в южной Степи.

Цель исследований – выявление наибольшей продуктивности кормовой массы сорго, а также выхода суммы сахаров с гектара в зависимости от сроков подкормки азотным удобрением КАС как на орошаемых, так и на неполивных землях.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на опытном поле Института орошаемого земледелия НААН в 2014–2016 гг. Почвы – темно-каштановые, слабосолонцеватые, среднесуглинистые с глубиной гумусного горизонта 45–50 см. Содержание гумуса в пахотном слое (0–30 см) почвы составляет 2,8–3,4 %, щелочногидролизованного азота – 4,5–5,5 мг/кг, подвижного фосфора – 40–60 мг, обменного калия – 400 мг/кг почвы. Наименьшая влагоемкость в 0–50 см слое почвы – 23,2 %, 0–100 см – 21,5 %, 0–150 см – 21,3 %. Влажность увядания соответственно 11,4; 11,6; 11,9 % к весу абсолютно сухой почвы. Сумма осадков за вегетационный период в 2014 г. – 215 мм, 2015 г. – 315 мм и 2016 г. – 278 мм. ГТК по годам исследований составлял 0,88; 0,79 и 0,90 соответственно.

Способ посева – широкорядный с междурядьями 70 см. Посев проводили в третьей декаде апреля как в неполивных условиях, так и при орошении. Под предпосевную культивацию вносили фонем на всех вариантах аммиачную селитру в дозе N_{80} . В исследованиях изучали сорт Силосный 42 и гибрид Довиста. В вариантах с изучением сроков внесения удобрений использовали минеральное удобрение КАС (карбамидно-аммиачную смесь) в дозе N_{40} , которую вносили в фазы 4–5 листьев, 8–10 листьев и 15 листьев согласно схеме опыта. Повторность опыта четырехкратная. На орошаемых участках проводились вегетационные поливы орошаемой нормой 1800–2000 м³/га. Опыт закладывали методом расщепленных делянок. Общая площадь учетной делянки – 20 м². Статистическая обработка результатов исследований выполнена по Б.А. Доспехову (1985) с использованием компьютерных программ дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В среднем за три года исследований высота растений в период уборки силосной массы (фаза налива зерна) в неполивных условиях составляла от 193 до 239 см. Наибольшей она была у гибрида Довиста с площадью листовой поверхности 39,2–47,0 тыс. м²/га. В неполивных условиях сорт Силосный 42 по высоте растений уступал на 11,7 %. При этом площадь листовой поверхности составляла 34,8–43,5 тыс. м²/га.

При орошении высота растений также была наибольшей у гибрида Довиста и составляла от 263 до 322 см, у сорта Силосный 42 ниже на 19,0–23,8 %. В этих условиях наибольшая площадь листовой поверхности 57,1 тыс. м²/га была у гибрида Довиста.

При изучении влияния минерального питания по фазам развития растений сорго на уровень продуктивности силосной массы установлено, что в неполивных условиях наиболее высокую урожайность в среднем за 2014–2016 гг. формировал гибрид Довиста при подкормке N_{40} в фазу 4–5 листьев – 47,9 т/га. В этом варианте было собрано наибольшее количество сухого вещества – 14,8 т с выходом 11,6 т к.е., 0,46 т/га переваримого протеина (табл. 1).

Следует отметить, что сорт Силосный 42 в неполивных условиях уступал гибриду Довиста по урожайности на 16,2–41,1 %, однако лучшим был тоже вариант с подкормкой азотным удобрением в фазу 4–5 листьев. Орошение обеспечило увеличение урожая силосной массы у гибрида Довиста в среднем в 1,7 раз, а у сорта Силосный 42 в 1,5 раза.

**Продуктивность сорго сахарного в зависимости от условий увлажнения
и минерального питания (2014–2016 гг.)**

Сорт/гибрид (В)	Минеральное питание (С)	Урожайность силосной массы, т/га	Сбор сухого вещества, т/га	Выход п.п., т/га	Выход к.ед, т/га
<i>Без орошения (А)</i>					
Силосный 42	Без подкормки	25,3	7,3	0,18	5,8
	N ₄₀ (в ф.4–5л.)	39,8	12,4	0,37	10,3
	N ₄₀ (в ф.8–10л.)	33,4	10,1	0,31	8,3
	N ₄₀ (в ф.15л.)	30,4	9,0	0,26	7,5
Довиста (F1)	Без подкормки	35,7	10,5	0,28	8,3
	N ₄₀ (в ф.4–5л.)	47,9	14,8	0,46	11,6
	N ₄₀ (в ф.8–10л.)	42,3	13,0	0,39	10,0
	N ₄₀ (в ф.15л.)	38,8	11,4	0,32	8,7
<i>При орошении (А)</i>					
Силосный 42	Без подкормки	40,3	9,1	0,32	7,0
	N ₄₀ (в ф.4–5л.)	59,4	14,5	0,52	11,6
	N ₄₀ (в ф.8–10л.)	52,8	12,6	0,43	10,1
	N ₄₀ (в ф.15л.)	47,2	11,1	0,38	8,8
Довиста (F1)	Без подкормки	60,3	14,8	0,43	11,5
	N ₄₀ (в ф.4–5л.)	84,0	22,9	0,74	18,5
	N ₄₀ (в ф.8–10л.)	77,1	19,3	0,60	15,0
	N ₄₀ (в ф.15л.)	68,1	16,6	0,52	12,3
НСР ₀₅	А	0,55	0,14		
	В	0,82	0,19		
	С	1,06	0,16		

Итак, в условиях дополнительного орошения гибрид Довиста был наиболее продуктивным при урожайности 60,3–84,0 т/га, а сорт Силосный 42 уступал на 22,4–33,2 %. При орошении также эффективной оказалась подкормка N₄₀ в фазу 4–5 листьев. В этих условиях наибольшая продуктивность силосной массы была у гибрида Довиста со сбором сухого вещества – 22,9 т, выходом кормовых единиц – 18,5 т, переваримого протеина – 0,74 т/га.

В среднем за 2014–2016 гг., подкормка азотным удобрением N₄₀ во время наступления фазы 4–5 листьев обеспечила увеличение урожая силосной массы по сравнению с контролем (без подкормки) у сорта Силосный 42 в неполивных условиях на 57,3% и при орошении на 47,4 %, у гибрида Довиста – на 34,2 % и 39,3 % соответственно. При подкормке в последующие фазы вегетации растений сорго отмечалось постепенное снижение продуктивности силосной массы.

В среднем за 2014–2016 гг. доленое влияние исследуемых факторов в накоплении сухого вещества в растениях сорго было следующее: фактор А – 27,0 %, фактор В – 35,2 %, фактор С – 29,4 %, взаимодействие факторов АВ – 6,3 %, а АС, ВС и АВС была малозначительными – 0,1–0,9 %. Таким образом, наибольшее влияние на сбор сухого вещества сорго сахарного имел подбор сортового и гиб-

ридного состава, затем подкормка карбамид-аммиачной смесью (КАС) и условия увлажнения.

Стебель сорго сахарного является основным органом, в тканях которого накапливаются сахара. От массы стеблей и содержания в них сахаров зависит их выход с гектара (табл. 2).

Таблица 2

Урожайность стеблей и выход сахаров у сорго сахарного (2014–2016 гг.)

Сорт/гибрид (В)	Минеральное питание (С)	Содержание сахаров в стеблях, %	Стебли в структуре урожая, %	Масса стеблей с 1 га, т	Выход сахаров с 1 га, т
<i>Без орошения (А)</i>					
Силосный 42	Без подкормки	9,6	81,2	20,6	2,0
	N ₄₀ (в ф.4–5л.)	12,8	75,4	30,0	3,8
	N ₄₀ (в ф.8–10л.)	12,3	77,7	26,0	3,2
	N ₄₀ (в ф.15л.)	10,4	79,3	24,1	2,5
Довиста (F1)	Без подкормки	9,6	80,3	28,6	2,7
	N ₄₀ (в ф.4–5л.)	10,6	73,9	35,4	3,7
	N ₄₀ (в ф.8–10л.)	10,2	75,0	31,8	3,2
	N ₄₀ (в ф.15л.)	9,8	77,5	30,1	2,9
<i>При орошении (А)</i>					
Силосный 42	Без подкормки	11,6	84,4	34,0	3,9
	N ₄₀ (в ф.4–5л.)	14,4	78,7	46,8	6,7
	N ₄₀ (в ф.8–10л.)	13,9	81,1	42,8	6,0
	N ₄₀ (в ф.15л.)	11,9	82,6	39,0	4,6
Довиста (F1)	Без подкормки	12,6	83,0	50,1	6,3
	N ₄₀ (в ф.4–5л.)	15,6	76,1	63,9	10,0
	N ₄₀ (в ф.8–10л.)	14,9	78,3	60,4	9,0
	N ₄₀ (в ф.15л.)	14,1	80,2	54,6	7,7
V, %		16,5	3,8	34,1	50,0

В неполивных условиях наибольшее содержание сахаров 9,6–12,8 % отмечалось у сорта Силосный 42 с наибольшим показателем при подкормке КАС дозой N₄₀ в фазу 4–5 листьев. Обращает на себя внимание уменьшение содержания сахаров при подкормке минеральным удобрением в другие, более поздние фазы развития растений как у сорта Силосный 42, так и у гибрида Довиста.

Такая зависимость отмечалась и на орошаемых участках. Однако, гибрид Довиста оказался более отзывчивым к орошению и обеспечил наибольшее содержание сахаров 12,6–15,6 %. В этих условиях сорт Силосный 42 уступал по содержанию сахаров на 11,6–14,4 %, урожайность стеблей при этом составляла 46,8 т/га, выход сахаров – 3,9–6,7 т/га. Таким образом, гибрид Довиста на орошаемом массиве обеспечивал максимальный уровень урожайности стеблей – 63,9 т/га и выход сахаров с гектара – 10 т.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований установлено, что культура сорго сахарного является перспективной как для неполивных условий, так и для орошения.
2. Наибольшую продуктивность силосной массы обеспечивает гибрид Довиста при подкормке КАС дозой N_{40} в фазу 4–5 листьев как при орошении с выходом кормовых единиц 18,5 т/га, так и на богаре – 11,6 т/га.
3. Орошение обеспечило увеличение содержания сахаров в стеблях растений: на 5,0 % до 15,6 % у гибрида Довиста, у сорта Силосный 42 – на 1,6 % до 14,4 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вожегова, Р.А.* Ресурсозберігаючі технології вирощування кормових культур в умовах півдня України / Р.А. Вожегова, С.О. Заєць, Р.М. Василенко. – Херсон, 2015. – 28 с.
2. *Герасименко, Л.А.* Вплив строків та глибини загортання насіння на фотосинтетичну продуктивність посівів сорго цукрового / Л.А. Герасименко // Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. – 2014. – № 4. – С. 73–77.
3. *Грабовський М.Б.* Формування продуктивності сорго цукрового під впливом строків сівби / М.Б. Грабовський, Т.О. Грабовська, Т.О. Козак // Ukrainian Journal of Ecology. – 2017. – № 7(4). – С. 500–504.
4. *Троценко В.І.* Продуктивність сортів та гібридів сорго цукрового в умовах північно-східного Лісостепу України / В.І. Троценко, З.І. Глупак // Вісник Сумського національного аграрного університету. – 2014. – № 9(28). – С. 127–129.
5. *Жидков, В.М.* Режим орошения и удобрения сахарного сорго на светлокштановых почвах Волгоградского Заволжья / В.М. Жидков, В.А. Битюков // Кормопроизводство. – 2010. – № 2. – С. 18–20.
6. *Макаров, Л.Х.* Соргове культури / Л.Х. Макаров. – Херсон: Айлант, 2006. – 264 с.
7. *Малиновский, Б.Н.* Сорго как источник высокосахаристой продукции / Б.Н. Малиновский, А.С. Казакова // Сахарная промышленность. – 1986. – № 2. – С. 54–57.
8. *Шекун, Г.М.* Культура сорго в СССР и ее биологические особенности / Г.М. Шекун. – М: Колос, 1964. – 140 с.

THE EFFICIENCY OF USING UREA-AMMONIUM NITRATE (UAN) IN THE CULTIVATION OF SWEET SORGHUM

R.N. Vasiltnko

Summary

The aim of the research was intended to identify the highest productivity of forage sorghum and the output is the sum of sugars per hectare depending on the timing of topdressing nitrogen fertilizer CAS both irrigated and rainfed lands. As a result of

researches it is established that the highest productivity of green fodder for silage provides a hybrid Dovista as irrigation with a yield of fodder units of 18,5 t/ha and on rainfed and 11.6 t/ha with feeding urea ammonium nitrate dose N_{40} in the phase of 4–5 leaves. Irrigation increased the sugar content in the stems of the plants to 15,6 % in the hybrid, and the rainfed in the variety of Silo 42 is 12,8 %. Hybrid Dovista on irrigated array is most productive as forage productivity, and for the collection of sugars per unit area.

Поступила 13.03.18

УДК 633.39:631.559:631.8

ВЛИЯНИЕ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ВОЗРАСТА ПОСЕВОВ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РОСТА И УРОЖАЙНОСТЬ СЕМЯН СИЛЬФИИ ПРОНЗЕННОЛИСТНОЙ ПРИ ВЕГЕТАТИВНОМ РАЗМНОЖЕНИИ

В.А. Емелин

*УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»,
г. Витебск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Кормопроизводство Республики Беларусь – это составная часть растениеводческой отрасли сельского хозяйства. Задача, которая ставится перед производством, состоит в том, чтобы обеспечить поголовье крупного рогатого скота высокоэнергетическими, сбалансированными по белку, дешевыми кормами. Кроме этого, кормовая база должна совершенствоваться и опережать потребности животноводства за счет освоения новых производств и технологий, включая возделывание и внедрение новых высокопродуктивных видов растений, сортов и гибридов культур. Для этого требуется введение в производство культур, посевы которых обеспечивали бы максимальное использование ФАР (фотосинтетическая активная радиация) и почвенных ресурсов.

