

ISSN 0130-8475

Институт почвоведения и агрохимии

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1961 г.

**№ 1(64)
Январь – июнь 2020 г.**

Минск
2020

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

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

1(64)

Январь–июнь 2020 г.

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

Адрес редакции: 220108, г. Минск, ул. Казинца, 90
Тел. (017) 212-08-21, факс (017) 212-04-02. E-mail brissainform@mail.ru

Ответственная за выпуск *Н. Ю. Жабровская*

Редакторы *Т. Н. Самосюк, Ю. Б. Фельдшерова*
Компьютерная верстка *Е. А. Титовой*

Подписано в печать 19.06.2020. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 20,15. Уч.-изд. л. 15,96. Тираж 100 экз. Заказ 205.

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

© Республиканское научное дочернее унитарное
предприятие «Институт почвоведения и агрохимии», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Лапа В. В., Мезенцева Е. Г., Кулеш О. Г. Продуктивность сельскохозяйственных культур и применение минеральных удобрений в Республике Беларусь	7
--	---

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Шульгина С. В., Азаренок Т. Н., Матыченков Д. В., Матыченкова О. В., Шибут Л. И., Дыдышко С. В. Принципы построения и функционирования справочно-аналитической системы Электронный реестр почв Беларуси	15
Шибут Л. И., Цыбулько Н. Н., Азаренок Т. Н., Жукова И. И. Исторические аспекты картографирования эродированных почв и создания почвенно-эрозионной карты Беларуси	37
Матыченкова О. В., Азаренок Т. Н., Шульгина С. В., Матыченков Д. В., Дыдышко С. В. Подзолистые почвы – уникальные почвы Республики Беларусь	45
Цырыбка В. Б., Цыбулька М. М., Усцінава Г. М., Лагачоў І. А., Касьяненка І. І., Юхнавец А. В., Міцькова А. А. Роля арганічных угнаенняў і вапнавання ў фарміраванні структурнага стану і супрацьэразійнай устойлівасці дзярнова-падзолістых эрадаваных глебаў, якія развіваюцца на лесападобных суглінках	54
Дыдышко С. В., Азаренок Т. Н. К вопросу об устойчивости дерново-паалево-подзолистых почв, сформировавшихся на мощных легких лессовидных суглинках, к агрогенным воздействиям	61
Алексеев В. Е. Сравнительная характеристика минералогического состояния орошаемого и неорошаемого обыкновенных черноземов юга Молдовы ...	78
Алексеев В. Е. Орошаемый и неорошаемый обыкновенные черноземы юга Молдовы: баланс минералов	86

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Симанков О. В., Шедова О. А. Динамика содержания фосфатов, различной растворимости в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высокими запасами фосфора	94
Богдевич И. М., Путятин Ю. В., Станилевич И. С., Ломонос О. Л. Динамика обеспеченности калием пахотных и луговых почв Беларуси	104
Семененко Н. Н., Пироговская Г. В. Агроэкономическая эффективность новых форм комплексных удобрений при возделывании кукурузы на зеленую массу на антропогенно-преобразованных торфяных почвах Полесья	117

Цыбулько Н. Н., Евсеев Е. Б., Жукова И. И. Влияние азотных удобрений на продуктивность многолетних злаковых трав на торфянисто-глеевой почве	125
Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Кирдун Т. М., Белявская Ю. А., Торчило М. М., Бирюкова О. М. Фитотоксичность дерново-подзолистых почв в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик	133
Путятин Ю. В. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы на накопление ¹³⁷ Cs и ⁹⁰ Sr зеленой массой гороха	143
Путятин Ю. В. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы на накопление ¹³⁷ Cs клевером луговым	152
Зимица М. В. Потребление и вынос элементов минерального питания растениями подсолнечника	160
Вильдфлуш И. Р., Пироговская Г. В., Хизанейшвили Н. Э. Эффективность применения новых форм комплексных удобрений при возделывании столовой свеклы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве	166
Рак М. В., Пукалова Е. Н., Иванова Н. С., Гук Л. Н., Муковозчик В. А. Влияние микроудобрений на урожайность и качество кукурузы на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве	176
Пукалова Е. Н. Влияние различных форм и доз микроудобрений на накопление и вынос микроэлементов растениями льна масличного	182
Пироговская Г. В. Милоста Ю. Г. Влияние комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений на поступление железа в почву и растения льна масличного	190
Вильдфлуш И. Р., Мосур С. С., Пироговская Г. В. Влияние органических, макро-, микроудобрений и регулятора роста на фотосинтетическую деятельность посевов, урожайность и качество кукурузы при возделывании на силос на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.....	205
Михайловская Н. А., Войтка Д. В., Цыбулько Н. Н., Устинова А. М., Барашенко Т. Б., Дюсова С. В. Влияние моно- и бинарных инокулянтов на урожайность и фитопатологическое состояние посевов зерновых культур на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах.....	220
Лапа В. В., Жабровская Н. Ю. Сотрудники Института почвоведения и агрохимии – они защищали Родину	233
Рефераты	238
Правила для авторов	247

CONTENTS

Lapa V. V., Mezentseva E. G., Kulesh O. G. Productivity of agricultural crops and application of mineral fertilizers in the Republic of Belarus	7
--	---

1. SOIL RESOURCES AND THEIR RATIONAL USE

Shul'gina S. V., Azarenok T. N., Matychenkov D. V., Matychenkova O. V., Shibut L. I., Dydyshko S. V. Principles of construction and functioning of reference analytical system Electronic soil register of Belarus	15
Shibut L. I., Tsybulko N. N., Azarenok T. N., Zhukova I. I. Historical aspects of eroded soils mapping and creation of soil-erozion map of Belarus	37
Matychenkova O. V., Azarenok T. N., Shul'gina S. V., Matychenkov D. V., Dydyshka S. V. Podzolic soils – unique soils of the Republic of Belarus	45
Tsyrybka V. B., Tsybulka M. M., Ustsinava H. M., Lahachou I. A., Kasyanenko I. I., Yukhnovets A. V., Mitskova A. A. The role of organic fertilizers and liming in the formation of the structural state and anti-erosion resistance of sod-podzolic eroded soils developing on loess like loams	54
Dydyshka S. V., Azarenok T. N. On the question of the stability of sod-pale-podzolic soils formed on powerful light loess-like loams to agrogenic Influences	61
Alekseev V. E. Comparative characteristic of the mineralogical state of irrigated and non-irrigated ordinary chernozems of south of Moldova	78
Alekseev V. E. Conjugate pair of irrigated and non-irrigated carbonate chernozems of the south of Moldova: balance of minerals	86

2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION

Kulesh O. G., Mezentseva E. G., Simankov O. V., Shedova O. A. Dynamics of phosphates, various solubility in sod-podzolic light-loamy soil with very high resources of phosphorus	94
Bogdevitch I. M., Putyatin Yu. V., Stanilevich I. S., Lomonos O. L. Dynamics of potassium supply of arable soils and grassland in Belarus.....	104
Semenenko N. N., Pirahouskaya G. V. Agro-economic efficiency of new forms of integrated fertilizers for cropping corn for green mass on anthropogenically-transformed peat soils of Polesye	117
Tsybulka N. N., Evseev E. B., Zhukova I. I. Influence of nitrogen fertilizers on the productivity of perennial cereal grasses on pearly-glay soil	125

Bahatyrova E. N., Seraya T. M., Kirdun T. M., Belyavskaya Y. A., Torchilo M. M., Biryukova O. M. Phytotoxicity of sod-podzolic soils in the zone of influence of livestock complexes and poultry farms	133
Putyatin Yu. V. Influence of agrochemical properties of sod-podzolic sandy soil on ¹³⁷ Cs and ⁹⁰ Sr accumulation by green mass of peas.....	143
Putyatin Yu. V. Influence of agrochemical properties of sod-podzolic loamy sand soil on ¹³⁷ Cs accumulation by meadow clover.....	152
Zimina M. V. Consumption and removal of elements of mineral nutrition by sunflower plants.....	160
Vildflush I. R., Pirahouskaya G. V., Hizaneyshvili N. E. Efficiency of the application of new forms of complex fertilizers for cultivation of table beet on sod-podzolic light-loamy soil.....	166
Rak M. V., Pukalova E. N., Ivanova N. S., Guk L. N., Mukovozchik V. A. The effect of micronutrient fertilizers on the yield and quality of maize on sod-podzolic highly cultivated light loamy soil	176
Pukalova E. N. On the accumulation and removal of microelements by plant-soil flax.....	182
Pirahouskaya G. V., Milosta Yu. G. The effect of complex fertilizers with the addition of iron-containing compounds on the intake of iron in the soil and oil flax plants	190
Wildflush I. R., Mosur S. S., Pirahouskaya G. V. Influence of organic, macro, microfertilizers and growth regulator on photosynthetic activity of crops, yield and quality of corn while cultivated for silos on sod-podzolic light loamy soil.....	205
Mikhailouskaya N. A., Voitka D. V., Tsybulko N. N., Ustinova A. M., Barashenko T. B., Dyusova C. V. Effect of mono- and binary inoculants on yield and phytopathology status of grain crops growing on luvisol loamy sand eroded soils	220
Lapa V. V., Zhabrovskaya N. Yu. Employees of the Institute for soil science and agrochemistry – they protected the motherland	233
Summaries	238
Instructions for authors.....	247

ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

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

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

Базой устойчивого развития аграрной отрасли является плодородие почв. Потому для его повышения и сохранения систематически проводится известкование и применение органических и минеральных удобрений. При достаточно интенсивном их использовании улучшаются режимы питания почв, их физические и биологические свойства, т. е. идет постепенное окультуривание. На стадии окультуренности большинство агрохимических свойств дерново-подзолистых почв достигает оптимальных параметров, формируется высокий потенциал почвенного плодородия, что, в свою очередь, оказывает непосредственное влияние на повышение продуктивности возделываемых культур. Поддержание достигнутого уровня плодородия почв является одним из важнейших условий эффективного ведения сельского хозяйства республики. На высокоокультуренных почвах для получения планируемой урожайности сельскохозяйственных культур требуются меньшие затраты минеральных удобрений, что позволяет перейти на принципиально новую ресурсосберегающую систему их применения.

В период 1966–1970 гг. в Белорусской ССР применяли 97 кг/га д. в. минеральных удобрений в год, что обусловило невысокую по стране среднюю продуктивность пашни – 21,5 ц к. ед./га. С середины 70-х гг. объемы внесения удобрений существенно возросли – со 161 (1971–1975 гг.) до 259 кг/га д. в. (1986–1990 гг.) (табл. 1).

Применение удобрений в Беларуси в этот период основывалось на концепции расширенного воспроизводства плодородия почв, согласно которой при расчете доз удобрений на почвах с содержанием элементов питания ниже оптимального уровня предусматривались достаточно высокие параметры возврата с удобрениями фосфора (140–220) и калия (120–140 % к выносу). Дополнительное внесение (сверх выноса) удобрений – 48–75 кг/га P_2O_5 и 30–103 кг/га K_2O обеспечивало полную компенсацию выноса с урожаем этих элементов и накопление их в почвах в пределах 20–40 мг/кг в год. В связи с этим наращивание объемов применения минеральных (и органических) удобрений позволило существенно повысить содержание подвижных соединений фосфатов и калия и увеличить продуктивность пашни в среднем по республике до 42,8 ц к. ед./га (рис. 1, табл. 1).

В последующие годы (1991–2005 гг.) по объективным причинам в сельскохозяйственных предприятиях Республики Беларусь ежегодные объемы применения минеральных удобрений снизились и составили 58–68 % к уровню 1986–1990 гг. При этом внесение невысоких доз удобрений часто сопровождалось нарушением их сбалансированности и соотношения элементов питания. Это привело к снижению продуктивности пашни почти в 2 раза – до 29,1–35,9 ц/га к. ед. (табл. 1, 2, рис. 1).



Рис. 1. Дозы минеральных удобрений и продуктивности пашни в Республике Беларусь

Таблица 1

Внесение минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры на почвах пахотных земель Беларуси

Область	Период, г.						
	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005	2006–2010	2011–2015	2016–2019
NPK кг/га д. в.							
Брестская	250	184	158	166	276	280	205
Витебская	240	157	119	117	222	223	91
Гомельская	286	189	171	162	270	301	164
Гродненская	270	221	170	197	274	283	216
Минская	265	178	142	156	270	262	177
Могилевская	252	155	144	140	252	235	118
Беларусь	259	177	149	156	261	263	162
Азотные							
Брестская	78	54	51	63	98	101	88
Витебская	88	57	45	53	82	82	46
Гомельская	90	55	49	53	90	110	75
Гродненская	100	81	64	88	106	108	100
Минская	86	54	46	60	100	97	78
Могилевская	86	56	51	56	91	89	54
Беларусь	88	59	51	62	95	97	73
Фосфорные							
Брестская	60	35	23	19	44	39	21
Витебская	57	31	17	13	34	37	8
Гомельская	76	46	31	26	49	49	19
Гродненская	61	37	21	23	42	44	20
Минская	67	38	20	20	49	45	22
Могилевская	68	34	22	20	47	36	12
Беларусь	65	37	22	20	44	42	17

Окончание табл. 1

Область	Период, гг.						
	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005	2006–2010	2011–2015	2016–2019
<i>Калийные</i>							
Брестская	112	94	84	88	136	140	96
Витебская	95	69	58	53	106	104	37
Гомельская	120	89	91	86	132	142	69
Гродненская	109	93	85	90	126	131	96
Минская	112	86	76	79	121	121	78
Могилевская	98	66	70	68	114	111	51
Беларусь	106	82	76	77	122	124	71

В 2006–2010 гг. объемы применения минеральных удобрений возросли и в среднем по стране достигли величины 261 кг д. в./га, превысив самый эффективный период 1986–1990 гг. Это более чем на 100 кг/га выше, чем за 2001–2005 гг.

При этом объемы применения минеральных удобрений по регионам увеличились на 77–114 кг/га (39–90 %). В четырех областях республики (Брестской, Гомельской, Гродненской и Минской) уровень применения удобрений был практически одинаковым – 270–276 кг/га (табл. 1). Дозы внесенных азотных удобрений составили 90–106 кг/га д. в., фосфорных – 42–49, калийных – 121–136 кг/га д. в. Рост уровня применения удобрений способствовал значительному повышению урожайности сельскохозяйственных культур – продуктивность пашни в Брестской, Минской и Гродненской областях возросла до 43,3–56,0 ц/га к. ед. В среднем по республике этот показатель составил 42,6 ц /га к. ед. (табл. 2).

Таблица 2

**Продуктивность пахотных земель Республики Беларусь
в 1986–2019 гг., ц к. ед./га**

Область	Годы						
	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005	2006–2010	2011–2015	2016–2019
Брестская	48,0	40,8	33,9	35,7	43,3	46,1	46,9
Витебская	33,0	31,0	23,9	27,7	34,5	36,2	33,6
Гомельская	44,1	35,0	26,3	27,8	35,5	35,5	35,5
Гродненская	49,6	43,2	38,4	46,3	56,0	60,6	53,6
Минская	46,7	37,9	29,1	33,8	45,0	49,6	47,7
Могилевская	37,6	31,5	25,2	29,5	40,9	42,7	40,5
Беларусь	42,8	35,9	29,1	33,4	42,6	44,8	43,0

Наименьший уровень применяемых доз минеральных удобрений был характерен для Витебской области: 117–222 кг/га д. в. NPK за 2001–2010 гг., продуктивность пашни за этот период составила 27,7–34,5 ц/га к. ед. В Гродненской области при максимальных объемах использования удобрений (274 кг/га д. в.) уровень продуктивности сельскохозяйственных культур достиг 46,3–56,0 ц/га к. ед. (табл. 1, 2). Вместе с ростом объемов применения минеральных удобрений в сельскохозяйственных организациях в этот период сократился дисбаланс уровня их внесения по областям: если 2001–2005 гг. различие между их максималь-

ной и минимальной дозой составляло 80 кг/га, то в 2006–2010 гг. сократилось до 54 кг/га.

В последующие годы (2011–2015 гг.) в среднем по стране уровень применения минеральных удобрений сохранился. При этом если в Гомельской, Гродненской и Брестской областях объемы внесения минеральных удобрений (в основном за счет азотных и калийных удобрений) возросли и составили 280–301 кг/га д. в., то в Минской и Могилевской областях – снизились на 3–9 % (табл. 1).

В 2016–2019 гг. дозы применяемых минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры резко сократились – в среднем по республике было внесено 162 кг д. в./га NPK, что составляет 62 % по отношению к периоду 2011–2015 гг. При этом внесение азотных удобрений снизилось на 25 %, фосфорных – 60 %, калийных – 43 % (табл. 1). Ежегодно в течение последних лет (2017–2019 гг.) в республике под сельскохозяйственные культуры в регионах применяли 54–100 кг/га д. в. азотных удобрений, 8–22 – фосфорных и 37–96 кг/га д. в. – калийных. Наиболее существенный дефицит минеральных удобрений сложился в Могилевской и Витебской областях, где по отношению к 2011–2015 гг. внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений сократилось на 39–44 %, 67–82 % и 54–64 % соответственно. Более благополучная ситуация с применением минеральных удобрений была в Гродненской, Брестской и Минской областях. Однако и там в эти годы объемы внесения минеральных удобрений также снизились на 27–34 %. Продуктивность пашни по областям в этот период варьировала от 34,1 ц к. ед./га (Витебская область) до 54,4 ц к. ед./га (Гродненская область) (табл. 2).

Одной из проблем применения минеральных удобрений остается их несбалансированность. Следует отметить, что если в 2011–2015 гг. при средней по республике дозе 263 кг/га д. в. минеральных удобрений соотношение применяемых N:P:K составило 1:0,4:0,7, то в 2016–2019 гг. при дозе минеральных удобрений 162 кг д. в./га – 1:0,2:1 (рис. 2).

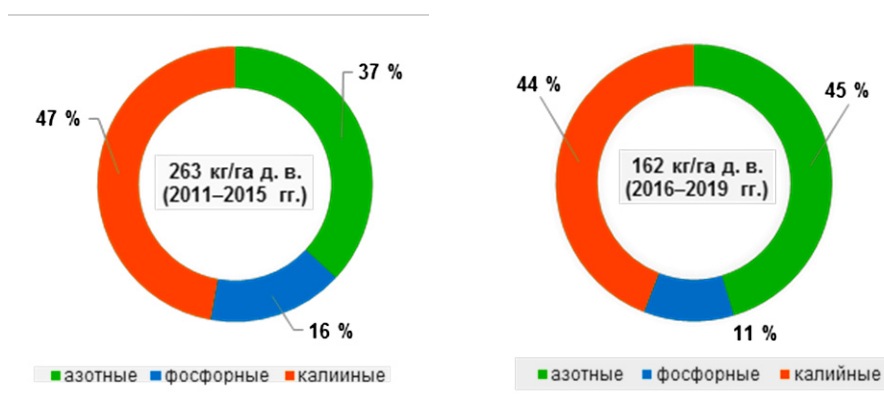


Рис. 2. Доли азотных, фосфорных и калийных удобрений в составе полного минерального удобрения

При этом, несмотря на снижение объемов применения минеральных удобрений, продукционная способность пашни остается довольно высокой и составляет в среднем по стране 43,0 ц/га к. ед. Это свидетельствует о достаточно высоком потенциале плодородия почв, созданным за предшествующий период применения

удобрений, когда наблюдалось постепенное накопление питательных веществ в пахотных почвах.

Неравномерное распределение минеральных удобрений по отдельным полям в предыдущий период способствовало образованию фонда почв как с низким, так и очень высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия. Данные последнего тура крупномасштабного агрохимического обследования почв свидетельствуют, что почвы Беларуси по содержанию подвижных соединений фосфора и калия по отдельным полям различаются в 3–4 и более раз. Удельный вес почв, слабо обеспеченных фосфором составляет 23 %, со средним и повышенным содержанием – 52 и около 25 % площади пашни с высоким и очень высоким содержанием подвижного фосфора. Почвы, слабо обеспеченные калием, составляют 25 %, со средним и повышенным содержанием – 55 %. Около 30 % обследованной площади пашни занимают почвы с высоким и очень высоким содержанием подвижных соединений фосфора и калия. Применение избыточных доз удобрений (сверх выноса урожаем) на таких почвах приводит к снижению их окупаемости, рентабельности использования, миграции калия и ретроградации фосфатов, ухудшению качества продукции и состава микроорганизмов почвы.

В связи с вышеизложенным использование удобрений в производственных условиях должно основываться на критериях экономической целесообразности, поддержания или повышения запасов элементов питания в почвах до экологически безопасного уровня и улучшения качества продукции. С целью регулирования содержания в почвах элементов питания и более эффективного использования минеральных удобрений на уровне, необходимом для получения планируемых урожаев и поддержания нижней границы оптимума этих элементов, дозы фосфорных и калийных удобрений рассчитываются на почвах:

- низкоплодородных – 110–120 % компенсации выноса этих элементов с урожаем;
- с оптимальным содержанием подвижных соединений фосфора и калия – 100 % компенсации;
- с высоким содержанием – 50–70 % компенсации;
- с очень высоким содержанием – 30–50 % компенсации.

Такой подход к определению доз минеральных удобрений позволяет наиболее эффективно их использовать и выравнивать агрохимическую пестроту полей.

На основании обобщения, систематизации и анализа применения минеральных удобрений, их баланса уточнены нормативы возмещения выноса основных элементов питания с учетом почвенного плодородия [2]. С использованием новых нормативов определяется потребность в минеральных удобрениях [3].

В настоящее время агрохимической наукой республики разработан ряд рекомендаций и регламентов по вопросам повышения эффективности использования плодородия почв и минеральных удобрений в агротехнологиях возделывания сельскохозяйственных культур, ориентированных на получение максимальной урожайности [4–7]. На основании этих предложений решены вопросы оптимальных доз и сроков внесения удобрений под отдельные сельскохозяйственные культуры, которые реализованы в практической деятельности хозяйств. Разработаны новые научно обоснованные альтернативные методи-

ческие решения, позволяющие получать планируемую урожайность сельскохозяйственных культур за счет повышения окупаемости вносимых удобрений в севооборотах и более эффективного использования достигнутого потенциала плодородия почв [8].

Таким образом, в настоящее время сохранение продуктивности пахотных земель на уровне 50 ц/га к. ед. необходимо обеспечивать не за счет увеличения объемов внесения минеральных удобрений, а за счет повышения окупаемости их прибавкой урожая сельскохозяйственных культур – 10–12 кг зерна на 1 кг НРК. Для этого обязательным условием является дифференцированный подход к планированию урожайности сельскохозяйственных культур и доз удобрений в зависимости от состояния плодородия почв, предшественника и ресурсных затрат на получение прибавки урожайности в агротехнологиях различной интенсификации.

Основными мероприятиями по повышению эффективности минеральных удобрений для обеспечения формирования высокой продуктивности сельскохозяйственных культур являются:

- внесение минеральных удобрений в строго расчетных дозах на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур, а также необходимого количества микроудобрений с учетом биологической потребности возделываемых культур и уровня плодородия почвы;
- внедрение адаптивных сортов сельскохозяйственных культур при более совершенных технологиях их возделывания;
- применение пестицидной защиты растений от комплекса вредителей, болезней и сорняков;
- более совершенная технология внесения минеральных макро- и микроудобрений в комплексе с биологически активными веществами.

Данные мероприятия имеют основополагающее значение для получения высокой продуктивности сельскохозяйственных культур с учетом высокой окупаемости минеральных удобрений и эффективного использования достигнутого потенциала плодородия почв.

ВЫВОДЫ

Наращивание объемов применения минеральных (и органических) удобрений в период широкого внедрения в сельскохозяйственное производство интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур (1986–1990 гг.) позволило улучшить агрохимические показатели почвенного плодородия. Стабилизация продуктивности пашни на уровне 45 ц/га к. ед. свидетельствует о достаточно высоком потенциальном плодородии почв, созданном за предшествующий период применения удобрений.