Основными почвами в Беларуси являются дерново-подзолистые, которые характеризуются кислой реакцией, низкой обеспеченностью элементами питания и неблагоприятными агрофизическими свойствами. Половина районов Витебской области имеет низкий балл плодородия почв, избыточное увлажнение, склоновые земли и малую контурность полей. Земледелие осложняется ограниченностью и неустойчивостью факторов тепла и влаги, поэтому возделываемые традиционные культуры могут давать высокие урожаи на окультуренных почвах и при высоком уровне агротехники. В районах с низким (20–27) баллом плодородия почв фактором, ограничивающим продуктивность посевов, являются почвенно-климатические условия, к которым необходимо адаптировать условия хозяйствования [13]. Необходимо исходить из возможностей земледелия, природных и экономических

условий, поэтому важно правильно определить объемы и структуру производства продукции растениеводства и животноводства [15].

Прогрессивность научных исследований и инновационная перспектива определяются тематикой исследований, которая позволяет заниматься изысканиями по использованию земельных ресурсов и биологического потенциала растений в сельском хозяйстве и промышленности. Такие исследования являются актуальными и менее затратными, так как на первом этапе работ проще проводить интродукцию, исследования по изучению биологии вида и выявлять перспективность культуры в условиях небольших опытных посевов.

Результаты научных исследований и производственных опытов показывают, что сільфія пронзеннолистная может возделываться в условиях земледелия лесной зоны Беларуси и степной зоны Казахстана при орошении как высокотехнологичный вид при организации производства сочных кормов (зеленый корм и силос) и планировании страхового фонда. Высокая экологическая устойчивость сільфии и ее продуктивность в сочетании с долголетием позволит эффективно использовать почвенно-климатические ресурсы лесной зоны, включая малоплодородные почвы с временно избыточным и неустойчивым увлажнением [9, 10].

Изучение сільфии проводилось на различных почвах: серых и темно-серых оподзоленных, выщелоченных черноземах, луговых и лугово-болотных, дерново-подзолистых [5, 20], торфяниках [11, 17], черноземах [1, 7], темно-каштановых [9], светло-каштановых [25] и сероземно-луговых почвах [18]. Сільфия обеспечивает высокие урожаи, независимо от механического состава, при хорошей влагообеспеченности [4]. Для успешного роста сільфии необходимы окультуренные, плодородные, богатые органическими питательными веществами почвы [20]. Предъявляя высокие требования к почве, сільфия сама улучшает почвенное плодородие [3]. Сільфия хорошо отзывается на удобрения, но может давать высокие урожаи зеленой массы и без внесения удобрений [16].

На семенных участках под сільфию необходимо вносить умеренные дозы азота и повышенные дозы фосфорных и калийных удобрений [3]. В условиях Лесостепи Украины лучшее сочетание (по 60 кг/га д. в.) минеральных удобрений получено в варианте РК (фосфор и калий), где на посевах второго года жизни была получена наивысшая урожайность семян (1146 кг/га всхожестью 84,5 %). В вариантах с использованием азота урожайность была ниже (483–799 кг/га). Урожайность семян в контроле была 330 кг/га [22]. Подкормка весной минеральными удобрениями ($N_{60} P_{40} K_{40}$ кг/га д. в.) повышает урожайность семян на 25–85 %. В среднем за 5 лет наблюдений урожайность составила 311 кг/га, что на 118 кг или 61 % выше контроля [6]. Исследования, проводившиеся при орошении в условиях Казахстана, выявили максимальную урожайность семян (1210 кг/га) сільфии и при ручной трехкратной уборке. Приемы уборки изучались на удобренном фоне $N_{60} P_{90} K_{60}$ кг/га действующего вещества [14].

Сільфія – светолюбивое растение, в естественных условиях является компонентом высокотравья. При недостатке света рост растений угнетается, поэтому сільфия отрицательно реагирует на засоренность посевов и покровное выращивание [23, 24]. Также изучалась фотопериодическая реакция, где было установлено, что под воздействием сокращенного дня переход к репродукции у растений задерживался и усиливалось накопление вегетативной массы. При этом задерживалось старение листьев и увеличивался период их активного роста [12].

Высокая продуктивность новых (сильфия, катран, горец, борщевик, топинамбур, мальва) кормовых растений объясняется ранним отрастанием и большой площадью листовой поверхности. Обладая высоким фотосинтетическим потенциалом и накапливая большое количество сухого вещества и энергии, они отличаются высоким КПД использования ФАР (1,7–2,7 %) за период вегетации (до первого укоса – 3–4 %), что значительно выше, чем у кукурузы. Выход валовой энергии у сильфии составляет 52,1 ккал млн/га (4174 ккал/кг), абсолютно сухого вещества – 124,9 ц/га. Высокая продуктивность сильфии обеспечивается благодаря большой площади листьев (153,7 тыс. м кв/га) и КПД использования ФАР (2,6 %) [2]. Фотосинтетический потенциал и площадь листьев сильфии увеличиваются от фазы стеблевания к фазе цветения растений. Чистая продуктивность фотосинтеза максимальна в фазе бутонизации (12,7 г/м кв. в сутки), минимальна – в фазе стеблевания. Наибольшая прибавка биомассы отмечается в фазе бутонизации [19].

Согласно литературным источникам и исследованиям сильфия пронзеннолистная выращивалась в самых разных почвенно-климатических условиях. При хорошей влагообеспеченности она может возделываться на основных типах почв с различным гранулометрическим составом, включая тяжелые лугово-болотные с близким залеганием грунтовых вод, среднекислые дерново-подзолистые почвы и торфяники. Растения могут угнетаться и снижать фотосинтетическую деятельность в первый год жизни и продуктивность посевов в последующие годы.

В первый год после посева сильфия растет медленно. Растения в течение вегетации только формируют прикорневую розетку листьев и уходят в зиму. В первый год уборку не проводят. В это время из-за медленного роста растений посевы требуют защиты от сорняков, поэтому система мероприятий по предпосевной подготовке почвы и уходу за всходами растений должна складываться из комплекса агротехнических и химических приемов, направленных на борьбу с сорняками. На второй и последующие годы жизни растений сильфия цветет и плодоносит, она отличается высокой побегообразующей способностью и хорошей конкуренцией по отношению к сорнякам. Уборку на зеленый корм и семена начинают проводить со второго года жизни растений.

Фотосинтетическая деятельность растений и структура урожая находятся в зависимости от почвенно-климатических условий, приемов возделывания и видовой принадлежности. В структуре листа имеют наибольшую биологическую и хозяйственную ценность, так как их рост и развитие определяют величину формирования урожая и продуктивность посевов. В связи с этим оценка посевов сильфии по комплексу признаков, включая фотосинтетические показатели роста, изучение параметров отдельных частей растения, является актуальной и имеет важное научное и практическое значение.

В условиях Республики Беларусь приемы возделывания сильфии пронзеннолистной на семена не изучались. Не изучалась семенная продуктивность сильфии в зависимости от доз минеральных удобрений при вегетативном размножении культуры на дерново-подзолистых почвах. Поэтому требуется изучить не только приемы возделывания, но и разработать адаптивную технологию создания многолетнего высокопродуктивного агрофитоценоза, включая технологию размножения и промышленного производства семян. Все эти вопросы, как и сама интродукция

новых видов растений, являются актуальными при изучении сидерии в почвенно-климатических условиях Витебской области.

Цель исследований – изучить влияние доз минеральных удобрений на особенности роста и развития растений, фотосинтетическую деятельность посевов и урожайность семян сидерии пронзеннолистной.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований являются сидерия пронзеннолистная и дозы минеральных удобрений. Исследования проводились в опытах на поле севооборота РУП «Витебский зональный институт сельского хозяйства НАН Беларуси» в период с 2006 по 2012 гг. Почва опытного участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая, подстилаемая с глубины 1 метра моренным суглинком. Предшественник – яровая пшеница, звено севооборота: картофель – зерновые. Агрохимическая характеристика пахотного горизонта: pH_{KCl} 5,8, содержание гумуса – 2,0 %, подвижного фосфора (P_2O_5) – 200 мг и калия (K_2O) – 180 мг на 1 кг почвы.

В настоящее время сортообразец «Первый Белорусский» сидерии пронзеннолистной проходит Государственное испытание. Исследования и внедренческая работа проводятся в Витебской и Брестской областях. Биометрические измерения и урожайность учитывали с побегов куста каждой делянки. Урожайность семян учитывали в фазу побурения корзинок и полной спелости семян, начиная с корзинок первого порядка дихазия. Учетная площадь – 25 м². Повторность опыта – четырехкратная, расположение делянок – систематическое со смещением делянок. Для количественной оценки фотосинтетической деятельности растений определяли площадь листьев методом высечек, чистую продуктивность фотосинтеза (г/м сутки) определяли расчетным путем по формуле Кидда, Веста и Бригса, фотосинтетический потенциал – по Ничипоровичу. Математическая обработка урожайных данных проводилась дисперсионным методом по Б.А. Доспехову [8].

Обработка почвы, посев и уход за посевами сидерии проводились в соответствии с требованиями рекомендаций и отраслевых регламентов по возделыванию многолетних трав и пропашных кормовых культур. Посадку сидерии и закладку полевого опыта проводили частями кустов и корневищ, которые были выпажаны с участка посевов прошлых лет и разделены на части. Деление проводили весной во время пробуждения почек с антоциановым окрасом по количеству 2–3-х почек возобновления на корневище. Густота посева формировалась весной в 2010 году посадкой вегетативных органов растений по схеме размещения 70×70 см. На фоне густоты 20408 растений/га изучались дозы (д. в.) минеральных удобрений, варианты которых представлены в таблицах 1 и 2. Удобрения (NPK) вносились методом разбрасывания весной в фазу начала отрастания растений под междурядную обработку.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На долю урожая и органических соединений, создаваемых растениями в результате фотосинтеза, приходится основная биомасса растительного организма. Поэтому важным фактором, влияющим на продуктивность культур, является величина ассимиляционного аппарата растений и его работа, которая должна долгое время

сохранять свое активное состояние, накапливать питательные вещества, необходимые для формирования вегетативных и генеративных органов растений.

Исследования показывают, что определяющее влияние на ростовые процессы сальфии оказывали удобрения, возраст растений и погодные условия. Показатели густоты побегов, площади листьев и фотосинтетического потенциала закономерно росли с увеличением возраста посевов. Как отмечалось ранее, изначально густота (20408 раст./га) посевов создавалась посадкой вегетативных органов по схеме размещения растений 70 x 70 см. Посадку проводили частями кустов и корневищ с количеством 2–3 почки возобновления на каждой отделенной части. В результате размножения выявлена высокая (98–99 %) приживаемость вегетативных частей сальфии. Начиная с первого года, густота формировалась за счет образования побегов в зависимости от доз удобрений. Ежегодно на удобренных вариантах густота увеличивалась примерно в 1,5–2,3 раза (табл. 1).

Суммарная площадь поверхности листьев возрастала с увеличением количества побегов сальфии. В период созревания семян наилучшие условия для мощного роста листьев в первый год создавались при густоте образования побегов 69,4 тыс. шт./га (55,9 тыс. м²/га), во второй – 89,8 (101,1) и в третий год при густоте 251,0 тыс. шт./га (209,0 тыс. м²/га). В контроле густота (34,7, 81,6 и 118,4 тыс. шт./га по годам соответственно) посевов и площадь (17,4–65,3 тыс. м²/га) листьев была меньше. Площадь листьев была меньше в 1,7–3,2 раза. Максимальная (150,6–209,0 тыс. м²/га) площадь листовой поверхности получена на третий год жизни растений. Также было установлено, что применение удобрений способствовало мощному развитию ассимиляционной поверхности листьев. Результаты показывают, что рост листьев был лучше при дозах азота 60 и 90 кг/га действующего вещества с одновременным внесением P₉₀ K₁₂₀ кг/га при густоте побегообразования 230,6 и 251,0 тыс. шт./га соответственно. Закономерность развития листьев сохранялась все годы.

Наиболее высокая доля (37,3–43,1 %) листьев в структуре массы наблюдалась там, где посевы сальфии подкармливали азотом 60 кг/га при разных дозах фосфорных и калийных удобрений. От фазы цветения растений в период формирования семян и к фазе полной спелости семян в корзинках первого порядка дихазия площадь листьев и их доля в структуре биомассы уменьшались. Снижение ассимиляционной поверхности происходило вследствие усыхания и отмирания нижних листьев. Это было особенно заметно в засушливый 2010 г., где вторая половина лета была жаркой и без осадков. Хорошая сохранность листьев отмечалась при малых (P₆₀ K₉₀) и средних (P₉₀ K₁₂₀) дозах фосфорных и калийных удобрений. Доля листьев в структуре уменьшалась с увеличением доз удобрений в разные годы до 30,1–33,2 %. Высокие дозы (N₉₀ P₁₂₀ K₁₅₀ кг/га) сначала замедляли развитие вегетативных органов, а затем рост листовой поверхности останавливался.

Важным показателем фотосинтетической деятельности растений в посевах, учитывающим площадь листовой поверхности и продолжительность их работы, является фотосинтетический потенциал (ФП, м² дн./га). Этот показатель представляет собой сумму ежесуточных показателей площади листьев за период вегетации сальфии. В период роста растения и развития репродуктивных органов, особенно во время формирования семян до фазы полной их спелости, работа фотосинтетического аппарата имеет важное биологическое и большое хозяйственное значение.