Неравномерное распределение минеральных удобрений способствовало образованию фонда почв как с низким, так и очень высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия. В условиях резкого снижения вносимых доз минеральных удобрений на пахотных землях страны необходимо более эффективно использовать сформированный потенциал плодородия почв на основе дифференцированного подхода к планированию урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от состояния плодородия почв, предшественника и ресурсных затрат

на получение прибавки урожайности в агротехнологиях различной интенсификации.

Использование удобрений в производственных условиях должно основываться на критериях экономической целесообразности, поддержания или повышения запасов элементов питания в почвах до экологически безопасного уровня и улучшения качества продукции. С целью регулирования содержания в почвах элементов питания и более эффективного использования минеральных удобрений на уровне, необходимом для получения планируемых урожаев и поддержания нижней границы оптимума этих элементов, при расчете доз минеральных удобрений установлены нормативы возмещения выноса фосфора и калия с планируемой урожайностью в зависимости от запасов этих элементов в почве.

Предложены основные мероприятия по повышению эффективности минеральных удобрений, которые имеют основополагающее значение для получения высокой продуктивности сельскохозяйственных культур с учетом высокой окупаемости минеральных удобрений и эффективного использования достигнутого потенциала плодородия почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 276 с.
2. 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. – 39 с.
3. Отраслевой регламент. Использование удобрений под сельскохозяйственные культуры в севооборотах и сохранение плодородия почв. Типовые технологические процессы / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 32 с.
4. Система удобрения озимых зерновых культур при возделывании на дерново-подзолистых почвах: рекомендации / В. В. Лапа [и др.]. – Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 32 с.
5. Отраслевой регламент. Применение удобрений при возделывании зерновых культур. Типовые технологические процессы. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2014. – 16 с.
6. Отраслевые регламенты. Применение удобрений при возделывании зерновых, кормовых культур и рапса. Типовые технологические процессы. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2014. – 38 с.
7. Рекомендации по экономически обоснованным приемам управления продуктивностью посевов зерновых культур в агротехнологиях различной интенсивности на дерново-подзолистых почвах / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2014. – 24 с.
8. Применение удобрений под сельскохозяйственные культуры в севооборотах и сохранение плодородия почв (рекомендации) / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 32 с.

PRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL CROPS AND APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

V. V. Lapa, E. G. Mezentseva, O. G. Kulesh

Summary

The analysis of the use the mineral fertilizers in the Republic of Belarus and the production capacity of soils is given. It was revealed that soil fertility increased significantly due to the rather high doses of fertilizer application on arable land in previous years. Stabilization of arable land productivity at the level of 40–45 c/ha is indicates of high soil potential. The issues of increasing payback the mineral fertilizers and holding measures for more efficient use of the achieved fertility are relevant in conditions of deficiency mineral fertilizers.

Поступила 20.04.2020

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4:001.51

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СПРАВОЧНО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕЕСТР ПОЧВ БЕЛАРУСИ»

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Территория Беларуси, занимая относительно небольшую площадь (207 600 км²), характеризуется чрезвычайно разнообразным компонентным составом почвенного покрова, обусловленным как естественно-историческими факторами почвообразования, так и хозяйственной деятельностью человека. На долю почв земель сельскохозяйственного назначения приходится 40,8 % от общей площади земель страны, или 8460,1 тыс. га, из них пахотных – 67,5 % (5712,3 тыс. га) [1]. Сегодня среди ученых и специалистов в отрасли агропромышленного комплекса широко востребован оперативный доступ к электронной информации о почвах сельскохозяйственных земель, содержащей систематизированный свод актуальных количественных и качественных показателей агроэкологического, агропроизводственного, нормативно-технического характера. Отметим, что в нашей стране уже создан ряд реестров: Единый реестр административно-территориальных и территориальных единиц Республики Беларусь, Реестр цен на земельные участки государственного земельного кадастра, Реестр земельных ресурсов, Геопортал ЗИС Республики Беларусь, в стадии формирования – Государственный геоинформационный ресурс данных Д33. Однако отсутствует информационный ресурс, в котором были бы отражены современные параметры компонентов почвенного покрова агроэкологической и агрономической направленности. Его разработка является достижимой целью для Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси благодаря весомому научно-практическому заделу:

- Осуществлены инвентаризация и системный учет разносторонних фактических данных о почвах республики по результатам теоретических и прикладных научных исследований, крупномасштабного почвенного картографирования и корректировки почвенных материалов, крупномасштабного агрохимического и радиологического обследования почв, кадастровых землеоценочных работ [2–10].

- На основе разработанных методик [11–13] сформирована Почвенная информационная система Беларуси [14]. ПИСБ республиканского уровня состоит из оцифрованной почвенной карты Беларуси М 1:2 500 000 (с корреляцией легенды согласно WRB 2006) и базы данных почвенных профилей (более 23 000 разрезов) с аналитикой, площадными сведениями (рис. 1).

- Созданы цифровые почвенные карты территорий отдельных землепользователей.
- На основе систематизации многолетних почвенно-агрохимических исследований издана монография «Почвы Республики Беларусь» [15], в которой предметом особого внимания является проблема агрогенной трансформации состава и изменения свойств почв, вовлеченных в сельскохозяйственный оборот, оценка тенденций изменения почвенного покрова.

Следует отметить, что изыскания по формированию информационного продукта требуют предварительного анализа правовых норм, поскольку почва (почвенный покров) является объектом регулирования законодательных актов, ряд которых посвящен вопросам рационального использования и охраны земельных ресурсов и закрепляет приоритетность разработки реестров экологического характера о состоянии компонентов природной среды.

Таким образом, цель исследований состоит в нормативно-правовом обосновании необходимости формирования информационного справочно-аналитического ресурса по почвам республики и в разработке принципов его построения и функционирования. Создание Электронного реестра почв позволяет войти в единое почвенно-информационное пространство как на республиканском, так и на международном уровнях, способствует правовому и информационному обеспечению эффективного, экологически и экономически оправданного землепользования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований является типовое (подтиповое) разнообразие почв сельскохозяйственных земель республики согласно Номенклатурному списку 2013 г. (составлен на основе схемы классификации почв 1980 г. и классификационной схемы антропогенно-преобразованных почв 1991, 2001 гг.), который по настоящее время используется в практике ведения почвенно-картографических работ [4].

Этот перечень почв служит также основой при выполнении классификационной корреляции разновременных наименований почвенных выделов, а также для выбора репрезентативных профилей, отражающих важнейшие информативные признаки преобладающей классификационной единицы контура (полигона) почвенной карты.

Предмет исследования – фондовые материалы РУП «Институт почвоведения и агрохимии», Почвенная информационная система Беларуси: электронные разномасштабные почвенные карты с легендами, база данных почвенных профилей с набором атрибутивных характеристик. В основу построения структурных блоков почвенного реестра положена База данных почвенных профилей, вмещающая до 108 полей по каждому генетическому горизонту [12]. С целью обоснования необходимости создания информационного справочно-аналитического ресурса с позиции законодательства Республики Беларусь проведен анализ нормативно-правовых документов, объектами регулирования которых являются почвенные (земельные) ресурсы.

Основные методы, используемые для разработки принципов функционирования Электронного реестра почв Беларуси: системный, сравнительно-почвенно-географический, картографический, экспертных оценок, инвентаризация и систематизация информации почвенных баз данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно законодательству Республики Беларусь почва и почвенный покров являются объектами правовых отношений, выступая компонентой окружающей среды, либо частью земли, либо земельными ресурсами. Поэтому сегодня поднимается вопрос о необходимости совершенствования нормативной правовой базы в области охраны и использования земель (почв), включая разработку Закона «Об охране земель (почв)» для устойчивого использования земельных (почвенных) ресурсов, что подчеркивается в Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. [16].

В соответствии со статьей 1 Кодекса Республики Беларусь о земле [17] «земля (земли) – земная поверхность, включая почвы, рассматриваемая как компонент природной среды, средство производства в сельском и лесном хозяйстве, пространственная материальная основа хозяйственной и иной деятельности». Статья 5 Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» [18] устанавливает равноценные компоненты природной среды, к которым относятся: земля (включая почвы), недра, воды, атмосферный воздух, растительный и животный мир, а также озоновый слой и околоземное космическое пространство, обеспечивающие в совокупности благоприятные условия для существования жизни на Земле.

Земля как составная часть окружающей среды является объектом правоотношений, которые регулируются нормами земельного и экологического права. Статьей 3 Кодекса Республики Беларусь о земле установлено, что объектами земельных отношений являются земля (земли); земельные участки; права на земельные участки; ограничения (обременения) прав на земельные участки.

Особое значение в законодательстве отводится сельскохозяйственным землям, которые статья 8 Кодекса Республики Беларусь о земле формулирует как земли, систематически используемые для получения сельскохозяйственной продукции и включающие в себя пахотные земли, залежные земли, земли под постоянными культурами и луговые земли. Отнесение земель к определенным видам устанавливается Президентом РБ. Согласно статье 13 Конституции Республики Беларусь «земли сельскохозяйственного назначения находятся в собственности государства» [19].

Главным направлением в области охраны окружающей среды является осуществление заложенных в Конституции РБ прав граждан на благоприятную для жизни окружающую среду, прав будущих поколений на пользование природно-ресурсным потенциалом, а также на компенсацию ущерба, нанесенного здоровью или имуществу в результате нарушения этих прав (статьи 46, 55, 89). Кодекс Республики Беларусь о земле (статья 89) предписывает бережное отношение к земельным ресурсам и почвам и закрепляет государственный контроль за использованием и охраной земель. Статья 55 Конституции РБ утверждает: «Охрана природной среды – долг каждого». При этом охрана земель представляет собой систему мероприятий, направленных на предотвращение деградации земель, восстановление деградированных земель (статья 89 Кодекса РБ о земле). Закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» гласит: «Охрана окружающей среды является неотъемлемым условием обеспечения

экологической безопасности, устойчивого экономического и социального развития общества».

В Постановлении «О некоторых вопросах предотвращения деградации земель (включая почвы)» [20] (утв. в соответствии с Указом Президента РБ от 17.07.2001 г. № 393 «О присоединении Республики Беларусь к Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке») земля и ее важнейший компонент – почвы – являются основным национальным природным богатством Беларуси, от эффективности использования и охраны которого во многом зависит социально-экономическое благополучие и экологическая ситуация в стране. Деятельность по реализации Конвенции в Республике Беларусь направлена на обеспечение системного учета и мониторинга земель, мер по предотвращению деградации земель (включая почвы), недопущению снижения плодородия почв и их продуктивности.

В принятой Правительством РБ Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития на период до 2020 г. [21] отмечается актуальность вопросов деградации земель. В состав природоохранных мероприятий включены: развитие мониторинга окружающей среды, совершенствование статистического учета в области окружающей среды, ведение кадастров природных ресурсов; оценка степени деградации экосистем; развитие информационной системы, обеспечение открытости, достоверности и своевременности экологической информации по вопросам состояния окружающей среды, ее охраны и использования природных ресурсов.

Согласно Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. [16] главным критерием развития сельского хозяйства является сохранение и улучшение природного потенциала, комплексное землеустройство, рациональное использование почвенных ресурсов, снижение удельного веса деградированных земель. Вопрос сохранения органогенных почв при использовании сельскохозяйственных земель, предотвращения процессов минерализации торфяников является актуальной проблемой в условиях республики. Так, результаты работ по корректировке почвенно-картографических материалов староосушенных земель и прилегающих к ним территорий в сельскохозяйственных организациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах страны (2005–2015 гг.) показали, что вовлечение органогенных почв в интенсивный сельскохозяйственный оборот ведет к изменению их морфологических признаков и свойств (рис. 2, табл. 1), при этом прослеживается тенденция увеличения площади деградированных торфяных почв (табл. 2) [9].

В стратегии на период до 2030 г. [16] предусматривается создание информационных систем сельскохозяйственного мониторинга, мониторинга качества земель, обеспечение своевременного предоставления информации различным потребителям и входящая в глобальные информационные сети; модернизация и развитие земельно-информационной системы на основе диверсификации решаемых задач, использование современных технологий сбора, обработки, хранения и предоставления данных; развитие национальной инфраструктуры пространственных данных, создание эффективной системы государственного контроля за использованием и охраной земель на основе данных дистанционного зондирования земли, географических информационных систем.

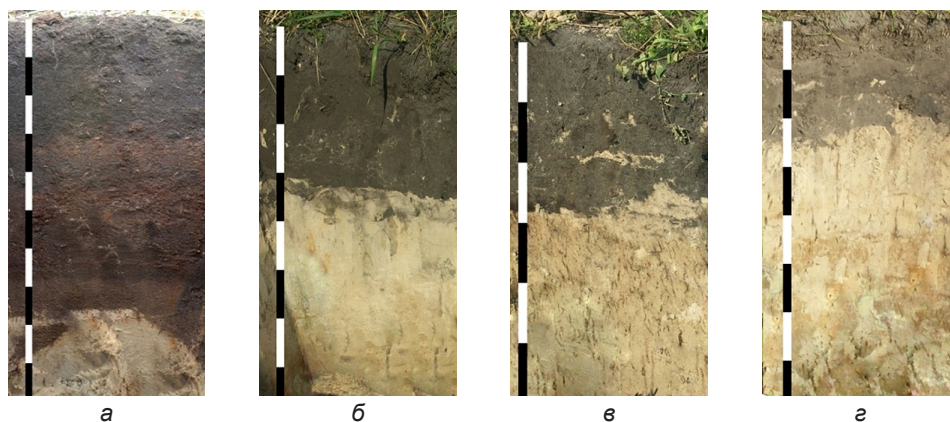


Рис. 2. Морфологический облик торфяной и деградированных торфяных почв (СПК Новополесский Солигорского района Минской области):

а – торфяная низинная маломощная, развивающаяся на тростниково-осоковых торфах, подстилаемых с глубины 0,60 м песками; б – деградированная торфяно-минеральная, подстилаемая с глубины 0,36 м песками; в – деградированная минеральная остаточноторфяная связнопесчаная, сменяемая с глубины 0,26 м рыхлыми песками; г – деградированная постторфяная связнопесчаная, сменяемая с глубины 0,23 м рыхлыми песками

Таблица 1

Среднестатистические показатели агрохимических и физико-химических свойств деградированных почв сельскохозяйственных земель согласно данным почвенного (2005–2015 гг.) и агрохимического (АБД 2005–2012 гг.) картографирований

Показатель	Деградированные	В том числе		
		торфяно-минеральные (ОВ 50,0–20,1 %)	минеральные остаточноторфяные (ОВ 20,0–5,1 %)	минеральные постторфяные (ОВ < 5,0 %)
Зольность, %	–	<u>72,26±7,68</u> 74	<u>85,06±4,77</u> 192	<u>97,00±0,03</u> 10
ОВ, %	–	<u>27,74±7,68</u> 74	<u>14,94±4,77</u> 192	<u>3,00 ±0,03</u> 10
pH _{KCl}	<u>5,72±0,63</u> 2007 (АБД)	<u>5,57±0,53</u> 339	<u>5,64±0,62</u> 259	<u>5,59±0,53</u> 10
P ₂ O ₅ , мг/кг	<u>99,05±83,43</u> 2007 (АБД)	<u>117,37±115,87</u> 321	<u>110,31±73,13</u> 211	<u>78,06±13,33</u> 7
K ₂ O, мг/кг	<u>186,40±134,00</u> 2007 (АБД)	<u>139,85±136,33</u> 321	<u>118,78±73,30</u> 149	<u>63,71±26,01</u> 9
Hг, смоль(+)-кг ⁻¹	–	<u>9,16±8,58</u> 202	<u>3,69±3,61</u> 203	<u>3,46±2,94</u> 9
S, смоль(+)-кг ⁻¹	–	<u>36,70±18,88</u> 202	<u>17,85±11,66</u> 203	<u>14,74±11,55</u> 9
T, смоль(+)-кг ⁻¹	–	<u>45,95±24,03</u> 202	<u>21,56±13,53</u> 203	<u>18,20±12,92</u> 9
V, %	–	<u>79,91±13,69</u> 202	<u>82,33±11,43</u> 203	<u>78,06±13,33</u> 9

Примечание. Показатель под чертой – количество данных.

Таблица 2

Изменение площади дегроторфяных почв сельскохозяйственных земель Беларуси (корректировка материалов II тура почвенного обследования 1986–1998 гг. (корр. II), корректировка почвенных материалов осушенных и прилегающих к ним земель 2005–2015 гг.), тыс. га

Область	Дегроторфяные							
	Всего		В том числе					
			торфяно-минеральные		минеральные остаточно-торфяные		постторфяные	
корр. II	2005–2015	корр. II	2005–2015	корр. II	2005–2015	корр. II	2005–2015	
Брестская	57,92	104,42	42,43	56,60	12,12	44,51	3,37	3,31
	+46,50		+14,17		+32,39		–0,06	
Витебская	9,77	11,08	6,52	9,27	3,19	1,79	0,06	0,03
	+1,31		+2,75		–1,40		–0,03	
Гомельская	59,26	73,43	14,34	31,98	43,21	39,50	1,70	1,95
	+14,18		+17,63		–3,71		+0,25	
Гродненская	0,20	24,45	0,13	19,91	0,03	4,50	0,04	0,04
	+24,25		+19,78		+4,47		–	
Минская	51,74	83,76	32,42	59,73	6,16	22,76	13,16	1,27
	+32,02		+27,31		+16,60		–11,89	
Могилевская	8,31	16,60	6,64	11,23	1,55	4,94	0,12	0,43
	+8,29		+4,59		+3,39		+0,31	
Республика Беларусь	187,20	313,75	102,48	188,72	66,26	118,00	18,45	7,03
	+126,55		+86,24		+51,74		–11,42	

Статьей 73 Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» [18] предусмотрено ведение реестров экологической информации государственного фонда данных о состоянии окружающей среды и воздействиях на нее как Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, так и иными государственными организациями, накапливающими экологическую информацию. Перечень сведений, содержащихся в реестрах, размещается организациями, осуществляющими их ведение, в доступном месте (на информационных стендах, табло, официальных сайтах в глобальной сети Интернет). В состав экологической информации включаются сведения (статья 74) о состоянии окружающей среды, в том числе земель (включая почвы), о хозяйственной и иной деятельности юридических лиц, связанных с вредным воздействием на окружающую среду или ее охраной, о территориальных комплексных схемах, программах и мероприятиях по рациональному (устойчивому) использованию природных ресурсов и охране окружающей среды.

Основные государственные нормативные правовые акты, в соответствии с которыми разрабатывается Электронный реестр почв Беларуси, а также нормы, содержащие отдельные вопросы регулирования земельных правоотношений, перечень государственных программ, реализация которых направлена на предотвращение деградации земель (включая почвы), основных государственных стандартов, вмещающих понятия почва, земля, представлены в табл. 3.

Перечень земельно-законодательных актов Республики Беларусь и иных документов в сфере охраны и рационального использования почв (земель) (1984–2019 гг.)

Вид документа		Наименование документа
Основные НПА	Законы	<p>Конституция Республики Беларусь (с изм. и доп., принятыми на респ. референдумах 24.11.1996 г. и 17.10.2004 г.)</p> <p>Кодекс Республики Беларусь о земле от 23.07.2008 г. № 425-3</p> <p>Кодекс Республики Беларусь от 14.07.2008 г. № 406-3 «О недрах»</p> <p>Закон Республики Беларусь от 26.11.1992 г. № 1982-XII «Об охране окружающей среды»</p> <p>Закон Республики Беларусь от 23.07.2008 г. № 184 «О мелиорации земель»</p> <p>Закон Республики Беларусь от 15.11.2018 г. № 150-3 «Об особо охраняемых природных территориях»</p> <p>Закон Республики Беларусь от 18.12.2019 г. № 272-3 «Об охране и использовании торфяников»</p>
	Подзаконные акты	<p>Указ Президента Республики Беларусь от 11.12.2009 г. № 622 «О совершенствовании порядка регулирования земельных отношений и осуществления государственного контроля за использованием и охраной земель»</p> <p>Постановление Кабинета Министров РБ от 17.11.1994 г. № 183 «О государственной программе охраны и рационального использования земель»</p> <p>Постановление Верховного Совета РБ от 6.09.1995 г. № 3851-XII «Концепция государственной политики Республики Беларусь в области охраны окружающей среды»</p> <p>Постановление Совета Министров РБ от 14.07.2003 г. № 949 «Положение о Национальной системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь»</p> <p>Постановление Совета Министров РБ от 29.04.2015 г. № 361 «О некоторых вопросах предотвращения деградации земель (включая почвы)»</p> <p>Постановление Совета Министров РБ от 30.12.2015 г. № 1111 «Стратегия сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников»</p>
Отдельные вопросы в НПА	Законы	<p>Закон Республики Беларусь от 18.12.1991 г. № 1314-XII «О платежах за землю»</p> <p>Закон Республики Беларусь от 5.07.2004 г. № 300-3 «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь»</p> <p>Налоговый кодекс Республики Беларусь (Особенная часть) от 29.12.2009 г. № 71-3 (с изм. и доп. по <i>сост. на 30.12.2018 г.</i>)</p> <p>Гражданский Кодекс Республики Беларусь от 7.12.1998 г. № 218-3</p> <p>Водный Кодекс Республики Беларусь от 30.04.2014 г. № 149-3</p> <p>Лесной кодекс Республики Беларусь от 24.12.2015 г. № 332-3</p> <p>Уголовный кодекс Республики Беларусь от 9.07.1999 г. № 275-3</p> <p>Кодекс Республики Беларусь об административных правонарушениях от 2.04.2003 г. № 194-3</p>

Вид документа	Наименование документа
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Отдельные вопросы в НПА</p> <p>Подзаконные акты</p>	<p>Указ Президента Республики Беларусь от 27.12.2007 г. № 667 «Об изъятии и предоставлении земельных участков»</p> <p>Указ Президента Республики Беларусь от 27.12.2007 г. № 667 «Положение о порядке перевода земель из одних категорий и видов в другие и отнесения земель к определенным видам»</p> <p>Указ Президента Республики Беларусь от 24.06.2008 г. № 348 «О таксах для определения размера возмещения вреда, причиненного окружающей среде» (с изм. и доп. от 3.12.2010 г. № 618)</p> <p>Указ Президента Республики Беларусь от 26.12.2017 г. № 463 «О совершенствовании порядка изъятия и предоставления земельных участков»</p> <p>Положение о рекультивации земель, нарушенных при разработке месторождений полезных ископаемых и торфа, проведении геологоразведочных, строительных и других работ (утв. Приказом Государственного комитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии РБ от 25.04.1997 г. № 22)</p> <p>Положение о порядке передачи рекультивированных земель землевладельцам, землепользователям субъектами хозяйствования, разрабатывающими месторождения полезных ископаемых и торфа, а также проводящими геологоразведочные, изыскательские, строительные и иные работы, связанные с нарушением почвенного покрова (утв. Приказом Государственного комитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии РБ от 25.04.1997 г. № 22)</p> <p>Положение о снятии, использовании и сохранении плодородного слоя почвы при производстве работ, связанных с нарушением земель (в ред. постановления Государственного комитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии РБ при Совете Министров от 08.12.2004 г. № 49)</p> <p>Инструкция об организации производственного контроля в области охраны окружающей среды (утв. постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды РБ от 17.03.2004 г. № 4)</p> <p>Инструкция о порядке разработки, согласования и утверждения инструкции по осуществлению производственного контроля в области охраны окружающей среды (утв. постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды РБ от 17.03.2004 г. № 4)</p> <p>Об утверждении Инструкции о порядке проведения кадастровой оценки сельскохозяйственных земель земельных участков, предоставленных сельскохозяйственным организациям, в том числе крестьянским (фермерским) хозяйствам, иным организациям для ведения сельского хозяйства, в том числе крестьянского (фермерского), а также для ведения подсобного сельского хозяйства (утв. постановлением Государственного комитета по имуществу РБ от 29.06.2015 г. № 28)</p>
<p>Государственные программы</p>	<p>Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. (одобр. Нац. комиссией по устойчивому развитию РБ от 6.05.2004 г. № 11/15ГР и Президиумом Совета Министров РБ от 22.06.2004 г. № 25)</p>

Вид документа	Наименование документа
Государственные программы	<p>Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. ГП «Торф» на 2008–2010 гг. и на период до 2020 г. (утв. постановлением Совета Министров РБ от 23.01.2008 г. № 94) Стратегия по реализации Конвенции о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение, главным образом, в качестве местобитаний водоплавающих птиц (утв. постановлением Совета Министров РБ от 10.02.2009 г. № 177) ГП социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2010–2015 гг. (утв. Указом Президента РБ от 29.03.2010 г. № 161) ГП сохранения и использования мелиорированных земель на 2011–2015 гг. (утв. постановлением Совета Министров РБ от 31.08.2010 г. № 1262) Стратегия по сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия на 2011–2020 гг. (утв. постановлением Совета Министров РБ от 19.11.2010 г. № 1707) ГП по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2011–2015 гг. и на период до 2020 г. (утв. постановлением Совета Министров РБ от 31.12.2010 г. № 1922) Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2011–2015 гг. (утв. Указом Президента Республики Беларусь от 11.04.2011 г. № 136) ГП устойчивого развития села на 2011–2015 гг. (утв. Указом Президента Республики Беларусь от 1.08.2011 г. № 342) Программа развития промышленного комплекса Республики Беларусь на период до 2020 г. (утв. постановлением Совета Министров РБ от 5.07.2012 г. № 622) ГП мер по смягчению последствий изменения климата на 2013–2020 гг. (утв. постановлением Совета Министров РБ от 21.06.2013 г. № 510) Национальная стратегия развития системы особо охраняемых природных территорий до 1 янв. 2030 г. (утв. постановлением Совета Министров РБ от 2.07.2014 г. № 649)</p>
Государственные стандарты	<p>ГОСТ 26640-85 Земли. Термины и определения (СТ СЭВ 4472-84) (введ. 1.01.87 г.) ГОСТ 27593-88 Почвы. Термины и определения (введ. 1.07.88 г.) ГОСТ 20432-83 Удобрения. Термины и определения (введ. 30.06.84 г.) ГОСТ 17.4.2.03-86 Охрана природы. Почвы. Паспорт почв (введ. 1.07.87 г.)</p>

Таким образом, создание Электронного реестра почв Беларуси отвечает решению приоритетных задач государственной экологической политики в области охраны земельных (почвенных) ресурсов: развитие информационной системы, обеспечение открытости, достоверности и своевременности экологической информации по вопросам состояния окружающей среды, ее охраны и использования природных ресурсов.

В процессе научного поиска определены принципы его построения и функционирования:

- Охват всего разнообразия компонентного состава почвенного покрова. Главным картографическим документом, характеризующим почвенный покров всей территории Беларуси, до сих пор является Почвенная карта БССР, изданная в 1977 г. (М 1:600 000, сост. Н. И. Смян, И. Н. Соловей, под ред. Т. Н. Кулаковской и П. П. Рогового), на основе которой создана Почвенная карта Республики Беларусь (М 1:2 500 000, Национальный атлас Беларуси, 2002 г.). Центральной структурной единицей реестра является тип (подтип) почвы согласно Номенклатурному списку почв 2013 г. Тот или иной тип почвы характеризуется репрезентативным профилем с координатной привязкой и, по возможности, полной морфолого-аналитической информацией по генетическим горизонтам в пределах метрового слоя.

- Комплексность данных, которая выражена разнородными показателями: агроклиматическими, литологическими, морфологическими, физико-химическими, водно-физическими, агропроизводственными и др.

- Передача почвенной информации в виде взаимосвязанных геометрической (пространственной) и семантической (атрибутивной) составляющих.

- Корреляция (иногда условная) номенклатуры почв Электронного реестра с Мировой реферативной базой почвенных ресурсов 2014 для достижения взаимопонимания между специалистами на международном уровне [13, 22–27].

Функционирование электронного реестра почв должно соответствовать следующим требованиям:

- Объективность информации. Зачастую сведения по искомым почвам представлены не полностью, являются устаревшими и не соответствуют действительности на настоящий момент времени, что приводит к субъективности оценки их агроэкологического состояния, происходящих изменений свойств и сказывается на адекватности принимаемых решений. Обеспечение актуальной электронной информацией о почвах республики становится возможным за счет обновления баз данных почвенных ресурсов с учетом всех изменений почв и почвенного покрова в течение установленного периода времени.

- Полнота информации о состоянии почв и почвенного покрова на настоящий момент времени.

- Оперативность или насколько быстро информация в режиме online может быть адаптирована к принятию решений. Периодически актуализируемая справочно-аналитическая информация позволяет проводить эффективный анализ данных и принимать научно-обоснованные решения в кратчайшие сроки, в том числе и в сельскохозяйственной отрасли производства.

- Простота и удобство использования.

Наиболее востребованная для пользователя семантическая часть создаваемой информационной системы (элементы легенды описательного характера, аналитические показатели) ранжирована на блоки-библиотеки, которые включают поля с определенным набором характеристик и соответствующими числовыми или текстовыми данными к ним, количество которых может варьировать в зависимости от поставленных задач. На период текущих исследований в состав каталогов почвенного реестра входит 11 блоков, сопровождающих почвенный тип (подтип) (табл. 4–14). Наименования полей структурных блоков показаны также в формате английских сокращений и аббревиатур, при этом используется авторское решение.

Таблица 4

Блок 1. Пространственно-географическая характеристика почвы

№ поля	Поле каталога	Описание, критерий	Тип данных
1	SOIL_ID	Идентификационный номер (<i>уникальный номер выдела согласно легенде Почвенной карты М 1:2 500 000</i>)	Числовой
2	Oblast	Область	Текстовый
3	Region	Район	Текстовый
4	Region_Soil-Ecological	Почвенно-экологический район	Текстовый
5	Soil_poligon	Номер почвенного выдела (ареала)	Числовой
6	Soil_square	Площадь почвенного выдела (ареала)	Числовой
7	Date_Year	Год описания разреза	Дата
8	Date_Day, Month	День, месяц описания разреза (<i>день XX, месяц XX</i>)	Дата
9	Settlement	Наименование ближайшего к разрезу населенного пункта	Текстовый
10	Longitude	Географическая долгота (<i>° град., ' мин, " сек.</i>)	Координаты
11	Latitude	Географическая широта (<i>° град., ' мин, " сек.</i>)	Координаты
12	Altitude	Высота над уровнем моря (<i>м</i>)	Числовой
13	RLFMacro	Макрорельеф (<i>плато, низменность, водораздел</i>)	Текстовый
14	RLFMeso	Мезорельеф (<i>долина, терраса, гряды, озы, бугры, увалы, блюдца, ложбины, овраги, балки и др.</i>)	Текстовый
15	RLFMicro	Микрорельеф (<i>западины, кочки, бугорки, ямы и др.</i>)	Текстовый
16	Erosion_Type	Вид эрозии (<i>плоскостная, струйчатая, линейная, дефляция</i>)	Текстовый

Таблица 5

Блок 2. Агроклиматические условия формирования почвы

№ поля	Поле каталога	Описание, критерий	Тип данных
1	Region_Agroclimatic	Агроклиматический район	Текстовый
2	AirT_Jan Avg	Средняя температура воздуха января (°C)	Числовой
3	AirT_Jul Avg	Средняя температура воздуха июля (°C)	Числовой
4	AirT_Amt > 10 °C	Сумма активных температур воздуха выше 10 °C	Числовой
5	Precipitation_AAmt	Среднегодовая сумма осадков (<i>мм</i>)	Числовой
6	Precipitation_Amt FPD T > 10 °C	Сумма осадков за период с температурой выше 10 °C	Числовой
7	Hydrothermal Factor	Гидротермический коэффициент	Числовой
8	Bioclimatic Potential	Биоклиматический потенциал местности	Числовой
9	Frosts_Last Spr_AvgD	Средние даты последних весенних заморозков (<i>день XX, месяц XX</i>)	Дата
10	Frosts_First Aut_AvgD	Средние даты первых осенних заморозков (<i>число XX, месяц XX</i>)	Дата

Блок 3. Морфолого-генетические особенности почвенного профиля

№ поля	Поле каталога	Описание, критерий	Тип данных
1	Soil_NAME 2013	Название почвы согласно Номенклатурному списку почв 2013 г.	Текстовый
2	Soil_WRB 2014	Классификационное положение почвы согласно WRB 2014 г.	Текстовый
3	Profile_ID	Номер разреза (согласно авторским материалам)	Числовой
4	Photo_file	Фотография разреза	Ссылка
5	Card_file	Полевое описание почвенного разреза	Текстовый
6	ParentRock_Gen	Генетический тип почвообразующей породы	Текстовый
7	ParentRock_Gran	Гранулометрический состав почвообразующей породы (аналитический метод по Н. А. Качинскому)	Текстовый
8	ParentRock_Thickness	Мощность почвообразующей породы (до 0,5 м, 0,5–1,0 м, >1,0 м)	Текстовый
9	UnderlyingRock_Gen	Генетический тип подстилающей породы	Текстовый
10	UnderlyingRock_Gran	Гранулометрический состав подстилающей породы (аналитический метод по Н. А. Качинскому)	Текстовый
11	Moistening	Водное питание (<i>атмосферное, грунтовое, смешанное</i>)	Текстовый
12	Wetting_Degree	Степень увлажнения (<i>автоморфные, оглеенные внизу, оглеенные на контакте, слабogleеватые, глееватые, глеевые, гидроморфные</i>)	Текстовый
13	GWL	Уровень грунтовых вод (м)	Числовой
14	Horizon_N	Порядковый номер горизонта от поверхности	Числовой
15	Horizon_Name	Наименование горизонта	Текстовый
16	Horizon_Index	Обозначение горизонта (индекс)	Текстовый
17	Horizon_Probe	Глубина взятия образца (см)	Числовой
18	Boundary_Upper	Верхняя граница (<i>глубина, см</i>)	Числовой
19	Boundary_Lower	Нижняя граница (<i>глубина, см</i>)	Числовой
20	Horizon_Thickness	Мощность горизонта (см)	Числовой
21	Transition	Характер перехода (<i>резкий, ясный, заметный, постепенный</i>)	Текстовый
22	Boundary_Shape	Форма границ (<i>ровная, волнистая, языковатая, затечная, размывтая</i>)	Текстовый
23	Color_Field	Цвет визуально (<i>полевое определение</i>)	Текстовый
24	Color_Dry	Цвет визуально (<i>сухой</i>)	Текстовый
25	Color_Munsell_field	Цвет по шкале Манселла (<i>полевое определение</i>)	Текстовый
26	Color_Munsell_dry	Цвет по шкале Манселла (<i>сухой</i>)	Текстовый
27	Color_Properties	Характер окраски (<i>однородная, неоднородная</i>)	Текстовый

№ поля	Поле каталога	Описание, критерий	Тип данных
28	Spot	Наличие пятен (<2 % от площади горизонта, 2–20 %, >20 %)	Текстовый
29	Spot_Color	Цвет пятен	Текстовый
30	Roots	Наличие корней (1–2, 3–5, 5–7, >7 шт.)	Текстовый
31	Roots_Size	Размер корней (тонкие – <5 мм в диаметре, большие – >5 мм в диаметре)	Текстовый
32	Pores	Наличие пор, трещин (единичные, мало, много)	Текстовый
33	Structure	Структура (зернистая, комковатая, глыбистая, призмовидная, плитчатая и др.)	Текстовый
34	Structure_Element_size	Размер структурных элементов (мм)	Числовой
35	Includes	Наличие включений (единичные, мало, много)	Текстовый
36	Includes_Type	Тип включений (метоморфы, антропоморфы, биоморфы)	Текстовый
37	Neoformation	Наличие новообразований (единичные, мало, много)	Текстовый
38	Neoform_Type	Тип новообразований (налеты, конкреции, прослойки, биогенные)	Текстовый
39	HCl_Reaction_Top	Глубина (верхняя граница) вскипания от 10 % HCl (см)	Числовой
40	HCl_Intensive	Интенсивность вскипания от HCl (не вскипает, слабо, средне, сильно вскипает)	Текстовый

Таблица 7

Блок 4. Гранулометрический состав почвообразующей породы

№ поля	Поле каталога	Описание, критерий	Тип данных
1	Includes_Size	Содержание фракции гранулометрических элементов >3 мм (%)	Числовой
2	Gran_1	Содержание фракции гранулометрических элементов 3–1 мм (%)	Числовой
3	Gran_2	Содержание фракции гранулометрических элементов 1–0,5 мм (песок крупный, %)	Числовой
4	Gran_3	Содержание фракции гранулометрических элементов 0,5–0,25 мм (песок средний, %)	Числовой
5	Gran_4	Содержание фракции гранулометрических элементов 0,25–0,05 мм (песок мелкий, %)	Числовой
6	Gran_5	Содержание фракции гранулометрических элементов 0,05–0,01 мм (пыль крупная, %)	Числовой
7	Gran_6	Содержание фракции гранулометрических элементов 0,01–0,005 мм (пыль средняя, %)	Числовой
8	Gran_7	Содержание фракции гранулометрических элементов 0,005–0,001 мм (пыль мелкая, %)	Числовой
9	Silt	Содержание илистой фракции <0,001 мм (%)	Числовой
10	Clay	Содержание физической глины <0,01 мм (%)	Числовой

Таблица 8

Блок 5. Характеристика торфяной залежи

№ поля	Поле каталога	Описание, критерий	Тип данных
1	Peat_Decomposition	Степень разложения торфа (<25 % – торфяная, 25–50 % – перегнойно-торфяная, 50–75 % – торфяно-перегнойная, >75 % – перегнойная)	Числовой
2	Peat_Botanic	Ботанический состав торфа (тростниковый, древесно-осоковый, осоково-сфагновый, пушицево-сфагновый и др.)	Текстовый
3	Peat_OrgMatter	Содержание органического вещества (торфяные >50 % ОВ, дегумифицированные торфяно-минеральные 50,0–20,1 % ОВ, дегумифицированные минеральные остаточно-торфяные 50,0–5,1 % ОВ, минеральные постторфяные)	Числовой
4	Peat_AshContent	Зольность торфа (%)	Числовой

Таблица 9

Блок 6. Физические, водные свойства почвы

№ поля	Поле каталога	Описание, критерий	Тип данных
1	Moisture	Влажность (%)	Числовой
2	Density	Плотность почвы (г/см ³)	Числовой
3	Density_Solid	Плотность твердой фазы (г/см ³)	Числовой
4	Poros	Порозность (пористость) почвы (%)	Числовой
5	MaxAirDry	Максимальная гигроскопическая влажность (МГВ) (%)	Числовой
6	MinWC	Наименьшая влагоемкость (НВ) (предельно-полевая влагоемкость, полевая влагоемкость) (%)	Числовой
7	Wilting	Влажность завядания (%)	Числовой
8	FullWC	Полная влагоемкость (%)	Числовой
9	WPM	Водопроницаемость (см/мин)	Числовой

Таблица 10

Блок 7. Вещественный состав почвы

№ поля	Поле каталога	Описание, критерий	Тип данных
1	Smektit_silt	Содержание смектита в иле (%)	Числовой
2	Vermiculite_silt	Содержание вермикулита в иле (%)	Числовой
3	Hydromica_silt	Содержание гидрослюды в иле (%)	Числовой
4	Kaolin_silt	Содержание каолинита в иле (%)	Числовой
5	Peach_silt	Содержание хлорита в иле (%)	Числовой
6	ППП	Потери при прокаливании (при определении валового элементного состава почвы) (%)	Числовой
7	SiO ₂ _total	Валовое содержание кремния (SiO ₂) в почве (%)	Числовой
8	Al ₂ O ₃ _total	Валовое содержание алюминия (Al ₂ O ₃) в почве (%)	Числовой
9	Fe ₂ O ₃ _total	Валовое содержание железа (Fe ₂ O ₃) в почве (%)	Числовой
10	CaO_total	Валовое содержание кальция (CaO) в почве (%)	Числовой

Окончание табл. 10

№ поля	Поле каталога	Описание, критерий	Тип данных
11	MgO_total	Валовое содержание магния (MgO) в почве (%)	Числовой
12	P ₂ O ₅ _total	Валовое содержание фосфора (P ₂ O ₅) в почве (%)	Числовой
13	K ₂ O_total	Валовое содержание калия (K ₂ O) в почве (%)	Числовой
14	TiO ₂ _total	Валовое содержание титана (TiO ₂) в почве (%)	Числовой
15	MnO ₂ _total	Валовое содержание марганца (MnO ₂) в почве (%)	Числовой
16	SO ₃ _total	Валовое содержание серы (SO ₃) в почве (%)	Числовой
17	Na ₂ O_total	Валовое содержание натрия (Na ₂ O) в почве (%)	Числовой

Таблица 11

Блок 8. Агрохимические свойства почвы

№ поля	Поле каталога	Описание, критерий	Тип данных
1	Corg	Содержание органического углерода (%)	Числовой
2	Hm_Common	Содержание общего гумуса (%)	Числовой
3	Nitro_Common	Содержание общего азота (%)	Числовой
4	C:N	Отношение содержания органического углерода к общему азоту	Числовой
5	pH_KCl	pH солевой суспензии	Числовой
6	HA	Гидролитическая кислотность (Hr) (смоль(+) \cdot кг ⁻¹)	Числовой
7	ExCa	Содержание обменного кальция (Ca ²⁺) (смоль(+) \cdot кг ⁻¹)	Числовой
8	ExMg	Содержание обменного магния (Mg ²⁺) (смоль(+) \cdot кг ⁻¹)	Числовой
9	SBE	Сумма поглощенных оснований (смоль(+) \cdot кг ⁻¹)	Числовой
10	EC	Емкость поглощения (смоль(+) \cdot кг ⁻¹)	Числовой
11	BSD	Степень насыщенности основаниями (%)	Числовой
12	MobP ₂ O ₅	Содержание подвижного фосфора P ₂ O ₅ (мг/кг)	Числовой
13	MobK ₂ O	Содержание подвижного калия K ₂ O (мг/кг)	Числовой
14	B	Содержание бора (мг/кг)	Числовой
15	Zn	Содержание цинка (мг/кг)	Числовой
16	Cu	Содержание меди (мг/кг)	Числовой

Таблица 12

Блок 9. Групповой и фракционный состав гумуса почвы

№ поля	Поле каталога	Описание, критерий	Тип данных
1	C_Total	Содержание углерода гумуса (%)	Числовой
2	Humic_F1	Содержание фракции 1 гуминовых кислот (% от общего органического углерода почвы)	Числовой
3	Humic_F2	Содержание фракции 2 гуминовых кислот (% от общего органического углерода почвы)	Числовой
4	Humic_F3	Содержание фракции 3 гуминовых кислот (% от общего органического углерода почвы)	Числовой
5	C_Humic_Sum	Суммарное содержание углерода фракций гуминовых кислот (%)	Числовой
6	Fulvic_F1a	Содержание фракции 1a фульвокислот (% от общего органического углерода почвы)	Числовой

Окончание табл. 12

№ поля	Поле каталога	Описание, критерий	Тип данных
7	Fulvic_F1	Содержание фракции 1 фульвокислот (% от общего органического углерода почвы)	Числовой
8	Fulvic_F2	Содержание фракции 2 фульвокислот (% от общего органического углерода почвы)	Числовой
9	Fulvic_F3	Содержание фракции 3 фульвокислот (% от общего органического углерода почвы)	Числовой
10	C_Fulvic_Sum	Суммарное содержание углерода фракций фульвокислот (%)	Числовой
11	C_Insol	Содержание нерастворимого остатка (НО) углерода (гумин) (%)	Числовой
12	H/F_ratio	Отношение углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот (Сгк/Сфк)	Числовой

Таблица 13

Блок 10. Освоенность почвенного покрова

№ поля	Поле каталога	Описание, критерий	Тип данных
1	Land_Use	Использование почвы (<i>пахотные земли, луговые естественные, луговые улучшенные, под постоянными культурами, древесно-кустарниковая растительность, нарушенные</i>)	Текстовый
2	VegAss	Растительность	Текстовый
3	Melio_Drainage	Осушительная мелиорация (<i>осушенные, неосушенные</i>)	Текстовый
4	Cultivation_Degree	Степень окультуренности почвы	Числовой
5	FertSc_Initial	Бонитет почвы (балл исходный)	Числовой
6	FertSc_Actual	Балл плодородия почвы (балл фактический)	Числовой
7	AnthropoInfl_Type	Вид антропогенного воздействия (<i>эрозия водная, дефляция, загрязнение, вторичное заболачивание, переуплотнение, вторичное засоление, отчуждение земель</i>)	Текстовый

Таблица 14

Блок 11. Методы определения значений показателей свойств почв и почвенных образцов (фрагмент)

№ поля	Поле каталога	Описание	Тип данных
1	M_GPos	Метод определения координат (с использованием GPS, с использованием координатной сетки карты, с использованием Google Earth и др.)	Текстовый
2	R_RLFMeso	Тип мезорельефа согласно справочнику (указать)	Текстовый
3	R_Horizon_Index	Индекс горизонта согласно справочнику (указать)	Текстовый
4	M_Gran	Метод определения гранулометрического состава (<i>ГОСТ 12536-79, метод Сабанина, рентген-седиментационный, др.</i>)	Текстовый
5	M_pH KCl	Метод определения pH _{KCl} (<i>ГОСТ 26483-85, метод Соколова, др.</i>)	Текстовый

№ поля	Поле каталога	Описание	Тип данных
6	M_OrgMatter	Метод определения содержания органического вещества (ГОСТ 26213-91)	Текстовый
7	M_Hm_Common	Метод определения содержания общего гумуса (ГОСТ 26213-91, др.)	Текстовый
8	M_H/F_ratio	Соотношение углерода гуминовых кислот к углеводу фульвокислот ($C_{ГК}/C_{ФК}$) (расчетный метод)	Текстовый
9	M_Nitro_Common	Метод определения содержания общего азота (ГОСТ 26951-86, др.)	Текстовый
10	M_Corg	Метод определения содержания органического углерода (ГОСТ 26213-91)	Текстовый
11	M_HA	Метод определения гидролитической кислотности (ГОСТ 26212-91, метод Каппена, др.)	Текстовый
12	M_SBE	Метод определения суммы поглощенных оснований (метод Каппена-Гильковица, расчетный метод)	Текстовый
13	M_BSD	Метод определения степени насыщенности основаниями (расчетный метод)	Текстовый
14	M_P ₂ O ₅	Метод определения содержания подвижного фосфора (ГОСТ 26207-91, др.)	Текстовый
15	M_K ₂ O	Метод определения содержания подвижного калия (ГОСТ 26207-91, др.)	Текстовый
16	M_SiO ₂ _total	Метод определения валового содержания кремния (SiO ₂) в почве (атомно-абсорбционный, фотометрический, рентген-флюоресцентный и др.)	Текстовый

В результате почвенный объект на территории того или иного землепользователя приобретает свой паспорт качества (плодородия), который, в свою очередь, включает фиксированный набор данных отдельных полей вышеперечисленных блоков для отражения краткой наиболее важной информации о почве.

Семантическая составляющая почвенного реестра находится в единстве с геометрической частью. С помощью ГИС планируется объединить пространственные и атрибутивные почвенные данные путем создания связи: контур (полигон) цифровой почвенной карты соответствующего уровня землепользования – точка (место закладки типичного почвенного разреза) – сопровождающая аналитическая характеристика, группированная в блоки. Это позволит в перспективе построить разноуровневый почвенно-информационный ресурс.