**Показатели роста и фотосинтетической деятельности растений сельфии
в зависимости от доз минеральных удобрений**

Вариант		Выход сухого вещества, ц/га	Густота побегов, тыс. шт./га	Доля листьев, %	Площадь листьев, тыс. м ² /га	ФП, млн м ² сутки/га	ЧПФ, г/м ² сутки
<i>1-й год жизни растений, 2010 г.</i>							
Без удобрений (контроль)		6,09	34,7	41,6	17,4	0,9	4,02
N ₃₀	P ₆₀ K ₉₀	14,31	51,0	42,3	33,7	1,54	6,31
	P ₉₀ K ₁₂₀	18,56	57,1	42,7	49,6	2,00	6,84
	P ₁₂₀ K ₁₅₀	19,76	65,3	40,4	47,9	2,08	6,91
N ₆₀	P ₆₀ K ₉₀	17,35	53,0	43,0	40,3	1,76	6,78
	P ₉₀ K ₁₂₀	19,50	59,2	43,1	47,3	2,00	6,88
	P ₁₂₀ K ₁₅₀	21,76	69,4	41,2	55,9	2,29	6,66
N ₉₀	P ₆₀ K ₉₀	21,53	61,2	40,8	50,8	2,02	8,25
	P ₉₀ K ₁₂₀	22,57	67,3	39,5	50,8	2,03	8,85
	P ₁₂₀ K ₁₅₀	20,28	63,3	30,6	39,9	1,66	10,02
<i>2-й год жизни растений, 2011 г.</i>							
Без удобрений (контроль)		22,8	81,6	41,3	58,4	3,59	4,22
N ₃₀	P ₆₀ K ₉₀	63,9	93,9	37,0	83,7	4,66	11,73
	P ₉₀ K ₁₂₀	63,0	91,8	37,5	87,6	5,00	10,58
	P ₁₂₀ K ₁₅₀	58,8	98,0	36,8	81,3	4,73	10,37
N ₆₀	P ₆₀ K ₉₀	68,6	89,8	42,3	101,1	5,56	10,20
	P ₉₀ K ₁₂₀	77,8	100,0	38,0	98,7	5,40	12,40
	P ₁₂₀ K ₁₅₀	55,5	108,2	37,4	89,9	5,09	10,40
N ₉₀	P ₆₀ K ₉₀	83,0	97,9	33,8	94,5	5,08	14,23
	P ₉₀ K ₁₂₀	65,5	106,1	36,0	79,0	4,54	12,08
	P ₁₂₀ K ₁₅₀	52,8	95,9	30,1	56,7	3,06	16,71
<i>3-й год жизни растений, 2012 г.</i>							
Без удобрений (контроль)		31,9	118,4	35,2	65,3	4,89	5,69
N ₃₀	P ₆₀ K ₉₀	91,8	193,9	36,2	157,3	12,89	5,48
	P ₉₀ K ₁₂₀	96,9	204,1	36,1	193,9	13,31	6,29
	P ₁₂₀ K ₁₅₀	94,9	208,2	36,8	150,6	12,84	5,78
N ₆₀	P ₆₀ K ₉₀	107,7	195,9	37,3	175,7	13,79	6,21
	P ₉₀ K ₁₂₀	110,1	230,6	36,7	186,4	13,96	6,25
	P ₁₂₀ K ₁₅₀	97,4	234,6	36,0	166,1	12,49	6,30
N ₉₀	P ₆₀ K ₉₀	113,9	220,4	35,4	193,4	15,90	5,67
	P ₉₀ K ₁₂₀	134,7	251,0	34,0	209,0	16,62	6,66
	P ₁₂₀ K ₁₅₀	131,3	224,5	33,2	197,9	13,52	8,55

Результаты показывают, что наиболее интенсивное нарастание фотосинтетического потенциала происходило в связи с увеличением возраста посевов и образованием большого количества побегов на единице площади. Также было выявлено, что удобрения увеличивали интенсивность роста ФП. В первый год (2010) жизни растений в удобренных вариантах ФП был в пределах от 1,54 до 2,29 млн м² сутки/га, на второй – 3,06–5,56 и на третий год достиг – 12,49–16,62 млн м² сутки/га. В контроле фотосинтетический потенциал был меньше (по годам соответственно – 0,9, 3,59 и 5,69 г/м² сутки). Исключением был второй год, где вносились самые высокие (N₉₀P₁₂₀K₁₅₀) дозы удобрений. Здесь ФП (3,06 г/м² сутки) был ниже контроля.

Максимальное значение ФП формировали посевы силфии третьего года жизни. В лучших посевах, где вносились дозы удобрений N₆₀P₉₀K₁₂₀ и N₉₀P₉₀K₁₂₀ кг/га, фотосинтетический потенциал достиг 13,96 млн м² сутки/га и 16,62 млн м² сутки/га соответственно. Исследуемые годы выявили, что более высокие дозы (N₉₀P₁₂₀K₁₅₀) удобрений приводят к уменьшению густоты побегообразования, площади листьев, фотосинтетического потенциала и сухого вещества (первый, второй и третий годы на 2,5–19,4 %).

Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) играет важную роль в формировании урожая (количество сухой биомассы, накопленной за сутки, в расчете на 1 м² листьев, г/ м² сутки). Исследованиями было установлено, что улучшение условий питания растений повышает интенсивность работы фотосинтетического аппарата. Также установлено, что чистая продуктивность фотосинтеза менялась по годам. Наибольшими (10,02–16,71 г/м² сутки) показателями ЧПФ отличались посевы силфии второго года (2011) жизни растений. За вегетационный период, от начала роста растений весной до наступления полной спелости семян в корзинках первого порядка дихазия, чистая продуктивность фотосинтеза в удобренных вариантах была выше контроля (4,22 г/м² сутки) в 2,4–3,9 раза. Максимальная (16,71 г/м² сутки) продуктивность посевов получена где вносились высокие дозы удобрений – N₉₀P₁₂₀K₁₅₀ кг/га.

На третий год жизни растений при интенсивном побегообразовании ЧПФ снижалась. Загущенные (193,9–251,0 тыс. побегов га) посевы силфии не способствовали лучшей работе листового аппарата, так как в результате увеличение густоты посевов и листовой поверхности возрастало взаимное затенение листьев, особенно нижних ярусов. Листья нижних узлов (первых двух-трех) начинали подсыхать, поэтому уменьшали показатели чистой продуктивности фотосинтеза. В условиях Витебской области наиболее ценные для посева семена формировались в корзинках I-IV порядках дихазия. Лабораторная всхожесть семян – 65–75 %.

Минеральные удобрения положительно влияли на площадь листьев, продолжительность и продуктивность их работы, семенную продуктивность силфии. В первый год (2010) в контроле получили 94,4 кг семян с одного гектара (табл. 2). В удобренных вариантах урожайность была выше – 131–196,3 кг/га. Рост урожайности продолжался на второй и третий годы. Так на второй год в контроле получили 134,0 кг/га семян, а в вариантах с удобрениями – 197,2–317,3 кг/га, на третий год – 171,8 кг/га и 259,9 – 435,3 кг/га семян соответственно. Лучшими по урожаю были посевы силфии, где вносились дозы N₆₀P₉₀K₁₂₀ и N₉₀P₉₀K₁₂₀ кг/га.

Таблица 2

Влияние доз минеральных удобрений на урожайность семян сильфии, кг/га

Вариант		Годы жизни растений			Среднее
		1-й год, 2010 г.	2-й год, 2011 г.	3-й год, 2012 г.	
Без удобрений (контроль)		94,9	134,0	171,8	133,6
N ₃₀	P ₆₀ K ₉₀	160,3	218,0	305,7	228,0
	P ₉₀ K ₁₂₀	155,3	251,0	355,3	253,9
	P ₁₂₀ K ₁₅₀	131,5	197,2	259,6	196,1
N ₆₀	P ₆₀ K ₉₀	168,0	245,0	371,4	261,5
	P ₉₀ K ₁₂₀	172,4	273,6	435,3	293,8
	P ₁₂₀ K ₁₅₀	166,9	267,5	320,2	251,5
N ₉₀	P ₆₀ K ₉₀	196,3	314,5	352,8	287,9
	P ₉₀ K ₁₂₀	190,4	317,3	397,5	301,7
	P ₁₂₀ K ₁₅₀	183,3	275,1	266,5	241,6
НСП ₀₅		3,9	5,3	6,5	–

Таким образом, в почвенно-климатических условиях Витебской области сильфия пронзеннолистная может возделываться на семена, начиная с первого года жизни при размножении частями кустов и корневищ. Оптимальное питание улучшает рост растений, способствует образованию побегов, развитию вегетативных и репродуктивных органов, получению семян соответствующего качества. Удобрения увеличивают не только густоту посевов, но и улучшают фотосинтетическую деятельность растений и величину ассимиляционного аппарата. Большую листовую поверхность развивают посевы сильфии, где вносились дозы азота 60 и 90 кг/га при одновременном внесении по P₉₀K₁₂₀ кг/га. При таком соотношении доз удобрений сильфия пронзеннолистная формирует наибольшую (среднее 293,8 и 301,7 кг/га) семенную продуктивность посевов.

ВЫВОДЫ

1. В условиях северной зоны Беларуси при недостатке семян целесообразно возделывать и создавать семеноводческие посевы сильфии пронзеннолистной вегетативным способ размножения. Посадка частями кустов и корневищ с почками (2–3 шт.) возобновления по запланированной схеме (70x70 см) имеет перспективу изначально формировать оптимальную густоту посева, облегчает уход, обеспечивает получение семян в первый год и высокую урожайность в последующие годы.

2. На дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах Витебской области сильфия хорошо отзывается на внесение минеральных (NPK) удобрений весной под междурядную обработку. Удобрения положительно влияют на фотосинтетические показатели роста растений, создают оптимальные условия для формирования репродуктивных органов и повышают семенную продуктивность. Наибольшую листовую поверхность формируют и дольше сохраняют в активном состоянии

посевы сильфии, где вносились дозы азота 60 и 90 кг/га при сочетании средних доз ($P_{90}K_{120}$ кг/га) фосфорных и калийных удобрений, которые обеспечивают выход семян с гектара по 293,8 и 301,7 кг.

3. Максимальное значение фотосинтетического потенциала формировали посевы сильфии третьего года жизни. На лучших посевах, где вносились дозы удобрений $N_{60}P_{90}K_{120}$ и $N_{90}P_{90}K_{120}$ кг/га, фотосинтетический потенциал достиг 13,96 млн м² сутки/га и 16,62 млн м² сутки/га соответственно. Высокие дозы ($N_{90}P_{120}K_{150}$) минеральных удобрений приводят к уменьшению густоты побегообразования, площади листьев, фотосинтетического потенциала и сухого вещества (первый, второй и третий годы на 2,5–19,4%).

4. За период вегетации от начала роста растений весной до наступления полной спелости семян в корзинках первого порядка дихазия наибольшими (10,2–16,71 г/м² сутки) показателями чистой продуктивности фотосинтеза отличаются посевы сильфии второго года жизни растений, где вносились удобрения (контроль – 4,22 г/м² сутки). Максимальная ЧПФ получена при дозах удобрений – $N_{90}P_{120}K_{150}$ кг/га. На третий год чистой продуктивности фотосинтеза снижается (5,48–8,55 г/м² сутки) вследствие интенсивного увеличения густоты (193,9–251,0 тыс. га) побегов и загущения посевов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Базылев, Э.Я.* Интродукция новых кормовых растений на типичных черноземах Саратовской области / Э.Я. Базылев // Тезисы Всесоюзного совещания по технологии возделывания новых кормовых культур. – Саратов: Энгельс, 1978. – Ч. 1. – С. 17–19.
2. *Беляк, В.Б.* Новые кормовые культуры на орошении / В.Б. Беляк // Тезисы Всесоюзного совещания по технологии возделывания новых кормовых культур. – Саратов: Энгельс, 1978. – Ч. 1. – С. 21–23.
3. *Болтабекова, К.С.* Мелиорирующее влияние корневой системы сильфии пронзеннолистной на почву / К.С. Болталбекова, Б.В. Лавров, А.М. Бакланов // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1995. – № 3. – С. 26–27.
4. *Вавилов, П.П.* Новые кормовые культуры / П.П. Вавилов, А.А. Кондратьев. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 351 с.
5. *Выдрин, Ю.В.* Продуктивность сильфии пронзеннолистной в зависимости от удобрений и режимов использования травостоя: материалы VIII Всероссийского симпозиума по новым кормовым растениям / Российская академия наук, Уральское отделение, Коми научный центр, Ин-т биологии. – Сыктывкар, 1993. – С. 37–39.
6. *Григорьев, В.И.* Влияние приемов агротехники на кормовую и семенную продуктивность сильфии пронзеннолистной / В.И. Григорьев // Кормовые растительные ресурсы – фактор научно-технического прогресса в кормопроизводстве: тезисы докладов конференции. – Киев, 1989. – С. 62.
7. *Добрякова, Е.П.* Сильфия пронзеннолистная – перспективное кормовое растение для Поволжья / Е.П. Добрякова, В.С. Сотченко, Э.Я. Базылев // Тезисы Всесоюзного совещания по технологии возделывания новых кормовых культур. – Саратов: Энгельс, 1978. – Ч. 2. – С. 70–73.

8. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

9. *Емелин, В.А.* Агробиологическая оценка исходного материала сільфії пронзеннолистной в условиях Беларуси и Казахстана / В.А. Емелин // Адаптивное кормопроизводство. – 2015. – № 3. – С. 46–57.

10. *Емелин, В.А.* Приемы технологии возделывания сільфії пронзеннолистной на кормовые цели в условиях Витебской области: рекомендации / В.А. Емелин; Витебская государственная академия ветеринарной медицины. – Витебск: ВГАВМ, 2017. – 56 с.

11. *Иевлев, Н.И.* Сільфия пронзеннолистная в условиях торфяных почв / Н.И. Иевлев // Тезисы Всесоюзного совещания по технологии возделывания новых кормовых культур. – Саратов: Энгельс, 1978. – Ч. 2. – С. 78–79.

12. *Кошкин, Е.И.* Особенности биологии и некоторые приемы возделывания сільфії пронзеннолистной в условиях Московской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Е.И. Кошкин; ТСХА. – М., 1976. – 18 с.