В целом в структуру Электронного почвенного реестра планируется включить следующие разделы (рис. 3):

- правовое обеспечение использования и охраны почв;
- почвенная карта территории Беларуси М 1:2 500 000;
- перечень типового и подтипового разнообразия почв;
- семантическая и геометрическая характеристики отдельных типов (подтипов) почв;
- паспорт плодородия почвы;
- морфологические признаки почв Беларуси;
- качественное состояние почв сельскохозяйственных земель: структура земельного фонда; распределение по типовой принадлежности, гранулометричес-

кому составу, степени увлажнения; оценка плодородия: балл, агропроизводственная группировка почв по пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур, картограммы пригодных почв под отдельные сельскохозяйственные культуры; почвенно-экологическое районирование.



Рис. 3. Структурная схема Электронного реестра почв Беларуси (предварительная)

Подобного рода справочно-аналитическая информация в режиме online в виде Электронного реестра почв необходима для учета всего разнообразия почв страны, проведения мониторинговых исследований, контроля использования и охраны почв, прогнозирования рисков изменения их свойств, разработки экологически и экономически оправданных мероприятий по эффективному использованию агропочвенного потенциала на основе их фактического состояния, оптимизации структуры посевных площадей, имеет важное значение для рационального использования почв и защиты от деградации.

Создание Электронного реестра почв республики будет способствовать правовому и информационному обеспечению рационального использования почвенных ресурсов страны, совершенствованию законодательства в области охраны почв как самостоятельной составляющей окружающей среды, расширять и развивать единое почвенно-информационное пространство на уровне республики и международного сотрудничества.

ВЫВОДЫ

1. Создание Электронного реестра почв Беларуси отвечает решению приоритетных задач государственной экологической политики в области охраны земельных (почвенных) ресурсов: развитие информационной системы, обеспечение открытости, достоверности и своевременности экологической информации по вопросам состояния окружающей среды, ее охраны и использования природных ресурсов.

2. Разработаны структура и содержание Электронного почвенного реестра. На текущий момент содержание включает следующие разделы: правовое обеспечение использования и охраны почв; почвенная карта; перечень типового (подтипового) разнообразия почв; семантическая и геометрическая характеристики типов (подтипов) почв с представлением паспорта качества (плодородия) почвы; морфологические признаки почв; качественное состояние почв сельскохозяйственных земель. Семантическая часть ресурса ранжирована на 11 блоков-библиотек, сопровождающих почвенный тип (подтип): пространственно-географическая характеристика; агроклиматические условия формирования; морфолого-генетические особенности репрезентативного профиля; гранулометрический состав почвообразующей и подстилающей пород; характеристика торфяной залежи для органогенных почв; физические свойства; вещественный состав (минералогический, валовой химический; агрохимические свойства; групповой и фракционный состав гумуса; сведения об освоенности почвенного ареала; методы определения показателей свойств и состава почвенных образцов и стандарты.

3. Принципы построения и функционирования справочно-аналитической системы Электронный реестр почв Беларуси: учет всего разнообразия компонентного состава почвенного покрова. Центральной структурной единицей реестра является тип (подтип) почвы согласно Номенклатурному списку почв 2013 г.; комплексность данных; взаимосвязь пространственной и атрибутивной составляющих; корреляция (иногда условная) номенклатуры почв с WRB 2014; объективность информации; полнота информации о состоянии почв и почвенного покрова на настоящий момент времени; простота и удобство использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь (по сост. 1 янв. 2019 г.). – Минск, 2019. – 57 с. – Режим доступа: <http://gki.gov.by>. – Дата доступа: 18.01.2020.

2. Полевая диагностика почв Беларуси: практ. пособие / Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь, НАН Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии; под ред. Г. С. Цытрон. – Минск: Учебн. центр подгот., повышения квалификации и переподгот. кадров землеустроит. и картографо-геодез. службы. – 2011. – 175 с.

3. Пригодность почв Республики Беларусь для возделывания отдельных сельскохозяйственных культур: рекомендации / В. В. Лапа [и др.] – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – 64 с.

4. Примерный номенклатурный список почв / Г. С. Цытрон [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии, Проектный институт Белгипрозем. – Минск. – 2013. – 64 с.

5. 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.
6. 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.
7. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика / Г. М. Мороз [и др.]; под ред. Г. М. Мороза и В. В. Лапы. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 208 с.
8. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапы, А. Ф. Черныша; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 170 с.
9. Осушенные торфяные и дегроторфяные почвы в составе сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практическое пособие / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапы; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 215 с.
10. Рекомендации по использованию почв с высокими параметрами перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию / Н. Н. Цыбулько [и др.]; НАН Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 76 с.
11. Методика формирования почвенных баз данных Беларуси, их интерпретация и использование (для создания геоинформационной системы характеристики почвенного покрова) // Г. С. Цытрон [и др.] / РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2008. – 44 с.
12. Методические указания по созданию Почвенной информационной системы Беларуси // Г. С. Цытрон [и др.]. – Минск, Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – 68 с.
13. Особенности построения и использования почвенных баз данных России, Украины и Беларуси (по материалам международной встречи) / С. А. Шоба [и др.] // Агрехимия и почвоведение – Харьков, 2011. – № 76. – С. 64–72.
14. Почвенно-информационные системы в агропочвоведении / В. В. Лапа [и др.] // Земледелие и защита растений. Приложение к журналу № 2. – 2018. – С. 9–12.
15. Почвы Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 632 с.
16. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. [Электронный ресурс]: одобр. Президиумом Совета Министров Респ. Беларусь, протокол заседания от 2 мая 2017 г. № 10. – Минск, 2017. – 148 с.
17. Кодекс Республики Беларусь о земле [Электронный ресурс]: 23 июля 2008 г., № 425-З: принят Палатой представителей 17 июня 2008 г.: одобр. Советом Респ. 28 июня 2008 г.: в ред. Закона Респ. Беларусь от 31.12.2014 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь // Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2016. – 83 с.
18. Об охране окружающей среды: Закон Респ. Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-XII // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://pravo.by/document/?guid=3871&p0=V19201982>. – Дата доступа: 27.02.2020.

19. Конституция Республики Беларусь: с изм. и доп., принятыми на респ. референдумах 24 нояб. 1996 г. и 17 окт. 2004 г. – Минск: Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2016. – 62 с.

20. О некоторых вопросах предотвращения деградации земель (включая почвы) / Постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 29 апр. 2015 г. № 361 // Национальный правовой интернет-портал Респ. Беларусь, 06.05.2015, 5/40478. – Минск, 2016. – 14 с.

21. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. / Национальная комиссия по устойчивому развитию Респ. Беларусь; редколл.: Я. М. Александрович [и др.]. – Минск: Юнипак, 2004. – 200 с.

22. *Иванов, А. В.* Семантическая модель описания почв и почвенная информационная система / А. В. Иванов, Н. Н. Рыбальский // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2012. – Т. 2. – № 122. – С. 55–64.

23. *Сапожников, П. М.* Методология создания информационного ресурса для целей оценки, контроля и мониторинга состояния земель сельскохозяйственного назначения / П. М. Сапожников, В. С. Столбовой // Имущественные отношения в РФ. – № 10(133). – 2012. – С. 82–91.

24. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0 / под ред. А. Л. Иванова, С. А. Шобы; отв. ред. В. С. Столбовой. – М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева РАН, Тула: Гриф и К, 2014. – 768 с.

25. *Глазунов, Г. П.* Программные средства информационно-справочной системы для агроэкологической оценки земель / Г. П. Глазунов, Н. В. Афонченко, А. И. Санжаров // Вестник Курской ГСХА. Сельское и лесное хозяйство. – 2016. – № 8. – С. 58–63.

26. Экологический паспорт почвы и база данных как информационное обеспечение особой охраны естественных почв Беларуси / О.В. Матыченкова [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57) – С. 32–47.

27. Мировая коррелятивная база почвенных ресурсов 2014, исправл. и доп. версия 2015. Междунар. система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт // Доклады о мировых почвенных ресурсах №106. ФАО, Рим / Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций, МГУ им. М. В. Ломоносова; науч. ред. перевода М. И. Герасимова, П. В. Красильников. – Рим, 2018. – 278 с.

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION AND FUNCTIONING OF REFERENCE ANALYTICAL SYSTEM ELECTRONIC SOIL REGISTER OF BELARUS

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

Summary

The demand for online access to information on agricultural land soils actualizes the question about the development of reference analytical system "Electronic Soil Register of Belarus". The article contains the regulatory justification for the formation of the register and the scientific and methodological bases for its construction.

Поступила 20.03.2020

ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВ И СОЗДАНИЯ ПОЧВЕННО- ЭРОЗИОННОЙ КАРТЫ БЕЛАРУСИ

Л. И. Шибут, Н. Н. Цыбулько, Т. Н. Азаренок, И. И. Жукова

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

Изучение эродированности почвенного покрова сельскохозяйственных земель в Беларуси тесно связано с началом крупномасштабного (в масштабе 1:10 000) картографирования почв в хозяйствах республики (1957 г.). Особенно широко развернулись работы по изучению эрозии почв и разработке методики их картографирования в 1963 г., когда в Белорусском НИИ почвоведения и агрохимии (сейчас РУП «Институт почвоведения и агрохимии») был создан отдел эрозии почв. Если при картографировании почв в первом туре почвенно-геоботанических обследований (1957–1964 гг.) эродированные почвы не выделялись отдельными контурами, а чаще показывались условными знаками (красными стрелками) без оконтуривания (в первые годы почвенных обследований эрозия вообще не показывалась на почвенных картах), то уже во втором туре почвенных обследований хозяйств (1968–1986 гг.) проводилось более детальное и тщательное обследование эродированных земель. На почвенную карту наносились все контура эродированных почв с указанием степени эродированности. Для каждого из хозяйств, где эродированные почвы занимали более 10 % площади пашни, составлялись отдельные карты (карты эродированных земель) с выделением на них категорий земель по степени подверженности почв водной и ветровой эрозии (дефляции) и по интенсивности проведения на них противоэрозионных мероприятий. Всего было выделено семь категорий земель: 1) незэродированные; 2) эрозионноопасные; 3) слабоэродированные; 4) среднеэродированные; 5) сильноэродированные; 6) очень сильноэродированные; 7) непригодные для сельскохозяйственного использования [1–3].

Такая методика картографирования эродированных почв позволила с высокой достоверностью установить их фактические площади в хозяйствах, обобщить их по районам, областям и в целом по республике. Наличие и распространение эродированных почв уточнялось и при всех последующих обследованиях и корректировках почвенных материалов [4–10]. В настоящее время в составе сельскохозяйственных земель они занимают 556,5 тыс. га (7,2 %). Основная площадь эродированных почв сосредоточена на пахотных землях, где они занимают 479,5 тыс. га (9,4 %). Распределение этих почв по областям и по типам эрозии (водная, ветровая) в составе сельскохозяйственных земель приведено в таблице [11–12].

Таблица

Эродированность почв по областям (сельскохозяйственные земли)

Область	Площади эродированных земель			
	Всего		В том числе	
	тыс. га	%	водная, %	ветровая, %
Брестская	50,9	4,1	3,2	0,9
Витебская	121,1	9,2	8,9	0,3

Область	Площади эродированных земель			
	Всего		В том числе	
	тыс. га	%	водная, %	ветровая, %
Гомельская	33,7	2,7	1,0	1,7
Гродненская	107,1	9,7	7,8	1,9
Минская	130,6	8,3	7,0	1,3
Могилевская	113,0	9,1	8,9	0,2
По республике	556,5	7,2	6,1	1,1

Данные о площадях эродированных почв на протяжении всего этого времени использовались для характеристики почвенного покрова, оценки их состояния по регионам Беларуси, бонитировки и кадастровой оценки земель, охраны почв, проектирования противозерозионных мероприятий [13–15]. Учет эрозии почв при оценке земель позволяет определить не только ее влияние на плодородие почв и выразить его в баллах, но и установить резерв его увеличения за счет выполнения рекомендуемых мероприятий [16]. Однако всех этих материалов недостаточно, чтобы наглядно оценить эрозионную ситуацию в пределах всей республики, степень и характер эродированности почв в отдельных регионах и административных областях. Поэтому на определенном этапе картографирования и изучения эродированных почв возникала необходимость составления карт или картосхем эродированных земель в масштабе всей республики с выделением однотипных территорий или районов в отношении проявления эрозии почв.

Первая схематическая карта «Эрозия почв в БССР», на которой показаны эрозионные районы, была составлена В. В. Жилко и А. И. Паярской в 1968 г. [17]. Впоследствии она была опубликована в монографии «Почвы Белорусской ССР» [3]. На основании анализа основных факторов (рельеф, климат, почвообразующие породы, почвы), от которых зависит проявление эрозии, различного соотношения водной (плоскостной и линейной) и ветровой эрозии, степени их проявления, на территории Беларуси ими были выделены шесть почвенно-эрозионных районов, дано их краткое описание, характеристика по различным показателям, установлены площади:

- 1) район проявления линейной и сильной плоскостной эрозии (занимает 6,1 % территории Беларуси);
- 2) район проявления сильной плоскостной эрозии (6,7 %);
- 3) район проявления средней плоскостной и слабой линейной эрозии (17,0 %);
- 4) район проявления средней плоскостной эрозии (5,6 %);
- 5) район проявления слабой плоскостной эрозии (23,8 %);
- 6) районы, не опасные для водной эрозии, но где может развиваться ветровая эрозия (40,8 %).

Но эта картосхема не нашла широкого применения на практике, так как имела существенные недостатки. При ее построении практически не учитывались площади эродированных почв, границы почвенных разновидностей, что не позволило с достаточной точностью отразить закономерности развития эрозионных процессов.

Поэтому после завершения второго тура почвенных обследований, в результате которого получены фактические данные по площадям эродированных почв

по всем хозяйствам, была поставлена задача составить почвенно-эрозионную карту на основе этих новых данных и увязать контура эродированных земель с границами почвенных разновидностей.

Для составления почвенно-эрозионной карты принят масштаб 1 : 600 000, так как карта такого масштаба в те годы являлась наиболее удобной для оценки общей эрозионной обстановки на всей территории республики и планирования комплекса противозерозионных мероприятий в различных регионах. Она давала возможность наглядно оценить эрозионную ситуацию, размеры и степень эродированности почв на сельскохозяйственных землях. К этому времени сотрудники института Н. И. Смейян и И. Н. Соловей составили и издали Почвенную карту Белорусской ССР в этом же масштабе [18], которая и явилась основой для почвенно-эрозионной карты. В 80-е гг. начали проводиться работы по составлению районных почвенных карт по второму туру почвенного обследования, на которых достаточно полно и объективно отражены почвы различной степени эродированности [19].

Исходя из поставленной задачи, в Белорусском НИИ почвоведения и агрохимии была разработана методика составления почвенно-эрозионной карты [20, 21], основные положения которой заключались в следующем:

- Исходными данными для карты явились фактические площади эродированных и дефлированных почв в разрезе хозяйств, полученные в результате второго тура крупномасштабных почвенных обследований.

- Проявление эрозии на карте отражалось на типовом и видовом уровнях. На типовом уровне выделялась водная и ветровая эрозия. Интенсивность проявления эрозии показывалась на карте на видовом уровне с выделением четырех степеней: слабая (доля эродированных почв в составе сельскохозяйственных земель – 1,0–5,0 %), средняя (5,1–10,0 %), сильная (10,1–20,0 %), очень сильная (более 20 %).

- Территории, в почвенном покрове которых общая площадь эродированных и дефлированных почв менее 1,0 %, относились к практически незероированным и недефлированным.

- Земли, занятые лесной, естественной луговой и болотной растительностью, где эрозия почв практически не проявляется, показывались на карте как соответствующие угодья.

- Степень интенсивности водной эрозии и дефляции определялась по процентному участию эродированных и дефлированных почв в общей площади сельскохозяйственных земель. При определении площади эродированных почв в хозяйствах проводился пересчет средне- и сильноэродированных почв в так называемые условные (или пересчетные) слабоэродированные почвы. Для этого фактические площади среднеэродированных почв умножались на коэффициент 1,29, а сильноэродированных – на 1,73. Эти коэффициенты были установлены на основании снижения урожайности на средне- и сильноэродированных почвах по сравнению со слабоэродированными (по методике проводимого в то время третьего тура бонитировки почв [22]). Полученные площади суммировались со слабоэродированными почвами и определялась общая (пересчетная) площадь эродированных почв, на основании которой и устанавливалась степень их эродированности.

- Далее составлялась картосхема эродированности по хозяйствам. Для этого на картографическую основу с нанесенной естественной растительностью (леса,

болота и луга) и границами землепользователей в пределах каждого хозяйства условными знаками показывались тип и степень эродированности почв. Хозяйства с одинаковой степенью эродированности и дефлированности почв объединялись в эрозионные контуры.

- Полученные эрозионные контуры сопоставлялись с гипсометрической картой для уточнения контуров по границам основных форм рельефа и с почвенной картой масштаба 1 : 600 000 [18], где они еще раз уточнялись с учетом типа почв и их гранулометрического состава. За основу почвенно-эрозионного контура принимался почвенный контур.

На основании этой методики в 1990–1994 гг. в Белорусском НИИ почвоведения и агрохимии были составлены областные почвенно-эрозионные карты, а затем сводная (обобщающая) почвенно-эрозионная карта Беларуси в масштабе 1 : 600 000 и подготовлена пояснительная записка к ней, в которой изложена история изучения и картографирования эродированных почв на территории Беларуси, приведены классификация и диагностические признаки эродированных и дефлированных почв, представлена методика составления почвенно-эрозионной карты, дан анализ ее содержания (характеристика и распространение эродированных почв по областям и административным районам).

Все работы по разработке методики и составлению карт были выполнены в секторе методики картографирования и бонитировки почв (Н. И. Смяян, Л. И. Шибут) и в секторе почвозащитного земледелия (отдел эрозии почв) (А. Ф. Черныш, В. В. Жилко, Л. А. Тишук, И. И. Жукова) [20, 21, 23].

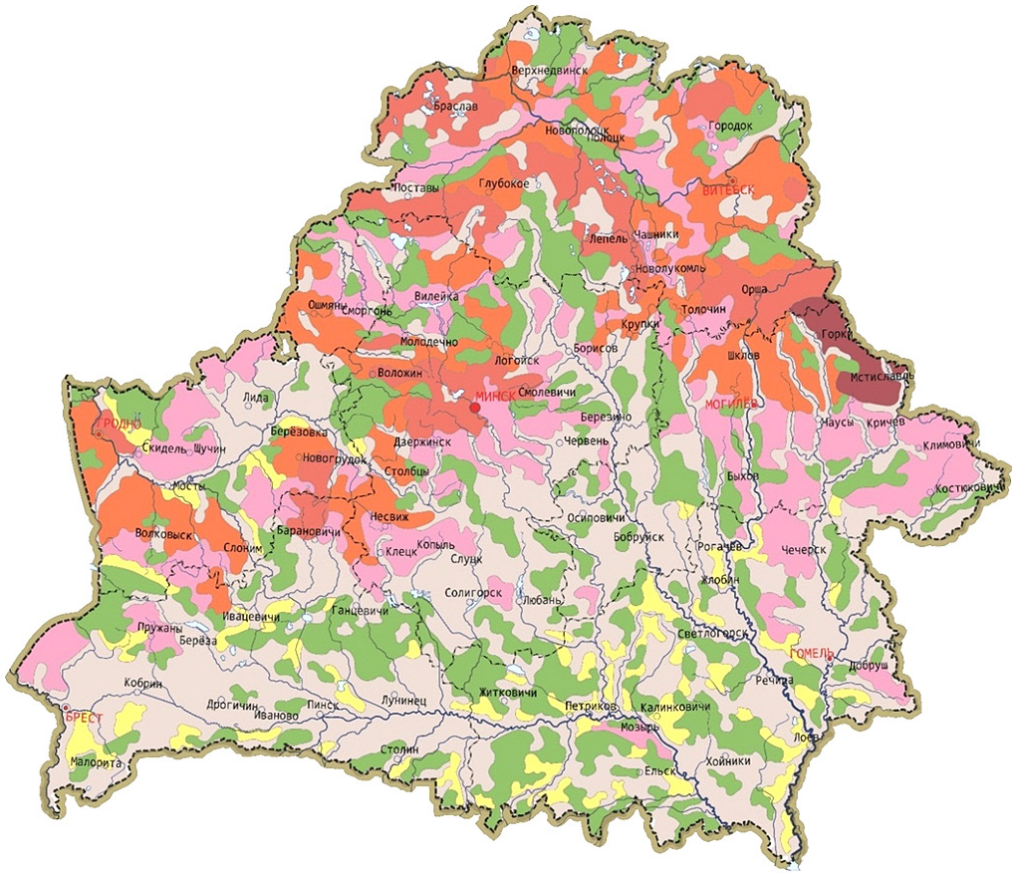
Уменьшенный и значительно генерализованный вариант почвенно-эрозионной карты в масштабе 1 : 3 000 000 был опубликован в Национальном атласе Беларуси в 2002 г., а затем и в Атласе почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь в 2017 г. [24, 25] (рис.).

Эта карта с некоторыми уточнениями и дополнениями, согласно комплексной программе и методике, разработанной Почвенным институтом им. В. В. Докучаева, вошла составной частью в Государственную почвенно-эрозионную карту России и сопредельных стран масштаба 1 : 2,5 млн, которая была издана в Москве в 2001 г. [26].

Так как степень эродированности земель в значительной степени связана с рельефом, то и распространение контуров эродированных земель, выделенных на почвенно-эрозионной карте, привязано также и к основным геоморфологическим районам (возвышенностям, грядам, равнинам, низинам и т. д.). Названия геоморфологических районов приведены по геоморфологическому районированию О. Ф. Якушко (1999) [27].

Очень сильноэродированные территории, где эродированные почвы занимают более 20 % сельскохозяйственных земель, приурочены к наиболее повышенным частям Горецко-Мстиславской возвышенности (Мстиславский, Горецкий и южная часть Дубровенского района) с дерново-палево-подзолистыми суглинистыми почвами, развивающимися преимущественно на мощных лессах.

Сильноэродированные территории (эродировано 10,1–20,0 % сельскохозяйственных земель) характерны для районов и отдельных частей Минской, Новогрудской, восточной части Гродненской, Оршанской, Браславской, Городокской, Ушачской возвышенностей, Свенцянской гряды – с сильно расчлененным рельефом на мощных лессовидных и моренных суглинках и связных супесях.



Типы эрозии и интенсивность ее проявления на сельскохозяйственных землях

Степень эродированности почвенного покрова	Доля эродированных почв в составе сельскохозяйственных земель, %	Степень дефлированности почвенного покрова	Доля дефлированных почв в составе сельскохозяйственных земель, %
Слабая	1,0–5,0	Слабая	1,0–5,0
Средняя	5,1–10,0		
Сильная	10,1–20,0		
Очень сильная	>20,0		



Территории с практически неэродированным и недефлированным почвенным покровом (эродированность почв отсутствует или <math>< 1,0\%</math>)



Лесные и прочие лесопокрываемые земли

Рис. Почвенно-эрозионная карта Беларуси

Среднеэродированные территории (эродировано 5,1–10,0 % сельскохозяйственных земель) приурочены к Гродненской (западная часть), Волковысской, Слонимской, Ошмянской, Новогрудской (северная часть), Минской (северная часть), Витебской и Россонской возвышенностей, Копыльской и Коссовской гряды, Столбцовской и Могилевской равнины с более сглаженным и менее расчлененным рельефом и дерново-подзолистыми почвами, развивающимися на лессовидных, водно-ледниковых, моренных суглинках и супесях, подстилаемых моренными суглинками, иногда песками.