13. *Лапа, В.В.* Предложения по изменению специализации сельскохозяйственных организаций республики с учетом природно-климатических условий и плодородия почв в целях достижения максимальной эффективности животноводства и растениеводства / В.В. Лапа, А.Ф. Черныш, Н.И. Смяян // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции Беларуси: сб. научных материалов / НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – 2-е изд., доп. и перераб. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – С. 29–41.

14. *Макарова, А.Н.* Агротехника сільфії пронзеннолистной в условиях орошения Алма-Атинской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06 01 09 / А.Н. Макарова. – Алматы: ИВЦ, 1979. – 18 с.

15. *Никончик, П.И.* Возможная эффективность земледелия сельскохозяйственных предприятий Республики Беларусь / П.И. Никончик // Стратегия и тактика экономически целесообразной адаптивной интенсификации земледелия: материалы Международной научно-практической конференции : в 2 т. / под общ. ред. М.А. Кадырова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2004. – Т. 1: Земледелие и растениеводство. – С. 3–11.

16. *Павлов, В.С.* Новые и малораспространенные кормовые культуры / В.С. Павлов; Ленинградский ветеринарный институт. – Л., 1974. – 49 с.

17. *Панасюк, Б.А.* Влияние скашивания на продуктивность сільфії пронзеннолистной на торфяных почвах поймы р. Ирпень Киевской области / Б.А. Панасюк, В.В. Капустин, А.П. Кротионов // Тезисы Всесоюзного совещания по технологиям возделывания новых кормовых культур. – Саратов: Энгельс, 1978. – Ч. 2. – С. 81–83.

18. *Романдина, М.Д.* Результаты изучения новых силосных культур в Киргизии / М.Д. Романдина, В.Н. Скляр // Кормопроизводство. – 1976. – № 14. – С. 202–208.

19. *Скодтаева, А.В.* Фотосинтетический аппарат сільфії пронзеннолистной и топинамбура / А.В. Скодтаева // Земледелие. – 2007. – № 5. – С. 28.

20. *Суворин, В.П.* Новые многолетние кормовые растения на дерново-подзолистой почве разного уровня плодородия и механического состава / В.П. Суворин, А.Н. Петров, В.И. Клепач // Шестой симпозиум по новым кормовым растениям. – Саранск, 1973. – С. 51–52.

21. Суворин, В.П. Новые многолетние кормовые растения на дерново-подзолистой почве разного уровня плодородия и механического состава / В.П. Суворин, А.Н. Петров, В.И. Клепач // Шестой симпозиум по новым кормовым растениям: тезисы. – Саранск, 1973. – С. 51–52.

22. Стадничук, Н.А. Влияние минеральных удобрений на семенную продуктивность сільфії пронзеннолистной / Н.А. Стадничук, А.А. Абрамов // Кормовые растительные ресурсы – фактор научно-технического прогресса в кормопроизводстве: тезисы докладов конференции / АН УССР, ВАСХНИЛ. – Белая Церковь, 1989. – С. 63.

23. Утеуш, Ю.А. Новые перспективные кормовые культуры / Ю. А. Утеуш; Академия наук Украины, Центральный республиканский ботанический сад. – Киев: Наукова думка, 1991. – 192 с.

24. Утеуш, Ю.А. Сільфія пронзеннолистная в условиях Украины / Ю.А. Утеуш, С. Домашенко // Земледелие. – 1978. – № 1. – С. 30–31.

25. Чубарова, Г.В. Новые силосные растения / Г.В. Чубарова // Силосные культуры. – М.: Колос, 1974. – С. 230–273.

INFLUENCE OF DOSES OF MINERAL FERTILIZERS AND CROPS AGE ON PHOTOSYNTHETIC INDICATORS OF GROWTH AND YIELD OF SEEDS SILFIUM PERFOLIATUM IN VEGETATIVE MULTIPLICATION

V.A. Yemelin

Summary

Mineral fertilizers influence positively the photosynthetic activity of plants and the seed productivity of silfium. Fertilizers contributed to the creation of optimal conditions for the growth and development of plants, the formation of reproductive organs and a high yield of seeds. Silfium crops in places develops the largest leaf surface and stay longer in the active state where doses of $N_{60}P_{90}K_{120}$ kg/ha and $N_{90}P_{90}K_{120}$ kg/ha were applied. Silfium showed an average seed yield of 293,8 and 301,7 kg/ha with this combination of doses of mineral fertilizers. When creating seed-growing crops of silfium perfoliatum and deficiency of seeds, it is advisable, especially in the weeded areas, to use the vegetative mode of reproduction. Planting with parts of bushes and rhizomes according to the planned scheme has the prospect of initially forming the optimal seeding density, facilitates the care and control of weeds, ensures seed production in the first year and high yields in following years.

Поступила 26.03.18

К ВОПРОСУ О ПРИГОДНЫХ ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЛЮЦЕРНЫ ПОЧВАХ (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

В.И. Сороко

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

Одной из основных проблем земледелия и растениеводства является увеличение объема кормовых культур и улучшение качества производимой продукции, что в итоге определяет рентабельность всего сельского хозяйства. [1–6]. В то же время Научно–практический центр НАН Беларуси по земледелию отмечает низкую активность сельскохозяйственных организаций по увеличению объемов производства высокобелковых культур [7]. Известно также, что в республиках Прибалтики интенсивное животноводство базировалось на традиционно высоком уровне производства кормов. Так, в 70-е годы удельный вес кормовых культур здесь составлял от 46,1 до 51,5 %, в Беларуси – 36,8 %. Особое внимание уделялось и структуре кормового поля. [8].

Решению проблемы кормов высокого качества посвящены усилия научных работников республики, в том числе высших учебных заведений, а также специалистов Министерства сельского хозяйства и продовольствия [9–12]. Так, Программой развития АПК на 2011–2015 гг. предусматривалось стабилизировать площади посева многолетних трав на пашне на уровне 850 тыс. га. (20 % от площади пашни) и было рекомендовано довести долю бобовых и бобово-злаковых трав до 90 %, используя в качестве бобового компонента на легких почвах лядвенец, эспарцет и донник, на связных – клевер и люцерну [13].

Многолетние травы являются наиболее адаптивными к почвенным и погодным условиям страны, с максимальной окупаемостью минеральных удобрений и более низкими затратами энергии на производство 1 кормовой единицы, в 3,5–4,5 раза, по сравнению с зерновыми и кукурузой [1]. Они характеризуются долголетием, многоукосностью, являются хорошими предшественниками, способствующими улучшению почв и повышению их плодородия за счет улучшения микробиологической деятельности и обогащения органическим веществом [14].

В Беларуси дефицит белка в рационе животных всегда восполнялся за счет клевера и его смесей со злаковыми травами. Меньше внимания уделялось люцерне, возделывание которой в республике сдерживается по многим причинам: высокая потребность в лучших почвах, отводимых под озимую пшеницу, сахарную свеклу, озимый рапс, ячмень, тритикале, дефицит семян люцерны, снижение технологических навыков в части хозяйств [15–17]. Исследования, проведенные в Беларуси показали, что при возделывании в течение 4–5 лет люцерны по урожаю и качеству корма не уступает клеверу 1–2 лет пользования, что позволяет экономить ресурсы за счет перезалужения [2].

Люцерна является ценной кормовой культурой, которая дает высокопитательный, богатый белком и витаминами корм. Растения люцерны содержат все нужные организму питательные вещества. В 1 ц сена в среднем содержится 50 корм. ед. и 16,3 кг протеина. Люцерна содержит значительное количество протеина,

больше, чем другие бобовые травы – в фазу ветвления до 25 % сухого вещества, высокая переваримость которого (78 %) обеспечивается наличием всех необходимых для организма животных аминокислот. Также в зеленой массе содержится большое количество каротина – 60–85 мг/кг. Содержание кальция в люцерне и вынос с урожаем наибольшие по сравнению с другими кормовыми растениями, что в значительной мере определяет повышенную потребность данной культуры в кальции [12, 16, 18].

Люцерна посевная отличается высокой урожайностью и в условиях Беларуси может давать 500 ц/га и более зеленой массы, что равноценно 100 ц/га кормовых единиц и 18 ц/га переваримого протеина, причем на почвах, на которых клевер дает невысокие урожаи. Используется люцерна на зеленый корм, сено, сенаж, на производство белково-витаминного корма. Продукция, полученная на кормах из люцерны, оказывает антистрессовое влияние на организм человека и повышает иммунитет в большей степени, чем продукция, полученная на кукурузных кормах [16].

В работе представлены исследования за 30–40 летний период, касающиеся степени пригодности почв республики под люцерну, а также агрохимических показателей, обеспечивающих получение высоких урожаев данной культуры и травосмесей с ее участием.

В настоящее время вопрос о степени пригодности почв республики для возделывания люцерны в чистом виде и в составе травосмесей в основном решен, однако продолжает вызывать научный интерес и находится на стадии постоянного изучения и совершенствования. Исследователями предлагается применять творческий подход в использовании почв, имеющихся в хозяйствах [17, 19, 20]. В течение длительного времени специалисты сельского хозяйства были вынуждены пользоваться обобщенной характеристикой пригодных для люцерны почв.

Так, в литературных источниках 80-х гг., приводилась краткая характеристика почв, на которых возможно высевать люцерну, например: «...люцерна лучше всего растет и дает высокие урожаи на суглинистых и супесчаных почвах с плодородной и проницаемой подпочвой. На бедных песчаных почвах дает урожай только при внесении органических удобрений. Не переносит кислых почв, оптимальная кислотность 6,5–7,0 и до 7,5. Также не переносит близкого стояния грунтовых вод» [21]. Данная классификация несколько упрощенная и не охватывает всего многообразия почв сельскохозяйственных предприятий, поэтому в республике постоянно проводятся исследования с целью уточнения степени пригодности почв под люцерну, а также поиск необходимых агротехнических мероприятий с целью повышения урожайности люцерны и кормового поля в целом. На начальном этапе производственникам были предложены классификации, где почвы были условно разделены на пригодные и непригодные для возделывания люцерны [18, 22].

Так, по обобщенным данным, представленным академиком В.Н. Шлапуновым [18], люцерна растет на разнообразных почвах, за исключением болотных. Не переносит почв с близким стоянием грунтовых вод (1–1,5 м). Лучшие почвы для люцерны – аэрируемые, средне-суглинистые, нейтральные или со слабощелочной реакцией почвенного раствора. Непригодны для возделывания люцерны тяжелые глинистые, заболоченные, а также песчаные почвы. Легкие почвы пригодны для выращивания люцерны, если они имеют не глубже 70–80 см прослойки

суглинистых или глинистых горизонтов толщиной более 10 см. При тщательном отборе наиболее пригодных участков в Беларуси было выявлено более 400 тыс. га, в том числе в Гродненской области – 132, Витебско – 104, Могилевской – 70, Минской – 62, Гомельской – 30, Брестской – 15 тыс. га. [18].

По данным Е.П. Чаева, люцерна может расти только на нейтральных или слабокислых почвах [22]. На кислых почвах она дает низкий урожай при достаточном внесении минеральных удобрений. Лучшими для возделывания люцерны в Беларуси являются дерновые и дерново-карбонатные почвы, развивающиеся на различных почвообразующих породах. Высокие урожаи люцерны получают и на дерново-подзолистых, развивающихся на моренных, лессовидных и водноледниковых суглинках. Дерново-подзолистые почвы, развивающиеся на связных супесях и связных моренных гравийно-хрящеватых песках, подстилаемых до глубины 50–70 см моренными суглинками, также являются хорошими почвами для возделывания люцерны. В этот период количество почв, пригодных для возделывания люцерны, составило 819 тыс.га. С учетом дальнейшего окультуривания предполагалось в перспективе увеличить площадь пригодных почв до 2205 тыс. га, в основном за счет областей с наибольшим удельным весом связных почв (суглинистых) – Минской, Могилевской, Гродненской и Витебской [22]. К 2004 г., по данным РУП Институт почвоведения и агрохимии, площадь люцернопригодных почв в республике составила 1535 тыс. га, в том числе в Гомельской области – 58,9 тыс. га, Брестской – 57,1, Витебской – 353,8, Гродненской – 313,8, Минской – 394,6, Могилевской – 355,7 тыс. га [23].

В Отраслевом регламенте возделывания люцерны посевной за 2012 г. пригодными считаются дерново-карбонатные почвы, развивающиеся на различных породах, дерново-подзолистые, развитые на легких и средних суглинках и супесях, а также связные пески, подстилаемые с глубины 0,5–0,8 м моренным суглинком [24]. Оптимальной является нейтральная или слабокислая реакция среды (рН6,0–7,0). Содержание алюминия – не более 10 мг/кг почвы. Выделено три группы почв: 1. Дерново-карбонатные любого гранулометрического состава, имеющие южную экспозицию склона признаны пригодными для семеноводства люцерны. 2. Дерново-карбонатные автоморфные любого грансостава и дерново-подзолистые автоморфные средне- и легкосуглинистые мощные – пригодны для возделывания на кормовые цели в чистом виде и травосмесях. 3. Дерново-подзолистые средне- и легкосуглинистые, подстилаемые песками глубже 0,5 м, а также связносупесчаные мощные и подстилаемые суглинками – для возделывания на кормовые цели в травосмесях [24]. В данном регламенте не уделено надлежащего внимания другим почвенным разновидностям, в различной степени пригодным для возделывания люцерны, что должно найти отражение в дальнейшей работе.

Исследования, проведенные в 1999–2004 гг. на почвах разного гранулометрического состава показали, что при уменьшении содержания фракции физической глины в пахотном горизонте от 20–25 % (легкий суглинок) до 5 % (рыхло- и связносупесчаные почвы) продуктивность люцерны снижалась на 13–50 %, при повышении содержания фракции физической глины до 55 % (тяжелые суглинки и глинистые почвы) урожайность снижается даже в большей степени – до 7–70 % [25]. Снижение урожайности люцерны на тяжелых глинистых почвах до 70 % вызвано условиями аэрации, оказывающими неблагоприятное влияние на деятельность азотфиксирующих бактерий и другие физиологические процессы.

Известный ученый в области травосеяния П. Т. Пикун, обобщив результаты научной и производственной практики, пришел к выводу, что люцерна может расти на разных по гранулометрическому составу группах почв, как на суглинистых, так и на связных песчаных, супесчаных, с «плодородной подпочвой» и хорошими физико-химическими и биологическими свойствами [15]. Этот вывод был подтвержден и другими исследователями [9, 10, 11].

В последние годы в РУП Институт почвоведения и агрохимии была проведена большая работа по оценке и группировке почв по степени их пригодности под люцерну. Оценивая типы почв с учетом степени увлажнения, мелиоративного состояния и гранулометрического состава авторы разделили их на 4 группы: наиболее пригодные, пригодные, малопригодные и непригодные [17]. В 2015 г. площадь лучших почв, относящихся к пригодным (1 092 242 га) и наиболее пригодным (388–515 га) в сумме составляла 1480,7 тыс. га. В число первых групп вошли почвы, содержащие наибольшее количество физической глины (суглинистые), в том числе подстилаемые песком с глубины до 1 м, а также рыхлосупесчаные и связнопесчаные, подстилаемые суглинком до 1 м. Несколько меньше в республике почв третьей группы, относящихся к малопригодным – 1281,38 тыс. га. Эта группа почв представляет наибольший интерес, так как возделывать люцерну на этих почвах, согласно классификации, более проблематично. В эту группу входят почвы дерново-подзолистые глинистые и тяжелосуглинистые, рыхлосупесчаные, подстилаемые песком и связнопесчаные мощные. На этих почвах необходимо применять дополнительные приемы, повышающие общие затраты на возделывание люцерны. На тяжелых почвах обязательным приемом является специальная обработка почвы (подпахотное рыхление и глубокая вспашка), на легких почвах – обязательное внесение достаточных доз органических удобрений и другие агроприемы.

Непригодными для люцерны считаются все торфяные почвы (низинные, верховые, аллювиальные), деградированные торфяные, глееватые неосушенные, глеевые неосушенные и осушенные минеральные почвы всех типов любого минералогического состава почвообразующих и подстилающих пород, а также все рыхлопесчаные почвы независимо от кислотности. Почвы других групп с pH 5,5 и менее, а также более 8,0. Всего непригодных почв для возделывания люцерны – 2396,4 тыс. га или 46,5 % от общей площади пашни [17].

Вместе с тем, авторы отмечают, что группировка почв по степени их пригодности под люцерну разработана в целом для территории республики. Однако, почвенный покров отдельного землепользователя, будь то район или сельскохозяйственная организация, отличается от соседних территорий. На более низких уровнях землепользования оценка степени пригодности для возделывания люцерны должна проводиться индивидуально, с учетом специфики природного и антропогенного почвообразования на данной территории.

В Республике имеются регионы, где ощущается острый дефицит почв, пригодных для возделывания люцерны. Производственники и ученые, работающие в данных регионах, ищут возможность возделывания люцерны и на малопригодных землях. В Белорусском Полесье, где более 40 лет назад было осушено около 700 тыс. га торфяных почв, которые из однородных почвенных массивов трансформировались в комплекс почвенных разновидностей с содержанием органического вещества от 5 % до 70–80 % с различным водным режимом. Эффек-

тивное использование таких земель предполагается за счет адаптации культур и агротехнических приемов их возделывания к условиям полей и интродукции ранее не возделываемых бобовых культур, отработки технологий их выращивания с целью увеличения продуктивности антропогенно-преобразованных торфяных почв. Так, в «Отраслевом технологическом регламенте полевого кормопроизводства на торфяных почвах» требования к почвам под люцерну следующие. Считается возможным отводить под люцерну маломощные, торфянисто- и торфяно-глеевые, а также антропогенно-преобразованные торфяные почвы с содержанием органического вещества менее 30 %, участки с хорошим водным режимом [26]. В регионе Белорусского Полесья в настоящее время из-за недостатка наиболее пригодных почв принято считать пригодными для возделывания люцерны также и трансформированные торфяные почвы разных стадий эволюции и торфяно-песчаные почвенные комплексы с содержанием органического вещества 4,5–32 %, с мощностью пахотного горизонта 20–35 см, с глубины подстилаемые песками [27]. При этом разрабатываются агробιοтехнологические приемы, улучшающие рост и развитие люцерны на антропогенно-преобразованных торфяных почвах. В частности, предлагается беспокровный сев с удвоенной нормой высева (25 кг/га), который более эффективен по сравнению с севом под пелюшко-овсяную смесь (12 кг/га): выход к.ед. выше на 13,8–26,1 ц/га, переваримого протеина – на 1,4–2,9 ц/га [28].

Исследования по разработке агробιοтехнологических приемов для возделывания люцерны на малопригодных почвах актуальны, так как, по мнению В.Н. Шлапунова, в хозяйстве экономически оправдано возделывание ее на площади 200–250 га, что не всегда возможно на наиболее пригодных почвах [15].

Высокая продуктивность люцерно-злаковой травосмеси (с увеличением доли люцерны в травостое к четвертому году до 80 %) получена на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах, подстилаемых с глубины 0,3–0,5 м рыхлыми песками и относящихся к малопригодным, при органо-минеральной системе удобрения с внесением 30–60 т/га подстильного навоза – от 95,6 до 127,2 ц/га сухого вещества [29]. Урожайность клеверо-злаковой смеси, полученная на этом же участке была значительно ниже, так как клевер хуже держался в травостое [30]. На дерново-глеевых песчаных почвах Белорусского Полесья продуктивность люцерны превосходит другие бобовые травы – 87,4 и 51,7–54,2 ц/га сухого вещества в среднем за три года [31]. Рекомендуется чередовать посевы двух засухоустойчивых культур – люцерны и кукурузы. Первоочередной аргумент для этого – борьба с сорняками [32], второй – повышение урожайности звена севооборота [24,32], третий – обеспечение животных как белком (люцерна), так и энергией (зерно кукурузы), от которых зависит до 50–60 % продуктивности животных [33, 34]

Установлено, что для создания бобово-злаковых травостоев на основе люцерны гибридной также пригодны хорошо дренированные дерново-глеевые и дерново-подзолистые супесчаные почвы, подстилаемые песками. Включение ее в травосмеси сенокосного использования повышает урожайность и продлевает продуктивное долголетие до 6–7 лет. Максимальный урожай формировался при 3-укосном скашивании. При 4-укосном скашивании урожай снижался на 6,9 ц/га СВ [35].

Произрастая на различных почвах, люцерна предъявляет большие требования к содержанию элементов питания. Она использует в два раза больше азота и

фосфора и в полтора раза больше калия, чем зерновые. Особенности поглощения элементов питания люцерной учитываются при определении оптимальных параметров обеспеченности почв основными элементами питания. Так, нижней границей оптимальной обеспеченности элементами питания для почв степной и юга лесостепной зоны считается 140 мг/кг P_2O_5 , 160 мг/кг K_2O ; минимальное содержание бора – 1 мг/кг, а молибдена 0,5 мг/кг почвы [17]. В республике Беларусь для возделывания люцерны на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах ранее предлагались параметры, представленные в таблице [36, 37].

Таблица

**Оптимальные агрохимические показатели почв
для возделывания люцерны на корм**

Почвы	Гумус, %	рН	Содержание в почве, мг/кг	
			P_2O_5	K_2O
Суглинистые	1,8–2,2	6,0–7,0	230–240	210–230
Супесчаные	1,5–2,0	6,0–7,0	220–240	170–200

Согласно данным полевых опытов на почвах разной степени окультуренности параметры, приведенные в таблице, в целом соответствуют нижней границе оптимума элементов питания (P_2O_5 и K_2O) в почве [18] и, в основном, согласуются с утверждением, что люцерна — самая требовательная из всех сельскохозяйственных культур к содержанию в почве фосфора, а по отзывчивости на калий уступает только сахарной свекле. Однако данные выноса фосфора и калия с урожаем 50 ц/га сена люцерны (30–35 кг фосфора и 70–75 кг калия) [18] свидетельствуют, что оптимальные параметры содержания калия в почве несколько занижены (таблица). В более поздних работах [24] для дерново-подзолистых средне- и легкосуглинистых, подстилаемых песками глубже 0,5 м, а также связносупесчаных мощных и подстилаемых суглинками почв, которые считаются пригодными для возделывания люцерны на кормовые цели в травосмесях, были предложены следующие оптимальные показатели: рН 6,3–6,7, гумус – 2,5 и более P_2O_5 – 200 мг/кг почвы и более, K_2O – 200 мг/кг и более, молибден – 0,2–0,3 и более, бор – 0,2–0,3 мг/кг почвы. Однако, в данной работе не уделяется должного внимания рыхлосупесчаным и песчаным дерново-подзолистым почвам.

Люцерна положительно реагирует на содержание органического вещества в почве. Содержание гумуса в ранее обсуждаемых параметрах [36, 37] (супесчаные почвы 1,5–2,0, суглинистые 1,8–2,2 %) ниже достигнутых в настоящее время средневзвешенных республиканских показателей (2,23 %) и не в полной мере согласуются с результатами полевых опытов. Так, в опытах, проведенных на хорошо окультуренной почве, содержащей 3,27 % гумуса и более 200 мг P_2O_5 и K_2O на 1 кг почвы, люцерна в среднем за 4 года обеспечила 512 ц/га зеленой массы, 92,9 к.ед. и 16,4 ц/га протеина, а на среднеокультуренной (2,34 % гумуса, 146 мг P_2O_5 и 184 мг K_2O на 1 кг почвы) – соответственно 361, 65,7 и 11 ц/га [18]. В Отраслевом регламенте возделывания люцерны посевной за 2012 г. [24] с учетом исследований, проведенных на почвах разной степени окультуренности [18], оптимальное содержание гумуса было увеличено до 2,2–2,5 % и более.

Оптимальные показатели кислотности почв (рН 6,0–7,0), представленные в таблице [36, 37], соответствуют Отраслевому регламенту возделывания люцерны

[24] и более обоснованы, в том числе и с экономической точки зрения, по сравнению с предлагаемыми ранее (рН 7,0–8,0) [38]. К тому же почвы с кислотностью 6,01–7,5 с учетом прочих показателей в последних фундаментальных исследованиях относятся к наиболее пригодным, а в интервале рН 7,51–8,0 – к более низкой группе – к пригодным почвам [17].

Исследованиями установлено, что при высоком уровне агротехники, внесении оптимальных доз органических и минеральных удобрений и применении некоторых отечественных сортов возможно получение достаточно высоких урожаев люцерны даже на легких почвах с невысокими значениями рН. Так, на Полесской опытной станции на дерново-подзолистой песчаной почве, подстилаемой песком, с показателями рН 5,3, на фоне внесения жидкого навоза и минеральных удобрений получено 344–326 ц/га зеленой массы люцерны (65,1–68,8 ц/га сухого вещества), а также 368–385 ц/га зеленой массы люцерно-злаковой травосмеси (73,5–76,9 ц/га сухого вещества). [19]. При предварительной подготовке песчаной почвы под люцерну (известкование, внесение органических удобрений) урожайность повышалась в 1,5 раза – до 500 ц/га зеленой массы люцерны (100 ц/га к.ед.) [3].

Приняв во внимание результаты исследований, изложенных выше, можно сделать ошибочный вывод, что известкование под люцерну в какой-то мере можно заменить применением органических удобрений и получить среднюю урожайность зеленой массы. Однако опасность возделывания люцерны на почвах, удобренных органическими удобрениями, с низкими значениями рН состоит в том, что за 10 лет при среднем содержании подвижного кальция в почве (около 1000 мг/кг почвы) с урожаем 50 ц/га сена люцерны (вынос кальция – 140 кг) [18] будет отчуждаться более половины запасов подвижного кальция. При этом изменится в худшую сторону соотношение катионов в продукции, а также другие показатели качества. Следовательно, в севооборотах с люцерной необходимо периодически контролировать и содержание подвижного кальция.

В некоторых публикациях отмечается предельно допустимое значение содержания подвижного алюминия в почве, необходимое для нормального развития люцерны – не более 10 мг/кг почвы [21, 28, 29], что требует отдельного обсуждения Почвы республики в настоящее время произвесткованы до значений рН, близких к оптимальным, при которых подвижный алюминий не представляет опасности для растений. По данным П.М. Смирнова [38], заметный токсический эффект проявляется при 20 мг алюминия в 1 кг почвы, клевер при таком содержании угнетается, а при 60 мг/кг почвы сильно выпадает из травостоя. На неоднократно произвесткованных почвах республики долговременное действие извести объясняется тем, что при вторичном подкислении подвижный алюминий проявляется с заметным опозданием [39]. На легких почвах Литвы с рН_(KCL) 5,2–5,7 содержание подвижного алюминия восстанавливается до первоначального состояния после 20 лет [40]. В наших исследованиях [41] через 10 лет после известкования легких почв доломитовой мукой (3–4,5 т/га), содержание подвижного алюминия в пахотном слое составило 1,1–1,8 мг/кг почвы, в А₂В₁ – 1,0–3,1 мг/кг почвы. Данное количество алюминия не является опасным для растений люцерны [38]. Следовательно, на произвесткованных до оптимальных значений рН почвах не может быть опасного для люцерны уровня содержания подвижного алюминия, и его в течение 10 лет можно не контролировать.

Люцерна Превосходная отечественной селекции удовлетворительно растет на легких почвах республики даже без известкования, поэтому рекомендуется высевать только пригодные для данных почв сорта. К тому же сорта южного происхождения плохо зимуют и часто выпадают в первый год жизни [15].