Территории сельскохозяйственных земель со слабой эродированностью (1,0–5,0 %) занимают пологие склоны слабоволнистого рельефа, с почвами различного генезиса, гранулометрического состава и подстилания. Сюда относятся более выровненные и пониженные территории некоторых возвышенностей и гряд, примыкающие к равнинным пространствам (западная часть Новогрудской возвышенности, южная часть Копыльской гряды, южная часть Минской возвышенности, Мозырская возвышенность), а также территории некоторых донно-моренных и водно-ледниковых равнин и низин: Лидская равнина, Нарочанско-Вилейская равнина, Высоковская (Прибугская) равнина, Пружанская равнина, Славгородская, Костюковичская, Чечерская равнина, Полоцкая низина, Шумилинская, Сенненская, Чашникская равнина и некоторые другие территории со слабохолмистым рельефом.

Среди дефлированных почв на почвенно-эрозионной карте в этом масштабе выделены только слабдефлированные почвы. Они распространены преимущественно в южных и западных районах страны на легких (песчаных и рыхлосупесчаных), а также осушенных торфяных почвах Полесской и Неманской низменностей.

Почвенно-эрозионная карта Беларуси в масштабе 1 : 600 000 в то время не была опубликована. Только в 2015 г. она была издана Государственным комитетом по имуществу Республики Беларусь (РУП «Белкартография») как учебное наглядное пособие для учреждений высшего образования естественнонаучного профиля в масштабе 1 : 500 000 [28]. Эта карта была составлена на основе почвенно-эрозионной карты М 1 : 600 000 с отдельными уточнениями и изменениями контуров эродированных земель и степеней эродированности, установленными в результате корректировки материалов второго тура почвенного обследования, и осушенных земель [5, 9].

Таким образом, почвенно-эрозионная карта дает наглядное представление о распространении в пределах Беларуси основных типов эрозии и интенсивности ее проявления на различных почвах. Она служит важным научно-картографическим документом при разработке мероприятий по охране земель, планированию противоэрозионных работ, решении вопросов повышения плодородия почв и трансформации сельскохозяйственных земель. В связи с этим в последние годы она была опубликована в ряде пособий, рекомендаций, методик, статей по общей характеристике почв Беларуси, а также по использованию и повышению плодородия эродированных, в том числе и загрязненных радионуклидами, почв [25, 29–32]. Кроме того, карта учитывалась при проведении почвенно-экологического, сельскохозяйственного и других видов районирования республики, при прогнозировании развития процессов водной и ветровой эрозии. Она используется в качестве учебного наглядного пособия в высших и средних специальных учебных заведениях сельскохозяйственного, географического, экологического профиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Медведев, А. Г.* Руководство по почвенному исследованию земель колхозов и совхозов БССР / А. Г. Медведев, Н. П. Булгаков, Ю. И. Гавриленко; под ред. И. С. Лупиновича. – Минск, 1960. – 176 с.
2. Методические указания по почвенно-геоботаническим и агрохимическим крупномасштабным исследованиям в БССР / под ред. Н. И. Смяна и И. Н. Соловей. – Минск: Ураджай, 1973. – 299 с.
3. *Медведев, А. Г.* Эродированные почвы и их использование / А. Г. Медведев, В. В. Жилко // Почвы Белорусской ССР / под ред. Т. Н. Кулаковской, П. П. Рогового, Н. И. Смяна. – Минск: Ураджай, 1974. – С. 197–213
4. Указания по обобщению материалов второго тура почвенно-геоботанических обследований земель колхозов и госхозов и почвенно-агрохимических обследований земель Гослесфонда БССР. Составление таблиц площадей почв / Г. М. Мороз [и др.]. – Белгипрозем, БелНИИПА, Западный отдел ГИЗР. – Минск, 1986. – 40 с.
5. Временные указания по корректировке материалов крупномасштабных почвенных обследований / И. И. Бубен [и др.]. – Белгипрозем, БелНИИПА, Западный отдел ГИЗР. – Минск, 1987. – 27 с.
6. Полевое исследование и картографирование почв БССР: метод. указания / под ред. Н. И. Смяна, Т. Н. Пучкаревой, Г. А. Ржеутской. – Минск: Ураджай, 1990. – 219 с.
7. Методические указания по составлению районных почвенных карт и подсчету площадей почв (по данным корректировки почвенных материалов) / Ин-т почвоведения и агрохимии; Проектный ин-т Белгипрозем. – Минск, 1999. – 34 с.
8. Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования) / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси; Проектный ин-т Белгипрозем. – Минск, 2003. – 43 с.
9. Методические указания по корректировке почвенных материалов осушенных и прилегающих к ним земель в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь / Ин-т почвоведения и агрохимии; Проектный ин-т Белгипрозем. – Минск, 2005. – 17 с.
10. Примерный номенклатурный список почв Республики Беларусь (для целей крупномасштабного картографирования и кадастровой оценки сельскохозяйственных земель) / Ин-т почвоведения и агрохимии; Проектный ин-т Белгипрозем. – Минск, 2013. – 63 с.
11. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.
12. Эрозионная деградация почв Беларуси / Н. Н. Цыбулько [и др.] // Земледелие и защита растений. – Приложение к журналу № 2, 2018. – С. 19–26.
13. *Смян, Н. И.* Учет эродированности почв при кадастровой оценке земель в Беларуси / Н. И. Смян, Л. И. Шибут, А. Ф. Черныш // Теоретические и прикладные вопросы изучения и использования почвенно-земельных ресурсов: тезисы Междунар. науч.-практ. конф. посвящ. 70-летию кафедры почвоведения БГУ, 16–20 сент. 2003 г., Минск; редкол. В. С. Аношко (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Изд. центр БГУ, 2003. – С. 189–191.
14. Проектирование противозерозионных комплексов и использование эрозионноопасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси. Рекомендации / Ин-т

почвоведения и агрохимии НАН Беларуси; под общ. ред. А. Ф. Черныша. – Минск, 2005. – 52 с.

15. Методические указания по прогнозированию водно-эрозионных и дефляционных процессов на обрабатываемых землях Беларуси / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси; А. Ф. Черныш [и др.]. – Минск, 2006. – 44 с.

16. *Лапа, В. В.* Перспективы повышения плодородия почв пахотных земель Беларуси (по материалам второго тура кадастровой оценки) / В. В. Лапа, Л. И. Шибут, Т. Н. Азаренок // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2 (61). – С. 7–14.

17. *Жилко, В. В.* Водная эрозия почв в БССР / В. В. Жилко, А. И. Паярскайте // Эрозия почв и борьба с ней; под общ. ред. А. Г. Медведева. – Минск: Урожай, 1968. – С. 31–37.

18. Почвенная карта Белорусской ССР, М 1:600 000 / под общ. ред. Т. Н. Кулаковской, П. П. Рогового. – М., 1977.

19. Указания по составлению районных почвенных материалов / Н. И. Смяян [и др.]; под ред. Н. И. Смяяна; БелНИИ почвоведения и агрохимии, Белгипрозем. – Минск, 1981. – 68 с.

20. Методика составления почвенно-эрозионной карты Белорусской ССР масштаба 1:600 000: отчет о НИР / БелНИИ почвоведения и агрохимии; рук. темы Н. И. Смяян. – Минск, 1989. – 17 с.

21. Методические аспекты отражения эродированных почв Республики Беларусь на карте масштаба 1:600 000 / Н. И. Смяян [и др.] // Почвенные исследования и применение удобрений. – Минск, 1995. – Вып. 23. – С. 13–17.

22. Оценка плодородия почв Белоруссии / Н. И. Смяян [и др.]; под общ. ред. Н. И. Смяяна. – Минск: Ураджай, 1989. – 359 с.

23. Эродированные почвы Республики Беларусь, их картографирование, охрана и рациональное использование (пояснительная записка к почвенно-эрозионной карте Республики Беларусь масштаба 1:600 000): отчет о НИР / БелНИИ почвоведения и агрохимии; рук. темы Н. И. Смяян. – Минск, 1994. – 50 с.

24. Эрозія глебаў. М 1:3 000 000 / М. І. Смяян [і інш.] // Нацыянальны атлас Беларусі. – Минск, 2002. – С. 103.

25. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапы, А. Ф. Черныша; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 146 с.

26. Эрозия почв России и сопредельных стран / А. Н. Каштанов [и др.]; под общ. ред. акад. РАСХН А. Н. Каштанова, акад. РАСХН Л. Л. Шишова. – М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2001. – 58 с. (Пояснительная записка к Государственной почвенно-эрозионной карте России и сопредельных стран М 1:2,5 млн).

27. *Якушко, О. Ф.* Геоморфология Беларуси: Учебное пособие для студентов географических и геологических специальностей / О. Ф. Якушко, Л. В. Марьяна, Ю. Н. Емельянов. – Минск: БГУ, 1999. – 173 с.

28. *Черныш, А. Ф.* Республика Беларусь. Почвенно-эрозионная карта. М 1:500 000: учебное наглядное пособие для ВУЗов / А. Ф. Черныш, Л. И. Шибут, И. И. Жукова. – Минск: Белкартография, 2015.

29. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия – Беларусь) / под ред. Ю. А. Израэля, И. М. Богдевича. – М.: Инфосфера – НИА – Природа; Минск: Белкартография, 2009. – С. 89.

30. 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, Госкомимущество, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – С. 29.

31. *Цыбулько, Н. Н.* Обработка почвы в эрозионных и загрязненных радионуклидами агроландшафтах / Н. Н. Цыбулько, А. Ф. Черныш; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2014. – С. 55.

32. Экологически безопасное и эффективное использование эрозионноопасных земель Беларуси в интенсивных системах земледелия / А. Ф. Черныш [и др.] // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов, 3-е изд., доп. и перераб. / НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – С. 43–66.

HISTORICAL ASPECTS OF ERODED SOILS MAPPING AND CREATION OF SOIL-EROZION MAP OF BELARUS

L. I. Shibut, N. N. Tsybulko, T. N. Azarenok, I. I. Zhukova

Summary

Mapping and occurrence of eroded soils in different regions of Belarus were analyzed in the paper. A soil-erosion map composed in Research Institute for Soil Science and Agrochemistry shows the types of erosion (water and wind) as well as the intensity of its manifestation (weak, medium, strong and very strong) on agricultural lands. The methodology of soil-erosion map's preparation and its implementation in agriculture are described.

Поступила 20.04.2020

УДК 631.6.02(476)

ПОДЗОЛИСТЫЕ ПОЧВЫ – УНИКАЛЬНЫЕ ПОЧВЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Почвенный покров как наиболее динамически изменяющийся компонент экосистем определяет их функционирование и экологическую устойчивость, является одним из ключевых факторов формирования и сохранения биологического разнообразия природных комплексов. Кроме того, почвы – уникальный природный ресурс, отражающий природную составляющую качества земельных ресурсов.

Используя почву в качестве объекта труда и средства производства, человек активно вмешивается в почвообразовательный процесс и изменяет естественные условия почвообразования, вследствие чего почва как природный объект эволюционирует, переходит из одного типа в другой, а некоторые почвенные объекты вообще могут исчезнуть с лица земли. Антропогенное воздействие на почвы и почвенный покров приобретает превалирующий характер, а компонентный состав почвенного покрова Беларуси характеризуется различной степенью антропогенного преобразования. Это находит отражение в современных научных трудах белорусских и зарубежных ученых [1–9]. Это послужило основанием для изучения условий формирования, состава, свойств редких и уникальных почв республики и разработки картографического материала, содержащего сведения об их распространении в пределах почвенных провинций и почвенно-экологических районов (ПЭР). Исследования проводились при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (Б18-063).

В секторе агропочвоведения, цифрового картографирования и оценки почв накоплена уникальная информация о почвах, их составах и свойствах, которая использовалась при создании базы данных эталонов естественных почв республики и их агроестественных аналогов, а также был составлен список почв (эталон) первоочередной особой охраны в рамках существующих заказников и заповедников, но это были типичные представители почвенного покрова изучаемых регионов, а в результате многообразного сочетания факторов почвообразования, изменяющихся в широком диапазоне, на территории республики сформировались сотни почвенных разностей, отличающихся морфологическим строением, составом, свойствами, режимами, биогеоценотическими функциями, экологическим потенциалом. Согласно «Примерному номенклатурному списку...» все разнообразие почвенного покрова нашей страны представлено 443 наименованиями без учета генезиса и гранулометрического состава почвообразующих пород для минеральных почв и ботанического состава для органогенных, а также характера строения почвенного профиля [10–12].

Анализируя имеющиеся, а также полученные при инвентаризации сведения о компонентном составе почвенного покрова ПЭР в качестве претендента на включение в реестр редких и уникальных почв на типовом уровне были выбраны подзолистые почвы. Согласно критериям, они относятся к уникальным, так как занимают менее 3 % территории республики, а также их сельскохозяйственное освоение ведет к угрозе полного исчезновения в целинном состоянии. Систематизация сведений о распространении подзолистых почв показала, что исследуемые почвы при крупномасштабном почвенном картографировании зачастую отображались как дерново-подзолистые почвы, а на почвенных картах районного, областного и республиканского уровня терялись при генерализации информации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основой проведения исследований по установлению редких и уникальных почв явилось почвенно-экологическое районирование, разработанное в РУП «Институт почвоведения и агрохимии». Выделение почвенно-экологических провинций и районов основывалось на учете характера почвенного покрова (тип почв, грану-

лометрический состав, степень увлажнения), рельефа территории, агроклиматических условий и др.

Предметом исследований послужил массив данных, характеризующий составы и свойства типов почв различного гранулометрического состава и степени увлажнения, находящийся в разных информационных источниках (фондовые материалы РУП «Институт почвоведения и агрохимии», материалы крупномасштабного почвенного картографирования УП «Проектный институт Белгипрозем», Почвенная Информационная Система Беларуси, литературные источники).

Методологической основой явились картографический, профилно-морфологический, профилно-аналитический методы. Инвентаризация информации о почвенном покрове, его систематизация и анализ проводилась с применением ГИС-технологий, программных пакетов Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Подзолистые почвы формируются в различных климатических условиях на разных по минералогическому и гранулометрическому составу преимущественно рыхлых почвообразующих породах. Согласно исследованиям, проведенным в 70–80-х гг. двадцатого столетия подзолы встречаются повсеместно на территории европейской части бывшего СССР а также в Сибири, Забайкалье, Якутии [13–14].

Термин «подзол» был закреплен в науке В. В. Докучаевым, который изучал эти почвы с 1875 г. Он взят из народного лексикона Смоленской губернии, происходил от обычного для крестьян того региона опыта, при котором первая вспашка целины обнажает золоподобный слой почвы.

По классификации почв, разработанной в Почвенном институте им. В. В. Докучаева в 1977 г. подзолистые почвы были объединены с дерново-подзолистыми, но уже в 1980 г. при уточнении классификации почв республики Н. И. Смеян [15] вынес их в самостоятельный тип. Подзолистые почвы формируются под влиянием промывного водного режима, характерной особенностью которого является разрушение первичных и вторичных глинистых минералов и перенос продуктов их распада в нижние горизонты почв и в грунтовые воды. В результате этого формируются два основных горизонта – элювиальный и иллювиально-текстурный. Оподзоливание почв начинается практически с самого верха, непосредственно под подстилкой. В отдельных случаях в верхней части элювиального горизонта может происходить накопление органического вещества в виде гумуса, с образованием переходного горизонта A_1A_2 , мощность которого в среднем не превышает 6–10 см.

Подзолистые почвы встречаются небольшими участками практически на всей территории республики, но основные площади сосредоточены на юге и юго-западе страны. Уникальные почвенные объекты нами были выделены в пределах Центральной и Южной почвенно-экологических провинций.

Центральная провинция – это зона развития заметно денудированного преимущественно ледниково-аккумулятивного рельефа сожского оледенения. Здесь сформировался водораздел между притоками рек Немана и Днепра – грядово-холмистая Белорусская гряда, которая пересекает территорию Беларуси с северо-востока на юго-запад и является продолжением Среднерусской возвышенности. В целом здесь преобладают автоморфные дерново-подзолистые почвы. Почти

во всех почвенно-экологических районах данного региона автоморфные почвы составляют более 60 % площади пахотных земель. Основная часть территории провинции распахана и используется для сельскохозяйственного производства. По административным районам доля сельскохозяйственных земель составляет в среднем 48 % от общей площади и колеблется в пределах от 35 до 70 %.

В результате проведенных исследований на территории Горецкого лесничества был заложен объект, характеризующий типичную подзолистую почву, он уникален тем, что сформирован на связных почвообразующих породах (рис. 1).

Разрез 3М заложен в пределах Оршанско-Мстиславского ПЭР, Горецкое лесничество Могилевской области. Лесные земли.



- A₀, 0–6 – лесная подстилка темно-бурого цвета, состоит из остатков хвои, веточек, сырая, рыхлая;
- A₁A₂, 6–20 – гумусово-элювиальный горизонт светло-серого цвета, пронизан корнями растений, сырой, слегка уплотнен, пластинчатой структуры, переход в нижележащий горизонт постепенный, лессовидный суглинок легкий;
- A₂, 20–32 – элювиальный горизонт белесого цвета с отдельными пятнышками коричневатого цвета, сырой, уплотненный, листовато-пластинчатой структуры, переход заметный, неровный, лессовидный суглинок легкий;
- A₂B₁, 32–52 – элювиально-иллювиальный горизонт светло-коричневого цвета с белесым оттенком, сырой, уплотненный, ореховатой структуры, переход в нижележащий горизонт постепенный, лессовидный суглинок легкий;
- B₂, 52–80 – иллювиальный горизонт светло-коричневого цвета, сырой, уплотненный, ореховатой структуры, переход в нижележащий горизонт постепенный, лессовидный суглинок легкий;
- BC, 80–130 – переходный к почвообразующей породе горизонт коричневого цвета, сырой, уплотненный, ореховатой структуры, лессовидный суглинок легкий.

Рис. 1. Подзолистая типичная, развивающаяся на мощных лессовидных суглинках, легкосуглинистая (Albeluvisols (Dystric)) почва

Исследования российских и белорусских ученых [13–15] по диагностике подзолистых почв показывают, что важной особенностью этих почв является отсутствие четко выраженного гумусово-аккумулятивного горизонта и наличие под слоем лесной подстилки горизонта белесого цвета, отличающегося низким содержанием питательных веществ, кислой реакцией и физическими свойствами весьма неблагоприятными с агрономической точки зрения. В связи с относительным увеличением содержания кварца, который кислотами практически не разрушается и в нижние горизонты не мигрирует, подзолистый горизонт приобретает белесый цвет. Под подзолистым горизонтом образуется иллювиальный горизонт. Этот горизонт обогащен илистыми частицами, полуторными оксидами железа и алюминия. Окраска иллювиального горизонта обычно бурая, как правило, он уплотнен.

В табл. 1, 2 приведены данные физико-химических, агрохимических свойств и гранулометрический состав разреза 3М.

Подзолистые почвы, образованные на связных почвообразующих породах, характеризуются следующими показателями: содержание гумуса – 1–2 % в горизонте A_1A_2 и часто лишь его следы в горизонте A_2 , кислая реакция (pH_{KCl} 4,0–4,5), низкая емкость поглощения (от 1,2 до 12 смоль(+) \cdot кг $^{-1}$). Степень насыщенности основаниями в элювиальном горизонте меньше 50 %, низкая обеспеченность элементами питания растений, неблагоприятные физические свойства. Для сельскохозяйственных целей они являются непригодными, а лесные насаждения на таких почвах высокопродуктивны, как правило, это сосняки мшистые и ельнички-черничники, I и II класса бонитета.

На связных почвообразующих породах почвенные горизонты прослеживаются более четко по сравнению с почвами, сформированными на рыхлых породах.

По данным Т. А. Соколовой [16], суглинистые подзолистые почвы отчетливо дифференцированы по содержанию и по минералогическому составу илистой фракции и чаще всего характеризуются элювиальным распределением ила. На фоне обеднения илом элювиальных горизонтов илистая фракция в этих горизонтах характеризуется повышенным содержанием каолинита и присутствием двух минералов, которых не было в почвообразующей породе, – вермикулита в самой верхней части элювиальной толщи и почвенного хлорита в средней и нижней части элювиального горизонта. В горизонте Bt в составе илистой фракции снижается содержание каолинита и одним из преобладающих компонентов становится разбухающий минерал группы смектитов. По всему профилю одним из существенных компонентов ила является иллит.

При вовлечении данных почв в сельскохозяйственный оборот переходят в тип дерново-подзолистых почв.

На территории Южной ПЭП выделен второй уникальный почвенный объект (рис. 2). Южная почвенно-экологическая провинция, согласно территориально-административному делению, расположена в пределах Брестской и Гомельской областей. Почвенный покров на этой территории находится в сфере интенсивного сельскохозяйственного воздействия. На долю сельскохозяйственных земель здесь приходится от 32 до 42 % площади, из них более 60 % распаханы.

В геоморфологическом отношении Белорусское Полесье представляет собой почти однообразную плоскую равнину с абсолютными отметками 120–160 м над уровнем моря, с общим понижением с северо-запада на юго-восток. Своеобразие рельефа определяется широким развитием сильно заболоченных аллювиальных, озерных, озерно-аллювиальных и водно-ледниковых равнин с разнообразными формами эоловой аккумуляции. Характерной особенностью рельефа являются заторфованные ложбинные понижения, пересекающие зону в северо-восточном и субширотном направлении. В целом рельеф имеет небольшую глубину расчленения.

Несмотря на плоский монотонный рельеф и довольно однообразные почвообразующие породы территория Белорусского Полесья характеризуется высокой неоднородностью почвенного покрова.

Подзолистые почвы, образованные на рыхлых почвообразующих породах, распространены преимущественно на надпойменных террасах и зандровых равнинах, сложенных сортированными кварцевыми песками под листовенно-хвойными лесами с мохово-кустарничковым покровом в условиях промывного водного режима на кислых почвообразующих породах. На подтиповом уровне выделяются типичные,

языковатые, мелкопрофильные, иллювиально-гумусовые, иллювиально-железистые, псевдофибровые, ортзандовые, постпахотные. Основными микроморфологическими признаками подзолистых почв является кварцевый, полевошпатово-кварцевый скелет, сложенный полуокатанными, остроугольными сильновыветрелыми трещиноватыми зёрнами, практически лишенными глинистых оболочек.

Морфологическое описание подзолистой почвы, образованной на рыхлых почвообразующих породах, приведено на примере объекта, заложенного на территории Речицкого лесхоза Гомельской области (рис. 2).

Разрез 2М заложен в пределах Жлобинско-Речицко-Хойникского ПЭР на территории Речицкого лесхоза Гомельской области. Водное питание – атмосферное.



- A₀, 0–4 – лесная подстилка бурого цвета, переход в нижележащий горизонт ясный;
- A₁A₂, 4–16 – гумусовый старопашотный горизонт светло-серого цвета с белесоватым оттенком, пронизан корнями растений, сырой, рыхлый, бесструктурный, переход в нижележащий горизонт ясный, карманами, древнеаллювиальный песок связный;
- A₂B₁, 16–41 – элювиально-иллювиальный горизонт светло-желтого цвета с белесоватым оттенком, присутствуют единичные черные марганцевые пунктации, свежий, рыхлый, бесструктурный, переход в нижележащий горизонт постепенный, волнистой линией, песок рыхлый;
- B₂t, 41–100 – иллювиально-текстурный горизонт желтого цвета, заметны прерывистые глинофибровые образования, свежий, рыхлый, бесструктурный, переход в нижележащий горизонт постепенный, размытый, песок рыхлый;
- BC, 100–140 – переходный к почвообразующей породе горизонт светло-желтого цвета, сырой, уплотненный, бесструктурный, песок рыхлый.

Рис. 2. Подзолистая постпахотная, развивающаяся на мощных древнеаллювиальных песках, связнопесчаная (Albeluvisols (Distric, Epianthic))

Данная почва уникальна тем, что ранее она была вовлечена в сельскохозяйственный оборот, а затем переведена в лесные земли. При выводе пахотных земель из оборота под лесными насаждениями верхняя часть пахотного слоя непосредственно под подстилкой превращается в подзолистый горизонт мощностью 5–7 см (вторичное оподзоливание пахотного горизонта).

Из описания и данных агрофизических, химических свойств (табл. 1) видно, что под подстилкой расположен горизонт A₁A₂, в котором происходят процессы оподзоливания. Характеристика гранулометрического состава разреза 2М приведена в табл. 2. Пески, на которых сформировалась почва, отличаются некоторой неоднородностью. Максимум накопления ила наблюдается в верхнем горизонте. Плотность почвы с глубиной увеличивается, это же наблюдалось и на почве, образованной на связных породах (табл. 2). Данные физико-химических и агрохимических анализов показывают, что они имеют кислую реакцию (pH_{KCl} 4,3–5,1), емкость

поглощения (от 1,9 до 5 смоль(+)-кг⁻¹), крайне низкую обеспеченность элементами питания растений. Леса на этих почвах относятся к II–III классам бонитета.

В ходе выполнения работ по изучению редких и уникальных почв нами также были составлены паспорта на каждый почвенный объект, в том числе и на почвы, представленные в данной статье.

Таблица 1

Физические, физико-химические показатели

Генетический горизонт, мощность	Влажность, %	Плотность, г/см ³	Гумус, %	pH _{KCl}	Hr ⁺	S	T	V, %	CaO	MgO	Подвижные формы	
											P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>Подзолистая типичная, развивающаяся на мощных лессовидных суглинках, легкосуглинистая</i>												
A ₀ (0–6)	14,9	0,45	8,52	3,9	4,4	7,0	11,4	61,6	1220	120	53	109
A ₁ A ₂ (6–20)	22,5	0,78	1,75	3,8	2,2	1,2	3,4	35,5	163	24	21	17
A ₂ (20–32)	31,2	1,21	0,50	4,2	0,9	0,4	1,3	31,5	199	44	241	13
A ₂ B ₁ (32–52)	32,3	1,43	0,33	4,0	0,9	9,0	9,9	91,2	1077	147	211	64
B ₂ (52–80)	26,7	1,47	0,31	3,9	0,9	8,4	9,3	90,6	777	116	210	54
BC (80–130)	24,3	1,50	0,22	3,9	0,9	8,0	8,9	90,2	703	122	275	55
<i>Подзолистая постпахотная, развивающаяся на мощных древнеаллювиальных песках, связнопесчаная</i>												
A ₁ A ₂ (4–16)	3,3	1,40	1,21	4,3	3,9	1,2	5,1	23,8	1040	58	79	15
A ₂ B ₁ (16–41)	2,2	1,46	0,48	4,5	1,6	0,4	2,0	20,2	1050	48	95	12
B ₂ t (41–100)	2,7	1,65	0,05	4,9	0,6	0,8	1,4	56,7	880	32	32	6
BC (100–140)	–	–	0,05	5,1	0,7	1,2	1,9	63,2	1460	152	36	12

Таблица 2

Гранулометрический состав

Генетический горизонт, мощность	Размер фракций в мм и их количество в % на абсолютно сухую почву						
	Песок		Пыль крупная (0,05–0,01)	Физическая глина (< 0,01)	В том числе		
	средний (0,5–0,25)	мелкий (0,25–0,05)			пыль средняя (0,01–0,005)	пыль мелкая (0,005–0,001)	ил (<0,001)
<i>Подзолистая типичная, развивающаяся на мощных лессовидных суглинках, легкосуглинистая</i>							
A ₁ A ₂ (6–20)	–	25,1	53,6	21,3	7,3	2,6	11,4
A ₂ (20–32)	–	18,0	60,5	21,5	6,2	6,6	8,7
A ₂ B ₁ (32–52)	–	19,2	51,2	29,6	4,4	3,6	21,6
B ₂ (52–80)	–	15,4	58,1	26,5	4,1	3,6	18,8
BC (80–130)	–	19,0	58,0	23,0	3,8	4,1	15,1
<i>Подзолистая постпахотная, развивающаяся на мощных древнеаллювиальных песках, связнопесчаная</i>							
A ₁ A ₂ (4–16)	26,0	63,9	3,8	6,3	1,6	0,8	3,9
A ₂ B ₁ (16–41)	25,0	67,6	2,7	4,7	1,1	0,4	3,2
B ₂ t (41–100)	26,0	70,9	0,4	2,7	0,1	0,1	2,5
BC (100–140)	14,0	82,4	0,8	2,8	0,1	0,1	2,6

ВЫВОДЫ

Компонентный состав почвенного покрова почвенно-экологических районов и провинций Беларуси в силу естественно-исторических факторов почвообразования и сложных геолого-геоморфологических условий характеризуется достаточной пестротой, обусловленной типовыми различиями, степенью увлажнения почв, гранулометрическим составом почвообразующих и подстилающих пород.

Подзолистые почвы являются уникальными почвенными объектами, знания об условиях формирования, составе и свойствах которых являются важной составляющей для исследований по вопросам поддержания разнообразия почвенного покрова как условия обеспечения видового и популяционного разнообразия флоры и фауны, сохранения почв в качестве носителей памяти ландшафта и человеческой культуры. Важное значение они имеют и в области изучения эволюционных изменений почв и почвенного покрова под влиянием антропогенных воздействий.

Сведения о подзолистых почвах могут быть использованы для образовательных целей студентов по специальностям географического, сельскохозяйственного и экологического направлений для формирования знаний о свойствах, характеристиках, распространении и классификации почв Беларуси, а также специалистами лесохозяйственных организаций при проведении работ по охране и восстановлению лесов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Азаренок, Т. Н.* Эволюция почв и почвенного покрова юга Слуцкой равнины северной части Полесской низменности под влиянием антропогенных факторов: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Т. Н. Азаренок; НИ РУП ИПА. – Мн., 2008. – 165 с.
2. Антропогенная эволюция черноземов / под ред. А. П. Щербакова, И. И. Васенева. – Воронеж, 2000. – 409 с.
3. *Добровольский, Г. В.* Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы / Г. В. Добровольский, Е. Д. Никитин. – М.: Наука, 2000. – 185 с.
4. *Лисица, В. Д.* К вопросу необратимости изменений косной части почв Беларуси в процессе их естественной и техногенной эволюции / В. Д. Лисица, С. В. Шульгина, Д. В. Матыченков // Тез. докл. III съезда Докуч. о-ва почвоведов, Москва, 11–15 авг. 2000 г. / Почв. ин-т им. В.В. Докучаева; редкол.: Г. В. Добровольский, Н. Б. Хитров [и др.]. – Суздаль, 2000. – Кн. II. – С. 340–341.
5. *Матыченков, Д. В.* Агрогенная трансформация дерново-подзолистых почв, сформировавшихся на мощных лессовидных суглинках: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Д. В. Матыченков; НИ РУП ИПА. – Минск, 2003. – 106 с.
6. *Никитин, Б. А.* Окультуривание пахотных почв Нечерноземья и регулирование их плодородия / Б. А. Никитин. – Л.: Агропромиздат, 1986. – 277 с.
7. *Семененко, Н. Н.* Изменение агрохимических свойств и состава азотного фонда дерново-подзолистых суглинистых почв при окультуривании / Н. Н. Семененко, С. А. Тихонов // Почв. исслед. и применение удобрений: межвед. темат. сб. / Белорус. НИИ почвоведения и агрохимии. – Вып. 18. – Минск: Ураджай, 1987. – С. 3-8.

8. *Цытрон, Г. С.* Антропогенно-преобразованные почвы Беларуси / Г. С. Цытрон. – РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2004. – 124 с.
9. Эволюция почв и почвенного покрова пахотных земель Беларуси под влиянием антропогенного фактора / Н. И. Смяян, Г. С. Цытрон, С. В. Шульгина, Т. Н. Азаренок и др. // материалы Всерос. науч. конф., посвящ. 100-летию кафедры почвоведения им. Л. Н. Александровой, Санкт-Петербург – Пушкин, 7–8 дек. 2006 г. / С.-Петерб. гос. агр. ун-т; редкол: В. Н. Ефимов [и др.]. – СПб., 2006. – С. 32–33.
10. Полевая диагностика почв Беларуси. Практическое пособие / Гос ком по имуществу Респ. Беларусь, Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии; под ред. Г. С. Цытрон. – Минск: Учебн центр подгот., повышения квалификации и переподгот. кадров землеустроит. и картографогеодез. службы. – 2011. – 175 с.
11. Примерный номенклатурный список почв Республики Беларусь / Г. С. Цытрон [и др.]. – Минск, 2013. – 64 с.
12. Экологический паспорт почвы и база данных как информационное обеспечение особой охраны естественных почв Беларуси / О. В. Матыченкова [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2 (57) – С. 32–47.
13. Подзолистые почвы запада европейской части СССР / Н. А. Ногина [и др.]; под общ. ред. Н. А. Ногиной, А. А. Роде. – М.: Колос, 1977. – 283 с.
14. Подзолистые почвы центральной и восточной частей европейской территории СССР / Б. Ф. Апарин [и др.]; под ред. А. А. Роде, Н. А. Ногиной. – Л.: Наука, 1981. – 200 с.
15. *Смяян, Н. И.* Пригодность почв БССР под основные сельскохозяйственные культуры / Н. И. Смяян. – Минск: Ураджай, 1980.
16. *Соколова, Т. А.* Глинистые минералы в почвах / Т. А. Соколова, Т. Я. Дронова, И. И. Толпешта. – М.: Гриф и К, 2005. – 336 с.

PODZOLIC SOILS – UNIQUE SOILS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

**O. V. Matychenkova, T. N. Azarenok, S. V. Shul'gina,
D. V. Matychenkov, S. V. Dydyska**

Summary

This article was supported by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research. The article presents the results of research on the study of rare and unique soils of the Republic of Belarus. The study was conducted to establish the conditions for the formation, composition and properties of podzolic soils developing on light and coherent parent rocks and based on the systematization and analysis of the data.

Knowledge of unique soil varieties is the information basis for providing research work on soil conservation, an indispensable component of the biosphere. This information can be used to realization environmental programs.

Information on podzolic soils can be used in educational programs: data on the properties, characteristics, distribution and classification of soils in Belarus, as well as forestry experts.

Поступила 05.05.2020

РОЛЯ АРГАНІЧНЫХ УГНАЕННЯЎ І ВАПНАВАННЯ Ў ФАРМІРАВАННІ СТРУКТУРНАГА СТАНУ І СУПРАЦЬЭРАЗІЙНАЙ УСТОЙЛІВАСЦІ ДЗЯРНОВА- ПАДЗОЛІСТЫХ ЭРАДАВАНЫХ ГЛЕБАЎ, ЯКІЯ РАЗВІВАЮЦЦА НА ЛЕСАПАДОБНЫХ СУГЛІНКАХ

**В. Б. Цырыбка, М. М. Цыбулька, Г. М. Усцінава, І. А. Лагачоў,
І. І. Касьяненка, А. В. Юхнавец, А. А. Міцькова**

*Інстытут глебазнаўства і аграхіміі,
г. Мінск, Беларусь*

УВОДЗІНЫ

Інтэнсіўнае вядзенне сельскагаспадарчай вытворчасці прыводзіць да змены глебавай структуры і яе ўстойлівасці да эразійнай дэградацыі. Добрая структура забяспечвае спрыяльны для росту раслін водны, паветраны і цеплавы рэжымы, спрыяе праходжанню мікрабіялагічных працэсаў і біязнастайнасці глебавай біёты [1].

Ацэнку структуры праводзяць на падставе размеркавання агрэгатаў (паветрана-сухіх і водаўстойлівых) па іх памерах. Высокае ўтрыманне як самых буйных (груды >10 мм), так і самых дробных (пылаватая частка <0,25 мм) агрэгатаў паказвае на неспрыяльны фізічны стан глебы. Агрэгаты памерамі 10–0,25 мм надаюць структуры яе ўнікальны выгляд і вызначаюць урадлівасць. Таму іх і называюць агранамічна каштоўнымі [2].

Пад уплывам эразійных працэсаў адбываецца трансфармацыя профілю дзярнова-падзолістых глебаў. Выразна выяўлены падзолісты гарызонт характэрны толькі для неэрадаваных глебаў. У выніку дэградацыі адбываецца спрашчэнне профілю. Вынас арганічнага рэчыва і пераворванне матэрыялу ілювіяльных гарызонтаў прыводзіць да некаторых зменаў грануламетрычнага складу, фармаванню глыбістага з неспрыяльнай структурай ворнага гарызонту [3].

Структурна-агрэгатны склад аказвае непасрэдны ўплыў на супрацьэразійную ўстойлівасць глебаў. Павышанае ўтрыманне дробных часціц спрыяе мацнейшаму змыванню глебы. Нават пры нязначных хуткасцях паверхневага сцеку дробныя часціцы лягчэй пераходзяць ва ўзважаны стан у патоку і выносяцца апошнім, бо змыў глебы прама прапарцыйны гэтай здольнасці [4].

Найважнейшую ролю ў фарміраванні водаўстойлівых агрэгатаў выконвае ўтрыманне арганічнага рэчыва [5, 6]. Таксама, згодна з літаратурнымі дадзенымі, уплывае на гэты працэс ўтрыманне кальцыю, які ўваходзіць у калоідны комплекс глебаў і абумоўлівае каагуляцыю глебавых калоідаў. Пры насычэнні глебава-паглынальнага комплексу асновамі да 80 % і больш дысперснасць глебы памяншаецца, а фільтраванне вады значна ўзмацняецца. Чым большая колькасць кальцыю ў раствору і ў паглынутым стане, тым больш эфектыўнае яго дзеянне [7–9].

Мэтай даследаванняў з'яўлялася ўстанаўленне ўплыву сістэм угнаенняў на паказчыкі, якія характарызуюць структуру і супрацьэразійную ўстойлівасць дзярнова-падзолістых эрадаваных глебаў, якія развіваюцца на легкіх лесападобных суглінках.

АБ'ЕКТЫ І МЕТАДЫ ДАСЛЕДАВАННЯЎ

Аб'ектамі даследавання з'яўляліся дзярнова-падзолістыя ў рознай ступені эрадавання глебы, сфармаваныя на лесападобных суглінках, стацыянара «Стокавыя пляцоўкі» Мінскага раена Мінскай вобласці, якія прадстаўляюць у геамарфалагічным дачыненні адзіную глебава-эразійную катэну. На водападзельнай раўніне (плакоры) размешчана незрадаваная глеба, у верхняй частцы схілу – сярэднеэрадаваная, у сярэдняй частцы – моцнаэрадаваная, у падножжы схілу – глееватая намытая глеба.

Даследаванні праводзіліся ў звыяне збожжавага севазвароту: авес (2018 г.) – яравы рапс (2019 г.) – яравая пшаніца (2020 г.)

Варыянты вопыту:

1. НРК (фон) – доза вызначаецца планаванай ураджайнасцю культуры і ўтрыманнем элементаў харчавання ў глебе.

2. Фон + вапнаванне.

3. Фон + арганічныя ўгнаенні.

4. Фон + вапнаванне + арганічныя ўгнаенні.

Даламітавая мука ў дозе 6,5 т/га і арганічныя ўгнаенні (падсцілачны гной буйной рагатай жывелы) у дозе 40 т/га унесены восенню 2017 г.

Адбор маналітаў для структурна-агрэгатнага аналізу праводзіўся перад уборкай сельскагаспадарчых культур, калі стан глебы ворных зямель найбольш блізка да раўнаважнага.

У працэсе даследаванняў былі вызначаны паказчыкі, якія характарызуюць структурна-агрэгатны склад ворнага гарызонту глебаў, зыходзячы з дадзеных сухога і мокрага прасейвання, якія вызначаюцца па метадазе Савінава:

- каэфіцыент структурнасці ($K_{стр}$) – адносіны ўтрымання агранамічна каштоўных агрэгатаў (0,25–10 мм) да сумы агрэгатаў >10 і <0,25 мм пры сухім прасейванні;

- водаўстойлівасць па класіфікацыі Качынскага – утрыманне агрэгатаў больш за 0,25 мм пры мокрым прасейванні, %;

- каэфіцыент воднай трываласці ($K_{втр}$) – суадносіны колькасці водаўстойлівых агрэгатаў больш за 0,5 мм (%) пры водным і сухім прасейванні [10].

Выбар гэтых паказчыкаў для характарыстыкі агрэгатаў ворнага гарызонту глебаў абумоўлены тым, што менавіта яны вызначаюць устойлівасць структуры да разбурэння.

Для якаснай ацэнкі структурнага стану глебы выкарыстоўвалі шкалу Даўгова, Качынскага [11, 12] (табл. 1).

Табліца 1

Крытэрыі ацэнкі структурнага стану і водаўстойлівасці глебы

Стан	Каэфіцыент структурнасці	Водаўстойлівасць, %
Добры	Больш за 1,5	75–40
Здавальняючы	1,5–0,67	40–30
Нездавальняючы	Менш за 0,67	Менш за 30 і больш за 75

Таксама праводзіўся адбор спалучаных узораў для вызначэння аграхімічных уласцівасцяў глебаў.

Лабараторна-аналітычныя даследаванні аграхімічных паказчыкаў глебаў выконваліся па наступным метадом: арганічнае рэчыва (перагной) – па Цюрыну ў мадыфікацыі ЦІНАА (ДАСТ 26213-91); ёмістасць катыённага абмену – метадам Бабко-Аскіназі-Алешына ў мадыфікацыі ЦІНАА (ДАСТ 17.4.4.01-84); сума паглынутых асноў – па метадзе Каппена (ДАСТ 27821-88).

ВЫНІКІ ДАСЛЕДАВАННЯЎ І ІХ АБМЕРКАВАННЕ

Вынікі праведзеных даследаванняў паказваюць, што структурны стан і супрацьэразійная ўстойлівасць дзярнова-падзолістых эрадаваных глебаў залежыць ад ступені праявы працэсаў эразійнай дэградацыі, а таксама ад сістэмы ўгнаенняў (табл. 2).

Табліца 2

Структурны стан і супрацьэразійная ўстойлівасць дзярнова-падзолістых глебаў рознай ступені эрадаванасці, сфармаваных на лесападобных суглінках

Варыянт	Эрадаванасць глебы					
	неэрадаваная		сярэднеэрадаваная		моцнаэрадаваная	
	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.
<i>Каэфіцыент структурнасці</i>						
Фон	2,6	2,2	1,9	1,5	1,4	1,0
Фон + вапнаванне	3,0	1,9	2,3	1,3	1,6	1,1
Фон + арганічныя ўгнаенні	2,8	1,6	2,7	1,6	1,4	1,2
Фон + вапнаванне + арганічныя ўгнаенні	3,8	2,6	2,5	1,7	1,4	1,0
<i>Вадаўстойлівасць, %</i>						
Фон	18,2	11,6	9,7	9,6	8,3	9,7
Фон + вапнаванне	22,8	15,9	12,3	6,2	9,4	8,2
Фон + арганічныя ўгнаенні	24,1	17,5	17,7	15,0	14,6	8,2
Фон + вапнаванне + арганічныя ўгнаенні	28,7	18,2	17,0	14,5	13,6	8,7
<i>Каэфіцыент воднай трываласці</i>						
Фон	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1
Фон + вапнаванне	0,1	0,1	0,1	< 0,1	0,1	0,1
Фон + арганічныя ўгнаенні	0,1	0,1	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1
Фон + вапнаванне + арганічныя ўгнаенні	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	< 0,1

У год дзеяння (2018 г.) ўгнаенняў і меліярантаў структура неэрадаваных і сярэднеэрадаваных глебаў характарызувалася як добрая (каэфіцыент структурнасці – 1,9–3,8), моцнаэрадаваных – як здавальняючая ($K_{стр}$ – 1,4) і добрая ($K_{стр}$ – 1,6.).

У год паслядзеяння адзначалася пагаршэнне структурнага стану, што выклікана зніжэннем дзеяння ўгнаенняў і метэаралагічнымі ўмовамі. Перад пасевам і ў пачатку вегетацыі яравога рапсу (красавік 2019 г.) выпала ўсяго 3,6 мм ападкаў пры сярэдніх шматгадовых значэннях 42 мм [13], што прывяло да затрымкі ўсходаў і зрэджвання пасеваў, і, такім чынам, зніжэння іх глебаахоўных уласцівасцяў. Некаторая варыябельнасць каэфіцыента структурнасці глебаў варыянтаў вопыту

абумоўлена тым, што глебавы покрыву неаднастайны. На адным варыянце могуць быць выяўленыя колькасныя адрозненні паказчыкаў, якія, аднак, маюць аднолькавую якасную характарыстыку. Таксама выконвае ролю розная працягласць вегетацыйнага перыяду культур [14]. Уборка аўса адбывалася раней (першая дэкада жніўня), чым уборка яравога рапсу (першая дэкада верасня), таму значэння каэфіцыента структурнасці вышэй у 2018 г., бо глеба ў меншай ступені набліжана была да раўнаважнага стану.

У 2019 г. добры структурны стан адзначаны на неэрадаваных глебах ($K_{\text{стр}} = 1,6-2,6$), на сярэднеэрадаваных пры ўнясенні арганічных угнаенняў – добры ($K_{\text{стр}} = 1,6-1,7$), а без гною – здавальняючы ($K_{\text{стр}} = 1,3$ і $1,5$). Варта адзначыць, што ў варыянтах з унясеннем арганікі значэння каэфіцыента структурнасці меншае, чым годам раней. На моцнаэрадаваных глебах стан глебай структуры характарызаваўся як здавальняючы – каэфіцыент структурнасці быў роўны $1,0-1,2$.

Неабходна адзначыць, што спрыяльны структурны стан абумоўлены ў першую чаргу натуральным станам глебаў, сфармаваных на лесападобных глебаўтваральных пародах [15, 16].

Устойлівасць да працэсаў эразійнай дэградацыі ацэньвалася на падставе паказчыкаў водаўстойлівасці і каэфіцыента воднай трываласці.

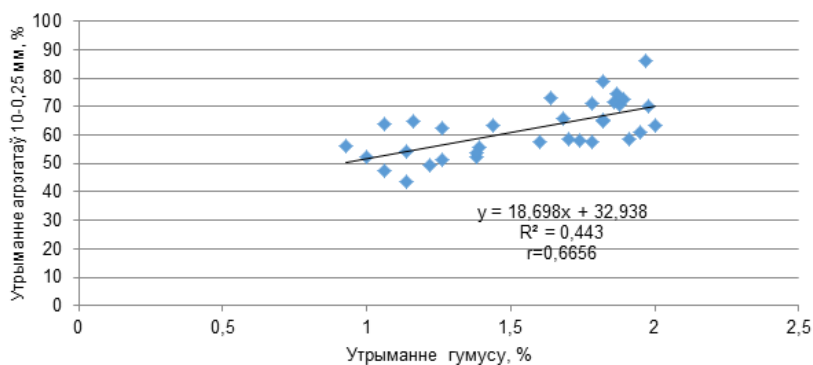
Глебы, сфармаваныя на лесападобных суглінках, валодаюць нізкай прыроднай устойлівасцю да працэсаў эразійнай дэградацыі, што пацвярджаецца апублікаванымі працамі [16, 17].