Люцерна чувствительна к недостатку микроэлементов. В Республике Беларусь обеспеченность пахотных почв основными микроэлементами, в среднем, невысокая – количество почв 1 и 2 групп обеспеченности медью составляет 88,5 %, цинком – 90,8, бором – 71,1 %, содержание молибдена в почвах республики также повсеместно низкое – 0,03–0,10 мг/кг [42,43].

Если люцерна возделывается в составе бобово-злаковых травосмесей, то необходимо вносить бор, медь, марганец, цинк, молибден. В чистых посевах люцерны необходим и кобальт. Возникает вопрос, возможно ли обеспечить люцерну необходимыми микроэлементами за счет внесения навоза? Расчеты показывают, что при дозах 30–80 т/га подстилочного навоза потребность люцерны в микроэлементах в значительной степени покрывается по марганцу, цинку, меди и бору [44]. Однако кобальта и молибдена при данных дозах навоза (30–80 т/га) вносится небольшое количество – 6–16 и 9–24 г, поэтому молибден и кобальт следует вносить дополнительно. Внесение микроэлементов возможно с твердыми и жидкими комплексными удобрениями, при обработке семян, а также посевов в течение вегетации.

В опытах с люцерно-злаковой травосмесью с использованием отечественного сорта Превосходная (беспокровный посев) внесение гранулированных комплексных удобрений марки $N_7P_{15}K_{30}$ с В и Мо было эффективнее стандартных форм. В среднем за четыре года при их внесении урожай сухого вещества составил 113,5–117,9 ц/га с прибавкой 7,5–11,9 ц/га. Некорневые подкормки под первый и второй укосы в дозе 4 л/га комплексными жидкими удобрениями марки $NPK = 5-7-10$ с $B_{0,15}$ и $Mo_{0,01}$ в хелатной форме (для бобовых) обеспечили прибавку 5,6–9,3 ц/га сухого вещества. Увеличение доз органических удобрений от 30 до 60 т/га было эффективным и обеспечило увеличение среднегодовой продуктивности на 4,0–11,0 ц/га сухого вещества (3,9–11,5 %) [29].

При выращивании на дерново-подзолистой супесчаной почве семян люцерны Превосходной широкорядным способом (норма высева 6 кг/га) в условиях западного региона внесение NPK с бором и цинком в дозах $N_{12}P_{42}K_{64}$ – $N_{18}P_{63}K_{96}$ – $N_{24}P_{84}K_{128}$ – $N_{30}P_{105}K_{160}$ повышало число генеративных стеблей (на всех дозах NPK с бором и цинком, с преимуществом дозы $N_{30}P_{105}K_{160}$). Повышение массы 1000 семян отмечено при дозе $N_{30}P_{105}K_{160}$. Эффективность высоких доз в опыте свидетельствует о положительном влиянии микроэлементов на семенную продуктивность люцерны [45].

Таким образом, на основании проведенного анализа литературных источников, можно сделать следующие выводы:

– на основе проведенных ранее и современных исследований РУП Институт почвоведения и агрохимии разработал группировку почв по степени их пригодности для возделывания люцерны, в которой все почвы республики разделены на 4 группы: наиболее пригодные, пригодные, малопригодные и непригодные. На основе этой группировки можно оценить пригодность каждой почвенной разновидности под люцерну, установить площади пригодных почв и возможные посевные площади с учетом чередования культур в севооборотах. При оценке пригодности почв под люцерну на более низких уровнях землепользования возможны некото-

рые отклонения от среднереспубликанской группировки, в зависимости от специфики почвенного покрова на данной территории;

– возможно с учетом специфических местных условий высевать люцерну на участках, которые по общереспубликанской классификации относятся к малопригодным, что требует дополнительных материальных средств (удобрения, семена, мероприятия по обработке почвы), а также высокой квалификации специалистов;

– в Отраслевом регламенте представлены почвы, наиболее пригодные для возделывания люцерны посевной. Следует уделить надлежащее внимание и другим почвенным разновидностям, в различной степени пригодным для возделывания данной культуры.

– применение новых форм твердых и жидких удобрений с добавками микроэлементов, при органо-минеральной и минеральной системах удобрения, является эффективным приемом повышения продуктивности люцерны посевной на почвах легкого гранулометрического состава;

– новые отечественные сорта (Превосходная) обладают высокой пластичностью к почвенным условиям, в том числе к почвам с повышенной кислотностью, отзывчивостью на органические, минеральные макро- и микроудобрения и повышение уровня окультуренности почв;

– с целью хорошей выживаемости травостоя люцерну следует высевать беспокровно, особенно на легких почвах, а на мелиорированных почвах Полесья – с удвоенной нормой посева;

– известкование является приемом, улучшающим среду для интенсивной азотфиксации люцерны и пополнения запасов кальция, в значительных количествах отчуждаемого с урожаем люцерны. По этой причине известкование необходимо и при возделывании устойчивых к кислотности сортов (Превосходная). Опасно для роста и развития люцерны уровня содержания алюминия при периодическом известковании почв не отмечено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самсонов, В.П. О некоторых вопросах земледелия / В.П. Самсонов // Земляробства і ахова раслін. – 2006. – № 6. – С. 3–6.

2. Шлапунов, В.Н. Проблемы и перспективы кормового поля / В.Н. Шлапунов // Резервы повышения продуктивности кормовых угодий в Республике Беларусь: материалы. респ. науч.- практ. конф. – Горки: БСХА, 2002. – С. 7–10.

3. Пикун, П.Т. Когда преодолеем стереотипы мышления в системе кормопроизводства / П.Т. Пикун, М.П. Коротков // Наше сельское хозяйство. – 2013. – № 21(77). – С. 35–39.

4. Никончик, П.И. Роль севооборота и рациональной структуры посевных площадей в повышении продуктивности земледелия и воспроизводства плодородия почвы / П.И. Никончик // Известия Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграрных наук. – 2003. – № 1. – С. 37–40.

5. Никончик, П.И. Сравнительная продуктивность многолетних трав и кукурузы по результатам исследований в опытах и фактической урожайности в производстве / П.И. Никончик // Земледелие и растениеводство. – 2008. – № 6(61). – С. 12–15.

6. Кормовые культуры: в 2-х т. / Д. Шпаар [и др.]; под. ред. Д. Шпаар. – М., 2009. – 784 с.

7. *Привалов, Ф.И.* Состояние и перспективы кукурузосеяния в Республике Беларусь / Ф.И. Привалов [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2017. – Прил. № 2. – С. 3–5.

8. *Багдасарьянц, Т.Н.* С каждого гектара – больше кормов / Т.Н. Багдасарьянц, С.Н. Зиновьев. – М.: Знание, 1973. – 64 с.

9. *Лесько, В.А.* Продуктивность трав сенокосного использования и их норм высева с участием клевера лугового сорта Долголетний при разных сроках внесения минеральных удобрений на легких супесчаных почвах / В.А. Лесько // Гомельская ОСХОС, Полесский филиал БелНИИЗик. – Гомель, 2001. – С. 24.

10. *Авдеев, Л.Б.* Урожайность травостоев с участием люцерны гибридной / Л.Б. Авдеев, Т.Н. Ахтель // Стратегия и тактика экономически целесообразной адаптивной интенсификации земледелия: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 2-х т., т. 1 / Земледелие и растениеводство; под общ. ред. М.А. Кадырова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2004. – С. 175–178.

11. *Авдеев, Л.Б.* Создание бобово-злаковых травостоев длительного пользования на супесчаных почвах / Л.Б. Авдеев, В.П. Нупрейчик // Почвы и их плодородие на рубеже столетий: материалы II съезда белорусского общества почвоведов. – Кн. 2: Актуальные проблемы плодородия почв в современных условиях. – Минск, 2001. – С. 16–18.

12. Люцерна посевная: биология и технология возделывания в Беларуси / А.А. Шелюто [и др.] – Горки: БГСХА, 2012. – 184с.

13. Программа развития АПК на 2011–2015 гг. / Выпуск Министерства СХиП // Белорусская нива. – 2010. – № 112. – С. 3.

14. *Гончаров, П.Л.* Кормовые культуры Сибири: биолого-ботанические основы возделывания / П.Л. Гончаров. – Новосибирск: изд-во Новосиб. ун-та, 1992. – 264 с.

15. *Пикун, П.Т.* Люцерна Превосходная преодолевает стереотипы / П.Т. Пикун, М.П. Коротков // Наше сельское хозяйство. – 2013. – № 3(59). – С. 34–40.

16. *Пикун, П.Т.* Люцерна и ее возможности / П.Т. Пикун. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 310 с.

17. *Цытрон, Г.С.* На каких почвах возделывать люцерну / Г.С. Цытрон, Л.И. Шибут, О.В. Матыченкова // Белорусское сельское хозяйство. – 2015. – № 2(154). – С. 66–69.

18. *Шлапунов, В.Н.* Полевое кормопроизводство / В.Н. Шлапунов – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Ураджай, 1991. – 288 с.

19. *Пикун, П.Т.* Люцерна на полях Беларуси / П.Т. Пикун. – Минск: МСХиП, 1999. – 34 с.

20. *Лесько, В.А.* Продуктивность культурных сенокосов и пастбищ со злаковым и бобово-злаковым травостоем / В.А. Лесько // Мелиорация сельскохозяйственных земель в XXI веке: проблемы и перспективы: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 22 марта 2007 г. / Ин-т мелиорации. – Минск, 2007. – С. 217.

21. *Медведев, П.Ф.* Кормовые растения европейской части СССР / П.Ф. Медведев, А.И. Сметанникова. – Л.: Колос. – 1981. – 336с.

22. *Чаев, Е.П.* Что надо знать о люцерне? / Е.П. Чаев // Люцерна на полях Белоруссии. – Минск: Ураджай, 1977. – С. 3–41.

23. *Смеян, Н.И.* Почвы, пригодные для выращивания люцерны и характер их распространения на территории Беларуси / Н.И. Смеян, Л.И. Шибут, О.В. Матыченкова // Земляробства и ахова раслін. – 2004. – № 2. – С. 28–29.

24. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сб. отраслевых регламентов / НАН Беларуси, НПЦ. НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ. Ф.И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В.Г. Гусакова, Ф.И. Привалова. – Минск: Беларус. навука, 2012. – С. 178–179.

25. *Матыченкова, О.В.* Влияние степени увлажнения и гранулометрического состава дерновых и дерново-подзолистых пахотных почв Беларуси на продуктивность люцерны: автореф. дис... канд. с.-х. наук: 06.03. / О.В. Матыченкова; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. – 20 с.

26. Отраслевой технологический регламент полевого кормопроизводства на торфяных почвах / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь; Ин-т мелиорации. – Минск. – 2014. – 60 с.

27. Достижение устойчивой продуктивности кормовых культур на деградированных торфяно-песчаных почвенных комплексах Полесья (рекомендации) / НПЦ НАН Беларуси по земледелию, Ин-т мелиорации. – Минск, 2007. – 20 с.

28. *Лученок, Л.Н.* Эффективность агробиотехнологических приемов при возделывании люцерны на антропогенно-преобразованных торфяных почвах / Л.Н. Лученок, О.В. Птащец // Земледелие и защита растений. – 2013. – № 5. – С. 19–24.

29. *Сороко, В.И.* Влияние систем удобрения на урожайность бобово-злаковой травосмеси на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве / В.И. Сороко, Г.В. Пироговская // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 1(56). – С. 153–168.

30. *Сороко, В.И.* Влияние системы удобрения на урожайность многолетних трав на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах / В.И. Сороко [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 182–195.

31. *Сорока, А.В.* Оценка продуктивности многолетних бобовых трав на дерново-глеевых песчаных почвах Белорусского Полесья / А.В. Сорока, А.Н. Гапонюк, Н.Н. Костюченко // Молодежь в науке – 2013: прил. к журн. «Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграрных наук / НАН Беларуси. Совет молодых ученых НАН Беларуси: редкол.: В.Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2014. – С. 69–72.

32. *Усеня, А.А.* Продуктивность люцерны в зависимости от способа использования в севообороте / А.А. Усеня [и др.] / Роль адаптивной интенсификации земледелия в повышении эффективности аграрного производства; под ред. К.Г. Шашко. – Жодино, 1998. – С. 65–67.

33. Технологическое сопровождение животноводства: новые технологии: практ. пособие / Н.А. Попков [и др.]. – 2-е изд. – Жодино: НПЦ НАН Беларуси по животноводству, 2013. – 496 с.

34. Кормопроизводство / Н.В. Парахин [и др.]. – М.: Колос, 2006. – 432 с.

35. *Авдеев, Л.Б.* Формирование бобово-злаковых травостоев на супесчаных почвах юго-запада Беларуси / Л.Б. Авдеев, Т.Н. Ахтель // Земледелие, растениеводство, селекция: настоящее и будущее: сб. мат. Междунар. науч.-практ. конф., 15–16 ноября 2012 г., г. Жодино, т. 2 / НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – Минск, 2012. – С. 78–80.

36. *Карпей, О.Н.* Люцерна – в резерве земледелия и кормопроизводства / О.Н. Карпей // Наше сельское хозяйство. – 2015. – № 7. – С. 4–11.

37. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов / НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – 2-е изд., доп. и перераб. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 448 с.

38. Агрохимия / под ред. В.М. Ключевского и А.В. Петербургского. – М.: Колос, 1964. – С. 133.

39. Клебанович, Н.В. Современные проблемы известкования почв Беларуси / Н.В. Клебанович // Почвы и их плодородие на рубеже столетий: матер. II съезда белорус. общ. почвоведов (25–29 июня 2001 г., Минск) БелНИИ почвоведения и агрохимии. – Минск, 2001. – Кн. 2. – С. 130–132.

40. Чюбяркене, Д. Скорость и степень изменения реакции почвы и содержание подвижного алюминия в ней после известкования и ежегодного применения минеральных удобрений / Д. Чюбяркене, С. Чюбяркис // Почвы и их плодородие на рубеже столетий: матер. II съезда белорус. общ. почвоведов (25–29 июня 2001 г., Минск) БелНИИ почвоведения и агрохимии. – Минск, 2001. – Кн. 2. – С. 343–345.