У першы год даследаванняў, як і ў другі, водаўстойлівасць незалежна ад варыянту і ступені эрадаванасці характарызавалася як нездавальняючая. Пры гэтым была адзначана розніца ў велічынях гэтага паказчыка. Калі на неэрадаваных глебах з унясеннем арганічных угнаенняў у 2018 г. значэнні набліжаліся да здавальняючых, то на варыянтах без унясення гною такой тэндэнцыі не адзначана. Найлепшая водаўстойлівасць была пры ўнясенні арганікі і даламітавай мукі, найгоршая – пры ўнясенні толькі мінеральных угнаенняў. З павелічэннем ступені эрадаванасці розніца паміж велічынямі водаўстойлівасці варыянтаў вопыту зніжаецца. Калі на неэрадаваных разнавіднасцях дыяпазон значэнняў – $18,2-28,7\%$ і $11,6-18,2\%$ у 2018 і 2019 г. адпаведна, то на моцнаэрадаваных – $8,3-14,6\%$ і $8,2-9,7\%$. Варта адзначыць, што паказчыкі на моцнаэрадаваных глебах усіх варыянтаў у 2019 г. практычна ідэнтычныя, што паказвае на ключавую ролю інтэнсіўнасці праходжання эразійных працэсаў у фарміраванні фізічнага стану дадзеных глебавых разнавіднасцяў.

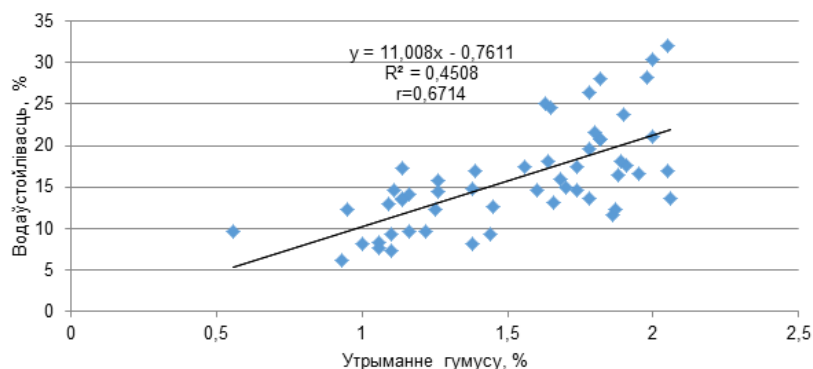
Зніжэнне водаўстойлівасці ў 2019 г. звязана як з памяншэннем станоўчага ўплыву арганічных угнаенняў, так і з метэаралагічнымі ўмовамі апісанымі раней.

Пра нізкую супрацьэразійную ўстойлівасць вывучаемых глебаў сведчыць каэфіцыент воднай трываласці, які роўны $0,1$ і менш, за выключэннем неэрадаванай глебы варыянту з унясеннем арганічных угнаенняў і даламітавай мукі ў год іх дзеяння, дзе яго значэнні роўныя $0,2$. Для параўнання варта пазначыць, што велічыні гэтага паказчыка на марэнавых глебаўтваральных пародах такога ж грануламетрычнага складу знаходзяцца ў дыяпазонах $0,3-0,5$ [18].

Праведзены адпаведны адбор узораў падчас дадзенага даследавання, а таксама матэрыялы папярэдніх даследаванняў лабараторыі [19] дазволілі выявіць статыстычныя ўзаемасувязі ўтрымання агранамічна каштоўных агрэгатаў ($10-0,25$ мм) і водаўстойлівасці з утрыманнем гумусу ў глебе (мал. 1, 2).



Мал. 1. Залежнасць утрымання агранамічна каштоўных аграгатаў ад утрымання гумусу ў дзярнова-падзолістых эрадаваных легкасугліністых глебах, сфармаваных на лесападобных суглінках



Мал. 2. Залежнасць водаўстойлівасці ад утрымання гумусу ў дзярнова-падзолістых эрадаваных легкасугліністых глебах, сфармаваных на лесападобных суглінках

Прадстаўленыя на малюнках ураўненні рэгрэсіі паказваюць на існаванне сярэдняй статыстычнай сувязі паміж утрыманнем гумусу ў глебе і яе структурным станам, а таксама ўстойлівасцю да эрозіі. Дадзеныя матэматычныя тоеснасці можна інтэрпрэтаваць наступным чынам: павелічэнне ўтрымання перагною павышае водаўстойлівасць і долю агранамічна каштоўных аграгатаў. Паколькі каэфіцыент карэляцыі меней 0,7, дадзеныя залежнасці нельга выкарыстоўваць у якасці мадэляў для вызначэння вывучаемых паказчыкаў. Плануецца працяг даследаванняў і назапашванне дадзеных, што ў далейшым, верагодна, дасць магчымасць вывесці ўраўненні залежнасцяў з больш высокімі значэннямі каэфіцыента карэляцыі.

У ходзе даследаванняў, нягледзячы на інфармацыю пра ролю абменных асноў у фарміраванні глебавай структуры, якая сустракаецца ў літаратурных крыніцах [7–9], намі не было выяўлена статыстычна значнай залежнасці (каэфіцыент карэляцыі менш 0,2) паміж значэннямі ўтрымання агранамічна каштоўных аграгатаў і водаўстойлівасці з сумай абменных асноў, а таксама ступенню насычанасці асновамі.

ВЫВАДЫ

Значэнні паказчыкаў каэфіцыента структурнасці і водаўстойлівайсці дзярнова-падзолістых эрадаваных глебаў, сфармаваных на легкіх лесападобных суглінках, на працягу 2018–2019 гг. змяняліся, што звязана як з сістэмай угнаенняў, так і з вырошчываемай культурай.

У цэлым структурны стан незалежна ад сістэмы ўгнаенняў неэрадаваных і сярэднеэрадаваных глебаў пераважна характарызаваўся як добры, на моцнаэрадаваных – як здавальняючы. На варыянтах з унясеннем арганічных угнаенняў значэнні каэфіцыента структурнасці вышэйшыя, аднак і на варыянтах без унясення гною структурны стан спрыяльны для росту сельскагаспадарчых культур, што абумоўлена генезісам лесападобных суглінкаў. У 2018 г. каэфіцыент структурнасці быў большы, што звязана як з нядаўнім унясеннем арганічных угнаенняў, так і з метэаралагічнымі ўмовамі ў 2019 г.

Водаўстойлівасць глебаў ва ўсіх варыянтах і ступенях эрадаванасці характарызавалася як незадавальняючая. Найлепшая водаўстойлівасць адзначана пры ўнясенні арганікі і даламітавай мукі, найгоршая – пры ўнясенні толькі мінеральных угнаенняў. З павелічэннем эрадаванасці розніца ў значэннях водаўстойлівайсці зніжаецца. На моцнаэрадаваных глебах незалежна ад варыянту яны ў 2019 г. практычна ідэнтычныя, што паказвае на ключавую ролю інтэнсіўнасці праходжання эразійных працэсаў на фізічны стан дадзеных глебавых разнавіднасцяў.

У выніку матэматычнай апрацоўкі адзначана сярэдняя карэляцыйная сувязь паміж утрыманнем агранамічна каштоўных агрэгатаў, водаўстойлівайсці глебы і ўтрыманнем гумусу ў ей, што выяўляецца ў каэфіцыентах карэляцыі, роўных прыкладна 0,67. Паколькі каэфіцыент карэляцыі меней 0,7, дадзеныя залежнасці нельга выкарыстоўваць у якасці мадэляў для вызначэння вывучаемых паказчыкаў. Аднак блізкасць атрыманых значэнняў дазваляе ў далейшым з назапашваннем эксперыментальнай інфармацыі вывесці ўраўненні залежнасцяў з больш высокімі значэннямі каэфіцыента карэляцыі.

У ходзе даследаванняў не было выяўлена статыстычна значнай залежнасці паміж значэннямі ўтрымання агранамічна каштоўных агрэгатаў і водаўстойлівайсці з сумай абменных асноў, а таксама ступенню насычанасці асновамі.

СПІС ЛІТАРАТУРЫ

1. Состояние агрофизических свойств почв эрозионных агроландшафтов Беларуси – важнейший индикатор их деградации / А. Ф. Черныш [и др.] // Современные проблемы эрозионных, русловых и устьевых процессов: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием и XXXI пленар. межвуз. координац. совещания, Архангельск, 25–30 сент. 2016 г. / Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Межвуз. науч.-коорд. совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ, Сев. (Аркт.) федер. ун-т им. М. В. Ломоносова; редкол.: Р. С. Чалов (гл. ред.) [и др.]. – Архангельск, 2016. – С. 181–182.
2. *Медведев, В. В.* Структура почвы: методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана / В. В. Медведев. – Харьков: 13 тип., 2008. – 406 с.
3. *Жилко, В. В.* Эродированные почвы Белоруссии и их использование / В. В. Жилко. – Минск: Ураджай, 1976. – 168 с.

4. *Ларионов, Г. А.* Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки / Г. А. Ларионов. – М.: МГУ, 1999. – 200 с.
5. *Федотов, Г. Н.* Изучение механизма влияния органического вещества на структурно-механические свойства почвы / Г. Н. Федотов, С. А. Шоба, Д. Д. Хайдапова // Доклады академии наук. – 2014. – Т. 456. – № 1. – С. 121–125.
6. *Когут, Б. М.* Водопрочность и лабильные гумусовые вещества типичного чернозема при разном землепользовании / Б. М. Когут, С. А. Сысоев, В. А. Хохлов // Почвоведение – 2012. – № 5. – С. 555–561.
7. *Лешко, Т. Л.* Влияние крупных фракций доломитовой крошки на структурное состояние дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы // Т. Л. Лешко, А. В. Литвинович // Известия Санкт-Петербургского аграрного ун-та. – 2018. – № 3 (52). – С. 54–58.
8. *Хан, Д. В.* Органоминеральные соединения и структура почв / Д. В. Хан. – М.: Наука, 1989. – 140 с.
9. *Небольсин, А. Н.* Известкование почв (результаты 50-летних полевых опытов) / А. Н. Небольсин. З. П. Небольсина. – СПб.: ГНУ ЛНИИСХ Россельхозакадемии, 2010. – 254 с.
10. *Вадюнина, А. Ф.* Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
11. *Качинский, Н. А.* Физика почв / Н. А. Качинский. – М.: Высшая школа, 1965. – Ч. 1. – 323 с.
12. *Долгов, С. И.* О критериях оптимального сложения пахотного слоя почвы / С. И. Долгов, И. В. Кузнецова, С. А. Модина // Проблемы обработки почвы: докл. междунар. совещ., Варна, 13–15 июня 1968 г. / Болг. акад. наук. – София, 1970. – С. 131–142.
13. NOAA National Centers for Environmental Information [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.ncdc.noaa.gov/>. – Date of access: 20.03.2020.
14. Основы растениеводства: учеб. пособие / И. П. Козловская [и др.]; под ред. И. П. Козловской. – Минск, 2010. – 328 с.
15. Современное агрофизическое состояние почв центральной почвенно-экологической провинции / А. Ф. Черныш, [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 1 (56). – С. 15–25.
16. *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.
17. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапы, А. Ф. Черныша; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 170 с.
18. Современное состояние агрофизических свойств почв Белорусского Поозерья / А.Ф. Черныш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 2(53). – С. 19–28
19. *Дубовик, А. Э.* Противозерозионная устойчивость дерново-подзолистых почв Беларуси на различных почвообразующих породах и приемы ее регулирования: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03/ А. Э. Дубовик. – Минск, 2006. – 145 л.

**THE ROLE OF ORGANIC FERTILIZERS AND LIMING
IN THE FORMATION OF THE STRUCTURAL STATE AND ANTI-EROSION
RESISTANCE OF SOD-PODZOLIC ERODED SOILS DEVELOPING
ON LOESS LIKE LOAMS**

**V. B. Tsyrybka, M. M. Tsybulka, H. M. Ustsinava, I. A. Lahachou,
I. I. Kasyanenko, A. V. Yukhnovets, A. A. Mitskova**

Summary

The article presents the results of studies of the influence of organic fertilizer and liming on the structure and water resistance of sod-podzolic light loamy soils subject to erosion degradation. The positive effect of the applying of organic fertilizers on the values of these indicators was established. The average statistical dependences ($r = 0,67$) between the content of agronomical valuable aggregates and the water resistance of the soil with the content of humus in it were revealed.

Паступила 01.04.2020

УДК 631.4

**К ВОПРОСУ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ДЕРНОВО-ПАЛЕВО-
ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ, СФОРМИРОВАВШИХСЯ НА МОЩНЫХ
ЛЕССОВИДНЫХ ЛЕГКИХ СУГЛИНКАХ, К АГРОГЕННЫМ
ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

С. В. Дыдышко, Т. Н. Азаренок

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

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы антропогенной трансформации почв и почвенного покрова являются одними из приоритетных для почвенно-агрохимических исследований. Им посвящено большое количество научных работ, преимущественно исследователей ближнего и дальнего зарубежья, затрагивающих различные стороны трансформации состава и свойств, производительной способности и балльной оценки, оптимизации питательного режима. На территории республики отдельные стороны этой проблемы, а также вопросы устойчивости самых плодородных в республике – дерново-подзолистых легкосуглинистых почв, развивающихся на мощных лессовидных отложениях, к последствиям антропогенных воздействий (длительного сельскохозяйственного использования) остаются малоизученными, особенно на региональном уровне. Наряду с имеющимися в республике опытными данными по изучению исследуемых почв, не менее важны сведения о показателях состава и свойств почв рабочих участков землепользователей. И для экологически безопасного производства растениеводческой продукции, обес-

печения продовольственной безопасности страны в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства требуется тщательное изучение состава и свойств почв, на основании которых должны быть разработаны и реализованы практические мероприятия, направленные на борьбу с дегумификацией почв, на сохранение и повышение плодородия почв, на предотвращение развития процессов подкисления.

В республике существуют немногочисленные публикации, в которых в качестве критериев устойчивости дерново-подзолистых почв предложены показатели общего содержания гумуса, отдельные показатели гранулометрического и минералогического состава [1], физико-химических и водно-физических свойств [2, 3]. Системные же сведения о характере трансформации дерново-подзолистых почв, критериях их устойчивости к агрогенным воздействиям, согласно которым можно объективно оценить их агроэкологическое состояние, мало изучены.

Устойчивость почв к внешним воздействиям зависит как от состояния самой почвы, так и от ее динамических свойств и вещественного состава. Основными показателями, определяющими саморегуляцию и устойчивость почв, являются значения соотношения гранулометрических фракций, связь этих фракций с другими важнейшими элементами почвенной системы, в частности, с гумусом почвы. Анализ публикаций, связанных с проблемой оценки взаимосвязи гранулометрического состава и гумусности почв, показал, что в большинстве случаев обнаруживается высокая степень зависимости между содержанием гумуса и количеством физической глины в почвах [4–7]. Среди фракций физической глины наиболее важное значение для плодородия почв имеет илистая фракция, состоящая на 55–90 % из органического вещества [8]. Несмотря на то что содержание физической глины в почвах различной степени агрогенной трансформации находится на одном уровне, распределения ила и пылеватых фракций в них значительно различаются, существенно изменяя ее качественный состав, количество и качественный состав гумуса и, следовательно, уровень потенциального плодородия почв. Кроме того, в условиях постоянного агрогенного воздействия неизбежно изменение кислотно-основных свойств, что в конечном итоге отражается и на продуктивности сельскохозяйственных культур.

Поэтому исследования по комплексному изучению взаимосвязей гумусного состояния и гранулометрического состава, кислотно-основных свойств почв являются актуальными и указывают на необходимость поиска новых методов оценки степени их устойчивости.

Цель наших исследований – установить степень устойчивости дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв разной степени антропогенной трансформации к длительным агрогенным воздействиям на основании количественных критериев гумус-гранулометрических отношений, показателей кислотно-основной буферности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследований были выбраны естественные и пахотные дерново-палево-подзолистые почвы разной степени агрогенной трансформации, сформировавшиеся на мощных лессовидных легких суглинках. Катены залеже-

ны в почвенно-экологических районах с широким распространением этих почв – Ошмянско-Минском и Оршанско-Мстиславском:

I – катена, характеризующая дерново-палево-подзолистые окультуренные почвы суглинистого гранулометрического состава (разрезы 6–17 и 9–17) и их среднеэродированный аналог (разрез 7–17), заложена на пахотных землях ОАО «Гастелловское» Минского района, а естественный аналог (разрез 8–17), принятый за «нулевую точку отсчета» – в лесу на территории ГЛХУ «Минский лесхоз» Минского района Минской области;

II – катена, характеризующая дерново-палево-подзолистые окультуренные почвы суглинистого гранулометрического состава (разрезы 13–17 и 17–17) и их среднеэродированный аналог (разрез 16–17), заложена на пахотных землях СПК «Знамя труда» Мстиславского района, а естественный аналог (разрез 12–17), принятый за «нулевую точку отсчета» – в лесу на территории ГЛХУ «Горецкий лесхоз» Мстиславского района Могилевской области.

Определение содержания общего гумуса в почвах проведено по методике И. В. Тюрина (ГОСТ 26213–91) [9–10], гранулометрического состава – методом пипетки по Н. А. Качинскому с диспергацией почвенных частиц растиранием пирофосфатом натрия. Применение данного лабораторного метода для определения гранулометрического состава исследуемых почв является экономичным, малозатратным по времени и доступным в практическом использовании.

Для выявления гумус-гранулометрических взаимосвязей и классификации исследуемых почв по содержанию физической глины и насыщенности физической глины илом/пылью в зависимости от преобладающей фракции использована методика В. С. Крыщенко [6]. Выполнены расчеты следующих показателей: базовое значение ила (a_{dt} , %) и пыли (b_{dt} , %) в физической глине, насыщенность физической глины илом/пылью (V_a/V_b , %), константы динамического равновесия (K_a/K_b), содержание гумуса в почве (y_p , %) и в физической глине (x_p , %) и насыщенность физической глины гумусом (W , %). Формулы для расчета вышеперечисленных показателей приведены в предыдущей публикации [11].

Определение кислотно-основной буферности исследуемых почв проводили по методу Аррениуса [12] по 8 почвенным разрезам в 5-кратной повторности (40 почвенных горизонтов и кварцевый песок).

Показатели естественной степени буферной способности ($ВБС_e$) рассчитаны по формуле [13]:

$$ВБС_e = \frac{S_n}{S_1} \cdot 100,$$

где S_n – площадь буферности исследуемого образца, см²; S_1 – площадь буферности эталона (кварцевого песка), см².

Для оценки исследуемых почв по степени естественной буферной способности использована шкала, разработанная П. П. Надточим [13].

Определение емкости катионного обмена (ЕКО) проведено по ГОСТ 17.4.4.01-84. Охрана природы. Почвы. Методы определения емкости катионного обмена [14].

Для оценки трансформации свойств дерново-палево-подзолистых почв в результате развития процессов агрогенеза применен методический подход,

разработанный в секторе агропочвоведения, цифрового картографирования и оценки почв [3]. Основными показателями для установления степени устойчивости почв к агрогенным воздействиям явились критерии, основанные на гумус-гранулометрических отношениях, показатели буферности в кислотном и щелочном интервалах и емкости катионного обмена. Коэффициенты устойчивости почв (КУП) по каждому из полученных критериев определялись по формуле [3]:

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

где n – количество используемых классов.

Исследования выполнены с применением следующих методов: рядов антропогенных изменений почв, сравнительного, аналитического, сравнительно-аналитического и метода экспертных оценок. Обработка данных выполнена с помощью «Пакета анализа Microsoft Excel».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При исследовании гумус-гранулометрических отношений показатели условно разделяются на два блока [6]: первый характеризует гранулометрические фракции почвенных образцов, второй – их гумусированность. В пределах первого блока представляются фактический гранулометрический состав почвенных образцов: содержание физической глины (z , %), фактическое содержание ила ($a_{\text{ф}}$, %) и пыли ($b_{\text{ф}}$, %), базовые (эталонные) значения ила ($a_{\text{дт}}$, %), степень насыщенности физической глины илом или пылью (по преобладающей фракции) (V_a или V_b , %), а также константы динамического равновесия (K_a , K_b). Константы динамического равновесия сводятся к тому, чтобы привести к единому масштабу показатели содержания гумуса в почве и сопоставить друг с другом, так как они приводятся к общему знаменателю. Следовательно, константа динамического равновесия выполняет функцию универсального коэффициента пропорциональности между гранулометрическим составом и гумусностью почв и ее физической глиной. Базовое значение ила используется нами в качестве эталона сравнения. Во втором блоке дается характеристика почвенных образцов по двум показателям: содержанию гумуса почвы в целом (y_p , %) и содержанию гумуса в физической глине (x_p , %).

Естественная почва Ошмянско-Минского ПЭР относится к группе 2 (табл. 1) (с пылеватой физической глиной – фактическое содержание пылеватых фракций ($b_{\text{ф}}$) в гумусовом аккумулятивном горизонте A_1 превышает фактическое содержание илистой фракции ($a_{\text{ф}}$): 14,9 против 6,3 %) и подгруппе 2.1 (физическая глина насыщена пылью – фактическое содержание пылеватых фракций ($b_{\text{ф}}$) больше базового содержания илистой фракции ($a_{\text{дт}}$): 14,9 % против 4,49 %). Степень насыщенности физической глины пылью (V_b) составляет 70,28 % (сильная степень насыщенности – в). На илистую составляющую приходится только 29,72 %, т. е. содержание пыли/ила в данном горизонте соотносится как 70:30.

Таблица 1
Взаимосвязи гранулометрического состава и гумусности дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв разной степени агрогенной трансформации Ошмянско-Минского и Оршанско-Мстиславского ПЭР за исследуемый период (2017–2019 гг.)

Горизонт, глубина отбора образца, см	Фактическое содержание фракций, %		Базовое содержание фракций, %		Насыщенность физической глины илом, %	Насыщенность физической глины пылью, %	Константы динамического равновесия	Гумус, %		Насыщенность физической глины гумусом, %		
	<0,01 мм	<0,001 мм	0,001–0,01 мм	0,001–0,01 мм				a _{dt}	b _{dt}		y _r	x _p
z					V _a	V _b	K _{a,b}	y _r	x _p	W		
<i>Ошмянско-Минский ПЭР</i>												
Естественная почва (8–17), группа 2, подгруппа 2.1, в*												
A ₁ , 4–9	21,2	6,3	14,9	4,49	16,71	29,72	70,28	3,32	4,80	15,94	75,17	
Окультуренная почва (6–17), группа 2, подгруппа 2.1, г												
A _{1п} , 5–25	22,0	4,7	17,4	4,84	17,16	20,91	79,09	3,60	2,68	9,65	43,85	
Окультуренная почва (9–17), группа 2, подгруппа 2.1, г												
A _{1п} , 5–25	20,1	4,7	15,4	4,04	16,06	23,38	76,62	3,81	3,07	11,70	58,19	
Среднеэродированная почва (7–17), группа 1, подгруппа 1.1, а												
A _{1B} , 5–15	22,3	11,9	10,4	4,97	17,33	53,36	46,64	2,39	2,32	5,54	24,86	
<i>Оршанско-Мстиславский ПЭР</i>												
Естественная почва (12–17), группа 1, подгруппа 1.1, б												
A _{1A} ₂ , 10–15	20,7	12,8	7,9	4,28	16,42	61,84	38,16	2,99	2,14	6,40	30,91	
Окультуренная почва (17–17), группа 2, подгруппа 2.1, б												
A _{1п} , 5–10	22,5	9,2	13,3	5,06	17,44	40,89	59,11	2,63	1,69	4,44	19,75	
Окультуренная почва (13–17), группа 2, подгруппа 2.1, в												
A _{1п} , 5–15	20,3	5,3	15,0	4,12	16,18	26,11	73,89	3,64	2,22	8,08	39,81	
Среднеэродированная почва (16–17), группа 1, подгруппа 1.1, в												
A _{1B} , 5–10	21,7	15,1	6,6	4,71	16,99	69,59	30,41	3,21	1,26	4,04	18,64	

Примечание: а – слабая степень насыщенности физической глины илом или пылью в зависимости от преобладающей фракции (50,0–54,9 %); б – средняя (55,0–64,9 %); в – сильная (65,0–74,9 %); г – очень сильная степень насыщенности (> 75,0 %).

Окультуренные почвы также относятся к группе 2 (с пылевой физической глиной – фактическое содержание пылевых фракций ($b_{\text{ф}}$) в горизонтах A_n превышает фактическое содержание илистых фракций ($a_{\text{ф}}$): 17,4 против 4,7 % (разрез 6–17) и 15,4 против 4,7 % (разрез 9–17) соответственно и подгруппе 2.1 (физическая глина насыщена пылью – фактическое содержание пылевых фракций ($b_{\text{ф}}$) больше базового содержания илистой фракции ($a_{\text{дт}}$): 17,4 % против 4,84 % и 15,4 против 4,04 % соответственно). Степень насыщенности физической глины пылью (V_b) составляет 79,09 и 76,62 % соответственно (очень сильная степень насыщенности – г). На илистую составляющую приходится только 20,91 % и 23,38 %, т. е. содержание пыли/ила в данных горизонтах соотносится в среднем как 78:22.

Среднеэродированная почва относится к группе 1 (с иловатой физической глиной – фактическое содержание илистой фракции ($a_{\text{ф}}$) в горизонте A_nB превышает фактическое содержание пылевых фракций ($b_{\text{ф}}$): 11,9 против 10,4 %) и подгруппе 1.1 (физическая глина насыщена илом – фактическое содержание илистой фракции ($a_{\text{ф}}$) больше базового содержания илистой фракции ($a_{\text{дт}}$): 11,9 % против 4,97 %). Степень насыщенности физической глины илом (V_a) среднеэродированной почвы составляет 53,36 % (слабая степень насыщенности – а). На пылеватую составляющую в данном горизонте приходится 46,64 %, т. е. соотношение содержания ила/пыли составляет 53:47.

Естественная почва в Оршанско-Мстиславском ПЭР относится к группе 1 (с иловатой физической глиной – фактическое содержание илистой фракции ($a_{\text{ф}}$) в гумусово-элювиальном горизонте A_1A_2 превышает фактическое содержание пылевых фракций ($b_{\text{ф}}$): 12,8 против 7,9 %) и подгруппе 1.1 (физическая глина насыщена илом – фактическое содержание илистой фракции ($a_{\text{ф}}$) больше базового содержания илистой фракции ($a_{\text{дт}}$): 12,8 % против 4,28 %). Степень насыщенности физической глины илом (V_a) составляет 61,84 % (средняя степень насыщенности – б). На пылеватую составляющую приходится только 38,16 %, т. е. содержание пыли/ила в данном горизонте соотносится как 62:38.

Окультуренные почвы относятся к группе 2 (с пылевой физической глиной – фактическое содержание пылевых фракций ($b_{\text{ф}}$) в горизонтах A_n превышает фактическое содержание илистых фракций ($a_{\text{ф}}$): 13,3 против 9,2 % (разрез 17–17) и 15,0 против 5,3 % (разрез 13–17) соответственно и подгруппе 2.1 (физическая глина насыщена пылью – фактическое содержание пылевых фракций ($b_{\text{ф}}$) больше базового содержания илистой фракции ($a_{\text{дт}}$): 13,3 % против 5,06 % и 15,0 против 4,12 % соответственно). Степень насыщенности физической глины пылью (V_b) характеризуется средней (59,11 %) и сильной (73,89 %) степенью соответственно. На илистую составляющую приходится только 40,89 % и 26,11 %, т. е. содержание пыли/ила в пахотных горизонтах соотносится в среднем как 59:41 (разрез 17–17) и 74:26 (разрез 13–17).

Среднеэродированная почва относится к группе 1 (с иловатой физической глиной – фактическое содержание илистой фракции ($a_{\text{ф}}$) в пахотном постэрозионном горизонте A_nB превышает фактическое содержание пылевых фракций ($b_{\text{ф}}$): 15,1 против 6,6 %) и подгруппе 1.1 (физическая глина насыщена илом – фактическое содержание илистой фракции ($a_{\text{ф}}$) больше базового содержания илистой фракции ($a_{\text{дт}}$): 15,1 % против 4,71 %). Степень насыщенности физической глины илом (V_a) составляет 69,59 % (сильная степень насыщенности – в). На пылеватую составляющую приходится 30,41 %, т. е. соотношение содержания ила/пыли составляет 70:30.

Важное значение для оценки степени устойчивости почв и их плодородия имеют показатели содержания гумуса почвы в целом (y_r) и содержания гумуса в физической глине (x_p). Гумусированность фракций физической глины предопределяет величину содержания гумуса в почве, которую можно рассматривать как содержание гумуса в физической глине, механически разбавленное массой, которая мало или вовсе не содержит гумуса, т. е. физическим песком (частицы больше 0,01 мм: фракции мелкого, среднего, крупного песка и крупной пыли гранулометрического состава). В данном случае играет роль не только количество физического песка, но и отношение ила и пыли в физической глине. Избыток ила/пыли в физической глине, по отношению к базовому значению ила, усиливает разбавляющий эффект. В этом случае содержание гумуса в физической глине намного превышает его содержание в почве, а константы динамического равновесия имеют наибольшие значения.

Содержание гумуса в физической глине значительно превышает его содержание в почве, поскольку для исследуемых почв константы динамического равновесия ($K_{a,b}$) $>1,0$, что свидетельствует об избытке ила/пыли в физической глине (в зависимости от преобладающей фракции) относительно базового содержания ила.

Как видно из табл. 1, в естественной почве в горизонте A_1 содержание гумуса в почве составляет 4,80 %, а в физической глине – 15,94 % (т. е. в 3,32 раза больше). В горизонте A_n окультуренной почвы (разрез 6–17) содержание гумуса в физической глине в 3,60 раза превышает его содержание в почве – 9,65 против 2,68 % соответственно. В горизонте A_n окультуренной почвы (9–17) константа динамического равновесия достигает максимального значения – 3,81, а содержание гумуса в физической глине – 11,70 против 3,07 % в почве. Содержание большего количества гумуса в естественной почве по сравнению с окультуренными аналогами для легкосуглинистых почв подтверждаются исследованиями Н. И. Туренкова [15]. В пахотном постэрозионном горизонте A_nB среднеэродированной почвы отмечается наименьшее содержание гумуса в физической глине и почве – 5,54 против 2,32 % соответственно.

В естественной почве Оршанско-Мстиславского ПЭР в горизонте A_1A_2 содержание гумуса в почве составляет 2,14 %, а в физической глине – 6,40 % (т. е. в 2,99 раза больше). В горизонте A_n окультуренной почвы (17–17) содержание гумуса в физической глине в 2,63 раза превышает его содержание в почве – 1,69 против 4,44 % соответственно. В горизонте A_n окультуренной почвы (13–17) константа достигает максимального значения – 3,64, а содержание гумуса в физической глине – 8,08 против 2,22 % в почве. В горизонте A_nB среднеэродированной почвы отмечается наименьшее содержание гумуса в физической глине и почве – 4,04 и 1,26 % соответственно.

Важное теоретическое и практическое значение имеет степень насыщенности физической глины гумусом (W). Этот показатель совокупно выражает общий принцип связи гранулометрического состава и гумусности почв, учитывая все многообразие отношений гранулометрических фракций во взаимосвязи с гумусностью физической глины (x_p) и содержанием гумуса почвы (y_r).

Согласно полученным данным в Ошмянско-Минском ПЭР насыщенность физической глины гумусом имеет наибольшее значение в естественной почве – 75,17 %, в окультуренных снижается до 58,19 и 43,85 %, а в среднеэродирован-

ной почве имеет минимальное значение – 24,86 %. В Оршанско-Мстиславском ПЭР насыщенность физической глины гумусом (W) имеет наибольшее значение в окультуренной почве (13–17) – 39,81 %, в естественной – 30,91 %, в окультуренной (17–17) снижается до 19,75 %, а в среднеэродированной почве имеет минимальное значение – 18,64 %.

Показатели содержания гумуса в почве (y_r), в физической глине (x_p) и насыщенности физической глины гумусом (W) снижаются в последовательности: естественная почва – окультуренные аналоги – среднеэродированная почва (Ошмянско-Минский ПЭР); окультуренная почва (разрез 13–17) – естественная – окультуренная (разрез 17–17) – среднеэродированный аналог (Оршанско-Мстиславский ПЭР).

Среднестатистические данные по показателям гумус-гранулометрических отношений для пахотных горизонтов окультуренных дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв представлены в табл. 2. Согласно полученным данным среднее содержание физической глины составляет 22,5 %. В физической глине преобладает пылевая фракция – 13,5 %, а на илстую составляющую приходится 9,0 %, т. е. окультуренные почвы имеют пылеватую физическую глину. Базовое содержание пыли и ила в физической глине соотносится как 17,4 и 5,1 % соответственно. Поскольку фактическое содержание пыли превышает базовое содержание илистой фракции – 13,5 против 5,1 % соответственно – физическая глина насыщена пылью: степень насыщенности пылью составляет 60,2 %, а степень насыщенности илом лишь 40,1 %. Таким образом, в физической глине преобладающей является пылевая фракция со средней степенью насыщенности (55,0–64,9 %). Для исследуемых почв константы динамического равновесия ($K_{a,b}$) > 1,0, что свидетельствует об избытке ила/пыли в физической глине в зависимости от преобладающей фракции (в данном случае пыли) относительно базового содержания ила. Содержание гумуса в пахотных горизонтах составляет 2,4 %, а в физической глине его в 2,8 раз больше – 6,7 %. Насыщенность физической глины гумусом составляет 29,9 %.

Таблица 2

Среднестатистические данные показателей гумус-гранулометрических отношений пахотных горизонтов окультуренных дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв Ошмянско-Минского и Оршанско-Мстиславского ПЭР

Показатель	Среднестатистические данные
Содержание физической глины (z), %	22,5±1,4
Содержание ила ($a_{ф}$), %	9,0±2,3
Содержание пыли ($b_{ф}$), %	13,5±2,5
Базовое содержание ила ($a_{дт}$), %	5,1±0,7
Базовое содержание пыли ($b_{дт}$), %	17,4±0,8
Степень насыщенности физической глины илом (V_a), %	40,1±10,4
Степень насыщенности физической глины пылью (V_b), %	60,2±10,4
Константы динамического равновесия ($K_{a,b}$)	2,8±0,4
Содержание гумуса в почве (y_r), %	2,4±0,6
Содержание гумуса в физической глине (x_p), %	6,7±1,8
Насыщенность физической глины гумусом (W), %	29,9±9,4

Современный уровень интенсификации земледелия, широкое применение средств химизации и действие техногенных факторов приводят к значительному усилению нагрузки на почву, что способствует изменению кислотности почв, которая является важнейшей почвенно-химической характеристикой [16]. Так, за более чем 35-летний период агрогенного воздействия произошли значительные изменения и по показателям кислотности пахотных почв в исследуемых почвенно-экологических районах, причем изменения имеют одинаковую направленность: согласно разновременным данным агрохимических обследований в Ошмянско-Минском ПЭР средневзвешенные показатели кислотности пахотных почв возрастали с 4,75 в 1976–1980-х гг. до 6,00 единиц в 2001–2004 гг., а удельный вес кислых почв с показателями pH менее 5,0 за аналогичный временной интервал сократился с 76,35 до 3,13 %, т. е. снизился практически в 25 раз. С 2001–2004-х гг. показатели pH снижались и в настоящее время составляют 5,80 единиц (т. е. почвы стали более кислыми), а удельный вес кислых почв увеличился до 8,99 % [17–23].

В Оршанско-Мстиславском ПЭР средневзвешенные показатели кислотности пахотных почв возрастали с 4,84 в 1976–1980-х гг. до 6,15 единиц в 2001–2004 гг., а удельный вес кислых почв с показателями pH менее 5,0 единиц сократился с 74,17 до 2,82 %, т. е. снизился в 26 раз. С 2001–2004-х гг. показатели pH начали снижаться и в настоящее время составляют 5,96 единиц (т. е. почвы стали более кислыми), а удельный вес кислых почв увеличился до 8,61 %.

В условиях проявления процессов подкисления следует ожидать ослабление экологических функций почвы, агроэкосистемы, их устойчивости к комплексу благоприятных факторов, что в конечном итоге отразится на продуктивности культурных растений. Поэтому показатели буферности являются актуальными и могут быть использованы для оценки степени устойчивости почв к агрогенным воздействиям (табл. 3).

Таблица 3

Площади буферности дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв в щелочном и кислотном интервале относительно кривой буферности кварцевого песка за период исследований (2017–2019 гг.)

Разрез	Генетический горизонт, глубина отбора образца, см	Площадь буферности в щелочном интервале, см ²	Площадь буферности в кислотном интервале, см ²	Естественная буферность в щелочном интервале, %	Естественная буферность в кислотном интервале, %
<i>Ошмянско-Минский ПЭР</i>					
8–17	A ₁ , 4–9	22,8±1,0	2,3±0,1	45,0±2,1	15,6±0,6
6–17	A _п , 5–15	10,1±2,0	7,9±1,1	21,7±5,4	38,4±3,3
9–17	A _п , 5–15	11,1±0,8	7,2±0,2	22,0±1,6	36,3±0,6
7–17	A _п B, 5–15	8,0±0,9	12,1±1,3	15,9±1,7	48,8±2,7
<i>Оршанско-Мстиславский ПЭР</i>					
12–17	A ₁ A ₂ , 10–15	19,5±0,9	1,1±0,6	38,7±1,6	7,8±4,1
17–17	A _п , 5–10	10,3±1,4	4,2±0,4	20,2±2,8	25,1±1,5
13–17	A _п , 5–15	8,4±2,3	13,4±2,1	16,5±4,5	51,3±3,9
16–17	A _п B, 5–10	8,5±0,7	6,7±0,4	16,8±1,3	34,8±1,2

Анализ кислотно-основной буферности исследуемых почв позволил установить, что в Оршанско-Минском ПЭР в кислотном интервале площадь буферности (S_k) в гумусовом и пахотных горизонтах возрастает в последовательности: естественная почва – 2,3 см² («низкая» естественная буферность – 15,6 %) → пахотные аналоги – 7,2 и 7,9 см² («низкая» – 36,3 и 38,4 %) → среднеэродированная почва – 12,1 см² («средняя» – 48,8 %), а в щелочном интервале ($S_{щ}$): среднеэродированная почва («низкая») → пахотные («низкая») → естественный аналог («средняя») (табл. 3).

В Оршанско-Мстиславском ПЭР в кислотном интервале площадь буферности (S_k) возрастает в последовательности: естественная почва – 1,1 см² («очень низкая» – 7,8 %) → пахотная – 4,2 см² (разрез 17–17, «низкая» – 25,1 %) → среднеэродированная – 6,7 см² («низкая» – 34,8 %) → пахотная почва (разрез 13–17, «средняя»), а в щелочном интервале ($S_{щ}$): среднеэродированная почва («низкая») → пахотные («низкая») → естественный аналог («средняя»).

Таким образом, в окультуренных почвах (разрезы 6–17 и 9–17) и среднеэродированной почве (разрез 7–17) Оршанско-Минского ПЭР и пахотных почвах (разрез 17–17 и 13–17) Оршанско-Мстиславского ПЭР отмечается снижение буферности к подщелачиванию и возрастание к подкислению по сравнению с естественными (для пахотных) и пахотными аналогами (для среднеэродированных почв) соответственно. А в среднеэродированной почве Оршанско-Мстиславского ПЭР отмечается также снижение буферности к подкислению относительно окультуренной почвы (разрез 13–17).

Почвенно-поглощающий комплекс почвы и насыщающие его обменно-поглощенные катионы оказывают исключительное влияние на структуру почвы, ее физико-механические свойства, водно-воздушный режим, поглощательную способность, емкость обмена, реакцию почвенного раствора и буферность почвы, на закрепление питательных веществ и в целом на питательный режим почвы, что в конечном счете определяет уровень почвенного плодородия. Изменения в свойствах почв, происходящие в результате процесса окультуривания, затрагивают количественные изменения величины ЕКО и качественный состав обменно-поглощенных катионов, так как они являются самой подвижной частью твердой фазы почвы, легче всего вступающей во взаимодействие с почвенным раствором [24]. Т. Н. Кулаковской [25] установлена тесная связь между ЕКО и содержанием гумуса: увеличение гумусированности на 0,1 % вызвало положительное смещение ЕКО на 0,6 смоль(+)/кг на суглинистых почвах и на 0,3–0,4 смоль(+)/кг на супесчаных почвах и песках.

Применение удобрений заметно отражается на составе обменно-поглощенных катионов, степени насыщенности ППК основаниями, реакции среды [26–28]. Физиологически оптимальное отношение поглощенных катионов в агродерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках для большинства культур, согласно А. И. Горбылевой [26], составляет 35–42 % обменного кальция (от ЕКО), 5–18 % обменного магния, 1,2–4,0 % обменного калия. По данным И. М. Богдевича, оптимальное содержание калия в составе ЕКО находится на уровне 4–5 % [27].

По данным В. А. Ковды [28], физиологически оптимальным соотношением поглощенных катионов для основных культур является: 60–70 % обменного кальция (от ЕКО), 10–15 % обменного магния, 3–5 % обменного калия. Приведенные

цифры отражают «идеальный» состав обменных катионов в почве. J. Matula [29] приводит как оптимальное следующее содержание обменных катионов в ППК: 60–80 % обменного кальция (от ЕКО), 10–20 % обменного магния, 2–7 % обменного калия, отмечая, что значение 7 % для калия критическое, а самое оптимальное – 5 %.

Таблица 4

Емкость катионного обмена и содержание обменных катионов в дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почвах Ошмянско-Минского и Оршанско-Мстиславского ПЭР за период исследований (2017–2019 гг.)

№ раз-реза	Горизонт, глубина взятия образца, см	ЕКО	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	№ раз-реза	Горизонт, глубина взятия образца, см	ЕКО	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
			% в ЕКО						% в ЕКО		
			смоль(+)/кг						смоль(+)/кг		
<i>Ошмянско-Минский ПЭР</i>						<i>Оршанско-Мстиславский ПЭР</i>					
8–17	A ₁ , 4–9	13,6	<u>0.87</u> 6,40	<u>0.56</u> 4,03	<u>0.12</u> 0,88	12–17	A ₁ A ₂ , 0–26	14,4	<u>1.75</u> 12,15	<u>0.67</u> 4,65	<u>0.13</u> 0,90
6–17	A _n , 0–30	23,2	<u>9.21</u> 39,70	<u>1.17</u> 5,04	<u>0.53</u> 2,28	17–17	A _n , 0–25	20,2	<u>6.11</u> 30,25	<u>3.40</u> 16,83	<u>0.45</u> 2,23
9–17	A _n , 0–30	20,0	<u>8.08</u> 40,40	<u>2.15</u> 10,75	<u>0.71</u> 3,55	13–17	A _n , 0–25	22,3	<u>9.33</u> 41,84	<u>4.18</u> 18,74	<u>1.72</u> 7,71
7–17	A _n B, 5–15	15,8	<u>7.20</u> 45,57	<u>2.13</u> 13,48	<u>0.99</u> 6,26	16–17	A _n B, 5–15	16,1	<u>9.09</u> 56,46	<u>4.50</u> 27,95	<u>0.19</u> 1,18

Показатели емкости катионного обмена (ЕКО) в исследуемых почвах возрастают от естественных почв к пахотным аналогам и снижаются в среднеэродированных почвах (табл. 4). В составе ЕКО преобладают катионы обменного Ca²⁺, затем Mg²⁺ и K⁺: пахотные почвы характеризуются «оптимальным уровнем» их содержания, за исключением почвы (разрез 17–17) – содержание Ca²⁺ «ниже оптимального», и почвы (разрез 13–17) – содержание K⁺ превышает критический уровень; содержание Ca²⁺, Mg²⁺ и K⁺ в почве под лесом «ниже оптимального»; в среднеэродированных почвах содержание Ca²⁺ не соответствует «оптимальному» уровню, Mg²⁺ – «оптимальный» в Ошмянско-Минском ПЭР и «выше оптимального» в Оршанско-Мстиславском, K⁺ – «оптимальный» уровень.

Между показателями, используемыми для оценки степени устойчивости почв к агрогенным воздействиям, и производительной способностью почв найдена связь: коэффициенты корреляции (η) колеблются от 0,50 до 0,83 (табл. 5).

Таблица 5

Криволинейные корреляционные зависимости между критериями устойчивости дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв и их производительной способностью

Показатель	Коэффициент η
Содержание физической глины (z), %	0,70
Содержание ила (a _ф), %	0,72
Содержание средней и мелкой пыли (b _ф), %	0,83

Показатель	Коэффициент η
Степень насыщенности физической глины илом (V_a), %	0,70
Степень насыщенности физической глины пылью (V_b), %	0,69
Содержание гумуса в почве (y_r), %	0,69
Содержание гумуса в физической глине (x_p), %	0,74
Насыщенность физической глины гумусом (W), %	0,75
Буферность в кислотном интервале (S_k), см ²	0,80
Буферность в щелочном интервале ($S_{щ}$), см ²	0,50
ЕКО, смоль (+)/кг	0,80

Таким образом, количественные критерии, основанные на гумус-гранулометрических отношениях: содержание физической глины (z), фактическое содержание ила ($a_{ф}$) и пыли ($b_{ф}$), степень насыщенности илом (V_a) / пылью (V_b), содержание гумуса в почве (y_r) и в физической глине (x_p), степень насыщенности физической глины гумусом (W); а также показатели буферности в кислотном (S_k) и щелочном ($S_{щ}$) интервале и показатели емкости катионного обмена (ЕКО) являются актуальными и позволяют совершить попытку оценки степени устойчивости дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв, находящихся в длительном сельскохозяйственном использовании с учетом рассчитанных величин отклонений показателей окультуренных почв от их естественного состояния и среднеэродированных почв от их пахотных аналогов (табл. 6).

Таблица 6

Отклонения значений показателей пахотных горизонтов дерново-палево-подзолистых почв от естественного состояния и среднеэродированных почв от их пахотных аналогов (%)

Показатель	Разрез					
	6–17	9–17	7–17	17–17	13–17	16–17
Содержание физической глины (z , %)	+3,8	-5,2	+5,7	+8,7	-1,9	+1,4
Содержание ила ($a_{ф}$, %)	-25,4	-25,4	+153,2	-28,1	-58,6	+106,8
Содержание пыли ($b_{ф}$, %)	+16,8	+3,4	-36,6	+68,4	+89,9	-53,5
Степень насыщенности физ. глины илом (V_a , %)	-29,6	-21,3	+140,9	-33,9	-57,8	+107,7
Степень насыщенности физ. глины пылью (V_b , %)	+12,5	+9,0	-40,1	+54,9	+93,6	-54,3
Содержание гумуса в почве (y_r , %)	-44,2	-36,0	-19,4	-21,0	+3,7	-35,7
Содержание гумуса в физической глине (x_p , %)	-39,5	-26,6	-48,2	-30,6	+26,3	-35,5
Насыщенность физической глины гумусом (W , %)	-41,7	-22,6	-51,3	-36,1	+28,8	-37,4
Буферность в щелочном интервале ($S_{щ}$, см ²)	-55,7	-51,3	-24,5	-47,2	-56,9	-9,6
Буферность в кислотном интервале (S_k , см ²)	+243,5	+213,0	+59,2	+281,8	+1118,2	-23,9
ЕКО, (смоль(+))/кг ⁻¹)	+70,6	+47,1	-40,7	+31,5	+58,9	-44,3

С использованием метода экспертной оценки установлены пределы варьирования значений отклонений для выделенных категорий (градаций), которые являются условным выражением степени изменения величины того или иного критерия генетических свойств почв, и построена ориентировочная шкала категорий оценки (классов) в зависимости от степени изменения их свойств [3] (табл. 7).

Таблица 7

Шкала оценки степени устойчивости дерново-палево-подзолистых почв

Показатель	Класс устойчивости почв			
	1	2	3	4
a_{ϕ} , %	≤ 20,0 %	20,1–50,0 %	