41. Сороко, В.И. Влияние различных уровней применения известковых удобрений на продуктивность севооборота и показатели кислотности песчаных почв / В.И. Сороко, Г.В. Пироговская // Приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрений: материалы Междунар. науч.-практ. конф. к 90-летию со дня рождения А.А. Каликинского; под ред. А.Р. Цыганова. – Горки, БСХА, 2006. – С. 215–218.

42. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И.М. Богдевич [и др.]: под общ. ред. И.М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 275 с.

43. Система применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 28 с.

44. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск, 2007. – 390 с.

45. Гавриков, С.В. Эффективность применения комплексных минеральных удобрений (АФК) при выращивании семян люцерны в условиях западного региона / С.В. Гавриков, В.М. Макаро, Л.С. Рутковская // Земледелие, растениеводство, селекция, настоящее и будущее: сб. мат. междунар. науч.-практ. конф.; 15–16 ноября 2012 г., г. Жодино, т. 2 / НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – Минск, 2012. – С. 78–80.

TO THE QUESTION OF SOILS SUITABILITY FOR ALFALFA CULTIVATION (ANALYTICAL REVIEW)

V.I. Soroko

Summary

The modern gradation of soils in terms of their suitability for alfalfa cultivation includes 4 groups: the most suitable, suitable, semi suitable and unsuitable. On the basis of this group gradation, it is possible to assess the suitability of each soil variety for alfalfa, to determine the areas of suitable soils and possible cultivation areas, taking into account the crop rotations.

This work contains the analysis of methods that improve the conditions for alfalfa cultivation, cultivation on semi suitable soils.

Поступила 10.05.18

РЕФЕРАТЫ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4

Шибут Л.И., Азаренок Т.Н. Почвенное районирование территории Беларуси: история, характеристика, использование // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1 (60). – С. 9.

В статье кратко изложена история развития почвенного районирования территории Беларуси, начиная с 40-х – 50-х годов прошлого века и до настоящего времени. Особое внимание уделено почвенно-экологическому районированию, которое проведено с учетом экологических условий для возделывания сельскохозяйственных культур. Рассмотрены его различные варианты и виды, показано использование и применение в сфере сельскохозяйственного производства.

Табл. Библиогр. 29.

УДК 631.44.2:631.459

Цыбулько Н.Н., Романенко С.С., Юхновец А.В., Тулина А.С. Стабильность органического вещества дерново-подзолистых почв, в разной степени подверженных эрозионной деградации // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 17.

В эродированных и намытой почвах органические соединения минерализовались вдвое быстрее, чем в незэродированной почве. Водная эрозия способствовала увеличению минерализуемости органических соединений углерода и азота. Содержание активного органического вещества в незэродированной почве составило 872 мг/кг, среднеэродированной – 839, сильноэродированной – 813 и в намытой – 990 мг/кг. Наиболее высокая минерализационная способность с относительным содержанием легко минерализуемой фракции активного органического вещества (29 %) отмечена для намытой почвы. Процессы водной эрозии приводят к снижению содержания активного пула органического вещества почвы в 1,04–1,07 раза. Наблюдается обратная зависимость между углеродсеквестрирующей емкостью и минерализационной способностью почв. Емкость секвестрации эродированных почв с увеличением степени смывности почв снижалась. Минимальной секвестрирующей емкостью характеризовалась сильноэродированная почва в осенний период (15,3) и намытая почва в весенний период (12,7), максимальной – незэродированная почва в весенний период (21,3). Азотный фонд дерново-подзолистых легкосуглинистых почв разной степени эродированности находится в тесной зависимости от содержания общего органического углерода. Минерализуемый пул азота в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве составляет $6,7 \pm 1,0$ % от $N_{\text{общ}}$.

Табл. 3. Рис. 2. Библиогр. 34.

УДК 631.4

Устинова А.М., Цырибко В.Б., Юхновец А.В., Жабровская Н.Ю. Динамика основных физических свойств пахотного горизонта дерново-подзолистых эродированных почв на лессовидных суглинках в процессе их сельскохозяйственного использования // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 30.

В статье приведены результаты 20-летних наблюдений за состоянием основных агрофизических свойств пахотного горизонта эродированных дерново-подзолистых почв на лессовидных суглинках. На основании полученных данных установлены средние многолетние показатели плотности и пористости исследуемых почв, а также диапазоны их отклонений.

Среднее многолетнее значение плотности пахотного горизонта дерново-подзолистых почв, развивающихся на лессовидных суглинках, изменялась от 1,20 г/см³ до 1,43 г/см³ в зависимости от степени эродированности. В 50–89 % случаев плотность Ап исследуемых почв соответствовала допустимым значениям. На незэродированных почвах выявлено 49 % оптимальных значений, а на сильноэродированных – 49 % критических. Средние показатели пористости составляли 46–53 %. При этом допустимые значения установлены в 66–93 % от всех случаев. Вероятность снижения до критических величин наиболее высока на сильноэродированной разновидности (6–20 %), а улучшения до оптимальных – на незэродированной (12–34 %).

Табл. 5. Рис. 4. Библиогр. 16.

УДК 631.4

Шульгина С.В., Азаренок Т.Н., Матыченкова О.В., Шибут Л.И., Матыченков Д.В., Дыдышко С.В. Специфика антропогенной трансформации свойств отдельных типов почв пахотных земель Беларуси // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 42.

В статье проведена экологическая оценка трансформации отдельных типов почв пахотных земель республики под влиянием антропогенного фактора на основании разновременных показателей состава и свойств их естественных и пахотных аналогов с установлением специфики имеющих место изменений.

Табл. 2. Библиогр. 9.

УДК 631.4:549.905.8

Алексеев В.Е. Сравнительная характеристика минералогического состояния серых лесных почв на покровных отложениях Молдовы и Среднерусской возвышенности // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 49.

Установлено, что силикатная часть серых лесных почв на покровных отложениях Молдовы и Среднерусской возвышенности представлена близким по составу и содержанию первичных и глинистых минералов. Трансформация минералогического состава в обеих почвах происходит под воздействием одних и тех же процессов: разрушения первичных и глинистых минералов, лессиважа, проявления

по типу оподзоливания и относительного накопления кварца. Силикатная часть более молодой почвы на Среднерусской возвышенности содержит признаки более высокой степени выветривания, чему дано соответствующее объяснение.

Табл. 3. Библогр. 8.

УДК 631.4:549.905.8

Алексеев В.Е. Серые лесные почвы на покровных отложениях Молдовы и Среднерусской возвышенности: баланс минералов // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – №1 (60). – С. 58.

Установлено, что независимо от происхождения почвообразующих пород (покровные суглинки разного генезиса) серые лесные почвы Молдовы и Среднерусской возвышенности близки по минералогическому составу и объемам потерь первичных минералов в результате процессов выветривания и почвообразования. По суммарным потерям с глинистыми минералами более молодая по возрасту почва на Среднерусской возвышенности опережает молдавский аналог. Данному явлению предложено соответствующее объяснение. Идентичность минералогического состава лессовидного покровного суглинка Молдовы и покровного суглинка на морене Русской равнины свидетельствует о генетической близости данных образований. Установлено, что методика расчета баланса минералов, используемая в Молдове, нашла применение при изучении почвы на Русской равнине.

Табл. 4. Библогр. 2.

УДК 631:659.78:528(075)

Солоха М.А. Определение агрохимических показателей почвы на основе аэрофотосъемки с беспилотного летящего аппарата // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 67.

В статье рассмотрены результаты работы по определению зависимостей микрорельефа на тестовых объектах (полях) и агрохимические почвенных показателей. Рассмотрены вопросы методического характера съемки с беспилотника, определение перечня агрохимических показателей, поиска зависимостей между ними и результаты химического анализа почвенных образцов, отобранные из микропонижений на поле и фона. В результате проведенных работ установлено, что в оптическом диапазоне сенсор с беспилотника может косвенно установить следующие показатели: углерод органического вещества, рН сол, рН вод, Ca^{2+} .

Табл. 7. Рис. 3. Библиогр. 12.

УДК 631.434.1

Фатеев А.И., Рябченко В.В. Содержание микроэлементов и лабильного органического вещества в структурных агрегатах при разных видах использования // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 76.

Установлено, что чернозем типичный тяжелосуглинистый государственного предприятия «Опытное хозяйство Граковское» имеет высокие параметры структурности, которые прослеживаются как в содержании суммы агрономически ценных агрегатов (0,25–10,0 мм), так и по сумме наиболее ценных структурных частиц (1,0–7,0 мм). На почвах залежи и лесополосы установлено перераспределение фракций по грунтовому профилю до слоя 20–40 см, а на удобренном варианте и контроле – перераспределение мелких фракций (<1 мм) с увеличением их содержания в слое почвы 10–20 см. Наибольшим содержанием лабильного органического вещества характеризуется почва удобренного варианта, наименьшим – залежи. Установлено, что на залежи и контроле во всех исследуемых слоях почвы распределение лабильного органического вещества одинаковое, а на удобренном варианте и в лесополосе в слое 0–10 см более высокое его содержание в наиболее ценных структурных агрегатах, а в слое 10–20 см и 20–40 см – в пылевой фракции. Установлено, что на удобренном варианте опыта происходит диспергация почвы. Выявлены закономерности распределения микроэлементов в отдельных структурных фракциях. Установлено, что микроэлементы, в основном, содержатся в наиболее ценных структурных агрегатах, но есть некоторые исключения: на удобренном варианте содержание меди во всех исследуемых слоях почвы более высокое в пылевой фракции, как и цинка, в слое 20–40 см. Наибольшее содержание марганца на почвах залежи в пылевой фракции, а меди в почвах лесополосы в глыбистой фракции – для всех исследуемых слоев почвы.

Рис. 7. Библиогр. 14.

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.8:633

Пироговская Г.В., Лапа В.В., Черняков Д.В., Ермакович Н.Н. Разработка, производство и применение комплексных удобрений в сельском хозяйстве Республики Беларусь // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 87.

В статье приведены результаты экспериментальных научных исследований (2006–2015 гг.) по разработке, освоению и промышленном производстве новых форм твердых гранулированных и жидких комплексных удобрений с хелатными формами микроэлементов, в том числе и бесхлорных, для основного внесения в почву и для некорневых подкормок по вегетирующим растениям сельскохозяйственных культур, а также по их эффективности при возделывании зерновых культур (озимая и яровая пшеница), картофеля, кукурузы, моркови на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава..

Установлено, что применение новых форм комплексных удобрений с микроэлементами и регуляторами роста растений является одним из перспективных агротехнических приемов при возделывании сельскохозяйственных культур по интенсивным технологиям, обеспечивающим увеличение урожайности при одновременном улучшении качества продукции.

Табл. 10. Рис. 4. Библиогр. 19.

УДК 631.8.022.3:633.16

Мезенцева Е.Г., Кулеш О.Г., Симанков О.В., Шедова О.А. Оценка эффективности систем удобрения ярового ячменя в зависимости от целевого назначения зерна // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 108.

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высоким содержанием подвижных соединений фосфора и калия проведены исследования по установлению влияния различных систем удобрения на продуктивность ярового ячменя с дифференцированным подходом к расчёту их экономической эффективности с учётом целевого назначения зерна. Установлено, что применение $N_{60}P_{20}K_{45}$ на органическом фоне обеспечивает формирование зерна ячменя пивоваренного назначения с уровнем прибыли 212 USD/га при рентабельности 193 %. Применение $N_{90+30}P_{20}K_{45}$ на органическом фоне обеспечивает формирование зерна фуражного назначения с уровнем рентабельности 80 % и 127 USD/га прибыли.

Табл. 3. Библиогр. 7.

УДК 631.8:633.112.9: 631.445.124

Цыбулько Н.Н., Шашко А.В. Эффективность применения минеральных удобрений под яровую пшеницу на антропогенно-преобразованной торфяной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 116.

На антропогенно-преобразованной торфяной почве изучена эффективность разных доз азотных и калийных удобрений при возделывании яровой пшеницы. Установлено, что при содержании в ней подвижных соединений фосфора 740–750 и калия 600–650 мг/кг почвы оптимальными дозами фосфорных и калийных удобрений являются $P_{60}K_{120}$. Увеличение дозы калия до 160 не способствует существенному росту урожайности зерна. При запасах в ранневесенний период минерального азота в почве 90–100 кг/га наибольшую продуктивность яровой пшеницы 38,1 ц/га обеспечивает дробное внесение азота в дозе 120 кг.

Затраты на производство 1 тонны зерна снижаются по мере повышения продуктивности яровой пшеницы. При уровнях урожайности 20–25 ц/га рентабельность производства зерна не превышает 20 %, при 25–30 ц/га она колеблется в пределах 23–30 % и при 35–40 ц/га – 43–50 %. При рентабельности производства зерна 24,0% на фоне $P_{60}K_{120}$ предпосевное применение азотных удобрений в дозе 60 кг/га обеспечивает рентабельность 37,5 % и прибыль 263,88 руб./га (133,0 долл. США/га). Дробное внесение N_{90} и N_{120} способствует существенному увеличению прибыли соответственно 310,63 и 318,26 рублей на 1 га (156,6 и 160,4 доллара США на 1 га) с уровнями рентабельности 42,3 и 43,1 %. Наиболее эффективным под яровую пшеницу является применение $N_{120}P_{60}K_{120}$ совместно с медьсодержащим удобрением ($Сu_{200}$) и регуляторами роста растений, обеспечивая прибыль 383,46 руб./га (193,3 долл. США/га) и рентабельность производства зерна 49,6 %.

Табл. 4. Рис. 2. Библиогр. 21.

УДК 631.862:632.15:631.445.2

Богатырева Е.Н., Серая Т.М., Юхновец А.В., Кирдун Т.М., Торчило М.М. Агроэкологическая оценка нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния животноводческих комплексов // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 126.

Представлены данные по влиянию длительного воздействия жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах, определены приоритетные загрязнители (Zn, Cu, Mn, Fe). Ежегодное внесение этих удобрений в дозах от 100–200 до 900–1000 т/га увеличило концентрацию подвижных форм Fe в почвах на 13–199 %, Cu – на 11–229 %, Zn – на 21–547 %, Mn – на 32–175 %. Превышения установленных нормативов ПДК и ОДК валовых и подвижных форм тяжелых металлов не обнаружено, коэффициенты опасности ниже единицы. Агроэкологическое состояние почв по Z_c (4,1–12,0 ед.) характеризуется допустимым уровнем загрязнения подвижными формами тяжелых металлов ($Z_c < 16$). Наблюдаемые негативные тенденции увеличения K_c и Z_c указывают на экологические риски при постоянной утилизации высоких доз этих органических удобрений на ограниченной территории.

Табл. 6. Библиогр. 29.

УДК 631.878

Анисимова Т.Ю. Баланс NPK в севообороте при использовании органических удобрений на основе торфа // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 143.

В статье приведены результаты исследований по сравнительной оценке эффективности применения органических удобрений на основе торфа и других органоминеральных материалов, их совместного применения с минеральными удобрениями на дерново-подзолистой супесчаной почве. Показано, что совместное применение удобрений оказало влияние на увеличение продуктивности культур зернопропашного севооборота, оптимизации баланса NPK. В среднем за две ротации наибольшая урожайность отмечена в вариантах с подстилочным навозом и торфопометным компостом – 12,13 т з.ед./га, при 8,03 т з.ед./га в контроле без удобрений. Наиболее эффективно применение торфопометного компоста: внесение 1 т компоста обеспечило получение 148 кг з.ед.

Табл. 3. Библиогр. 7.

УДК 631.895

Артемьева Е.С., Скрыльник Е.В. Эффективность применения жидких органоминеральных удобрений под яровой ячмень в условиях изменения климата // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 148.

В статье приводятся данные по эффективности применения под яровой ячмень жидких органоминеральных удобрений (ОМУ) пролонгированного действия в форме комплексных соединений, сбалансированных по основным элементами питания и содержанием в них азота и гуминовых кислот.

Установлено позитивное влияние исследуемых удобрений на формирование урожая и качества зерна ярового ячменя в условиях изменения климата.

Определено, что внесение удобрений в дозе 40 кг/га под предпосевную культивацию создает низкоконцентрированный азотный фон, выполняющий функцию энергообеспечения растений на начальных этапах органогенеза, а внекорневые обработки при неблагоприятных погодных условиях вегетационного периода в дозе 6 кг/га позволяют восполнить нехватку у растений необходимого элемента питания. Тем самым на черноземе типичном способствуют приросту урожая зерна ячменя ярового на 0,48–0,97 т/га (или 20–41 %) по сравнению с контролем, и обеспечивают высокое содержание белка в пределах 12,27–12,34 %.

Табл. 2. Библиогр. 17.

УДК 631.95:628.381.1

Касатиков В.А., Шабардина Н.П. Влияние систематического применения осадка городских сточных вод, известкования на агроэкологические свойства почвы, урожайность зерновых культур и их макроэлементный состав в длительном опыте // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 155.

В статье представлены результаты, полученные в длительном опыте по изучению действия и последствий систематического применения осадка городских сточных вод, известкования на агроэкологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы, урожайность и макроэлементный состав зерновых культур. Делается вывод, что использование нетрадиционных источников питания растений в виде ОСВ оказывает положительное пролонгированное влияние на агрохимические свойства почвы, урожайность зерновых культур и их макроэлементный состав.

Табл. 4. Библиогр. 5.

УДК 633.18:631.524:631.445

Семененко Н.Н., Каранкевич Е.В. Влияние систем применения удобрений и других агротехнологических приемов на урожайность зерна и вынос элементов питания кукурузой, возделываемой на антропогенно-преобразованных торфяных почвах Полесья // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 162.

В статье рассматриваются вопросы влияния предшественника в виде редьки масличной используемой на зеленый корм и сидерат, способов основной обработки антропогенно-преобразованных торфяных почв и систем удобрения на урожайность зерна кукурузы и вынос элементов минерального питания в системе почва–удобрение–растение. Предложен норматив удельного выноса элементов питания при расчете доз удобрений на планируемую урожайность

зерна кукурузы, возделываемой на антропогенно-преобразованных торфяных почвах.

Табл. 3. Библиогр. 8.

УДК 631.445.2:633.15:632.118.3

Путятин Ю.В., Богдевич И.М., Сидорейко Н.В., Манько П.С. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы на накопление ^{90}Sr растениями кукурузы // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 171.

В полевых экспериментах на дерново-подзолистой супесчаной почве установлены тесные отрицательные зависимости между биологической доступностью ^{90}Sr и показателями плодородия почвы. Эффективность насыщения почвы органическим веществом, фосфором, кальцием и магнием в дискриминации ^{90}Sr значительно выше на почвах с низкой обеспеченностью данными элементами питания растений.

Табл. 5. Библиогр. 23.

УДК 631.812.2:633:631.445.2

Рак М.В., Титова С.А., Пукалова Е.Н., Николаева Т.Г., Юхновец А.В., Артюх Ю.А. Эффективность некорневых подкормок жидкими микроудобрениями МикроСтим при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 180.

В статье представлены результаты исследований по изучению эффективности применения жидких микроудобрений МикроСтим при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах. Установлено, что некорневые подкормки различными микроудобрениями МикроСтим повышают урожайность сельскохозяйственных культур, качество растениеводческой продукции и является экономически эффективным приемом.

Табл. 16. Библиогр. 14.

УДК 631.81.095.337:631.11

Рак М.В., Николаева Т.Г., Титова С.А., Гук Л.Н. Влияние микроудобрения МикроСтим-Цинк на урожайность и качество зерна озимой пшеницы при различной обеспеченности почвы цинком // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 193.

Изучено влияние микроудобрения МикроСтим-Цинк на урожайность и показатели качества зерна озимой пшеницы при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком. Установлено, что некорневые подкормки озимой пшеницы цинковым микроудобрением эффективны при низком и среднем уровне обеспеченности почвы цинком. Отмечено увеличение содержания белка и цинка в зерне при повышении содержания подвижного элемента в почве и внесении в некорневые подкормки микроудобрения МикроСтим-Цинк на различных уровнях содержания цинка в почве.

Табл. 4. Библиограф. 8.

УДК 631.847.21:633.11:631.445.2

Михайловская Н.А., Цыбулько Н.Н., Юхновец А.В., Устинова А.М., Барашенко Т.Б. Влияние бинарного инокулянта *A. brasilense* + *B. circulans* на урожайность и качество озимой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах // Почвоведения и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 201.

Бинарный инокулянт обеспечивает прибавки урожайности двух сортов озимой пшеницы – Богатка и Сукцес на разных элементах склона: незероэродированной, средне- и сильноэродированной дерново-подзолистых почвах на моренных и лессовидных суглинках. Эффективность бинарного инокулянта *A. Brasilense* + *B. Circulans* повышается в условиях стресса на эродированных почвах. На незероэродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках прибавки зерна озимой пшеницы Богатка варьировали в пределах 1,9–3,5ц/га, на сильноэродированных – 3,2–3,9 ц/га. Бинарный инокулянт способствовал повышению содержания сырого протеина в зерне, увеличивал сбор сырого белка и массу 1000 зерен озимой пшеницы Богатка при возделывании на эродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках.

Табл. 7. Библиогр. 15.

УДК 633.367:581.13

Персикова Т.Ф., Радкевич М.Л. Влияние условий питания на химический состав продукции и вынос элементов питания люпином узколистным // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 211.

В исследованиях на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве изучена эффективность применения минеральных удобрений, бактериальных препаратов, регуляторов роста, микроэлементов – медь, цинк, бор, кобальт, молибден, марганец. Установлено, значительное влияние условий питания на урожайность зерна, химический состав основной и побочной продукции люпина узколистного, рассчитаны показатели общего и удельного выноса элементов питания.

Табл. 4. Библиогр. 13.

УДК 631.445.2:633.358:631.47

Богдевич И.М., Путятин Ю.В., Станилевич И.С., Довнар В.А., Манько П.С. Влияние возрастающих уровней обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием на урожайность гороха // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60) – С. 221.

В полевых опытах установлен диапазон оптимального содержания обменного магния (125–150 мг Mg на кг почвы) для получения высокой урожайности зерна гороха. При этом эквивалентное соотношение в почве катионов Ca:Mg должно быть в пределах около 5, а соотношение K : Mg – около 0,6. Получены существенные прибавки урожайности зерна гороха до 6,8–9,6 ц/га от некорневых подкормок растений сульфатом магния, подтвердившие недостаток магния в диапазоне содержания обменного магния, 46–92 мг Mg на кг почвы.

Табл. 2. Рис.3. Библиогр. 18.

УДК 635.656:631.8

Вильдфлуш И.Р., Малашевская О.В. Влияние макро-, микроудобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на урожайность и качество семян посевного гороха // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 228.

На дерново-подзолистой лекосуглинистой почве применение АФК с В и Мо повысило урожайность семян посевного гороха на 6,0 т / га.

Обработка посевов Адоб Бор и МикроСтим-Бор на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ повышала урожайность семян гороха на 4,5 и 4,9 ц/га, а Экосилом и Кристаллоном – на 4,9 ц/га. Обработка семян гороха инокулянтами на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим-Бор обеспечивала максимальную урожайность (39,3 и 39,7 ц/га), выход сырого белка (8,37и 8,58 ц/га) и переваримого протеина (7,20 и 7,38 ц/га). Обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином была выше в вариантах с применением микроэлементов бора и молибдена – АФК с В и Мо, $N_{18}P_{63}K_{96}$ + В и Мо, $N_{18}P_{63}K_{96}$ + Адоб Бор, а также $N_{18}P_{63}K_{96}$ + Экосил и составила от 131 до и 137 г соответственно.

Табл. 7. Библиогр. 7.

УДК 633.174:631.5 (477.72)

Василенко Р.Н. Эффективность использования карбамид-аммиачной смеси (КАС) при выращивании сорго сахарного // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 238.

Целью исследований предполагалось выявить наибольшую продуктивность кормовой массы сорго, а также выход суммы сахаров с га в зависимости от сроков подкормки азотным удобрением КАС как на орошаемых, так и неполивных землях. В результате проведенных исследований установлено, что наибольшую продуктивность зеленого корма на силос обеспечивает гибрид Довиста как на орошении с выходом к.ед. 18,5 т/га, так и на богаре – 11,6 т/га при подкормке КАС дозой N_{40} в фазу 4–5 листьев. Орошение обеспечило увеличение содержания сахаров в стеблях растения до 15,6 % у гибрида, а на богаре у сорта Силосный 42–12,8%. Гибрид Довиста на орошаемом массиве оказался наиболее продуктивным как по кормовой продуктивности, так и по сбору сахаров с единицы площади.

Табл. 2. Библиогр. 8.

УДК 633.39:631.559:631.8

Емелин В.А. Влияние доз минеральных удобрений и возраста посевов на фотосинтетические показатели роста и урожайность семян сильфии пронзенно-листной при вегетативном размножении // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 243.

Минеральные удобрения положительно влияют на фотосинтетическую деятельность растений, формирование репродуктивных органов и семенную продуктивность сильфии пронзенно-листной. Наибольшую листовую поверхность развивают и дольше сохраняют в активном состоянии посевы сильфии, где вно-

сились дозы $N_{60}P_{90}K_{120}$ кг/га и $N_{90}P_{90}K_{120}$ кг/га. При данном сочетании доз удобрений посеvy сельфии обеспечили средний выход семян 293,8 и 301,7 кг/га. При создании семеноводческих посевов сельфии и дефиците семян целесообразно, особенно на засоренных участках применять вегетативный способ размножения. Посадка частями кустов и корневищ по запланированной схеме имеет перспективу изначально формировать оптимальную густоту посева, облегчает уход и борьбу с сорняками, обеспечивает получение семян в первый год и высокую урожайность в последующие годы.

Табл. 2. Библиогр. 25.

УДК 633.2/.3:631.8:631.559:631.445.24

Сороко В.И. К вопросу о пригодных для возделывания люцерны почвах (аналитический обзор) // Почвоведение и агрохимия. – 2018.– № 1(60). – С. 254.

Разработанная на основе ранее проведенных и современных исследований классификация почв по степени их пригодности для возделывания люцерны включает 4 группы: наиболее пригодные, пригодные, малопригодные и непригодные. На основе этой группировки можно оценить пригодность каждой почвенной разновидности под люцерну, установить площади пригодных почв и возможные посевные площади с учетом чередования культур в севооборотах. При оценке пригодности почв под люцерну на более низких уровнях землепользования возможны некоторые отклонения от среднереспубликанской группировки, в зависимости от специфики почвенного покрова на данной территории.

Проведен анализ приемов, позволяющих улучшить условия возделывания люцерны, в том числе и на малопригодных почвах.

Табл. Библиогр. 45.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия» согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 01.04.2014 № 94 (в редакции приказа Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь 13.01.2017 №6) 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 – методика и объекты исследования, 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 А 4. Все материалы представляются на белой бумаге и электронном носителе.

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.

Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ссылки нумеруются согласно порядку цитирования в тексте. Порядковые номера ссылок по тексту должны быть написаны внутри квадратных скобок (например [1], [2]). Ссылка на неопубликованные работы не допускается.

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).

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.

Ответственная за выпуск *Н.Ю. Жабровская*
Редакторы *Т.Н. Самосюк, Ю.Б. Фельдшерова*
Компьютерная верстка *Е.А. Титовой*

Подписано в печать 14.06.2018. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 22,75. Уч.-изд. л. 18,95. Тираж 100 экз. Заказ № 195.

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

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК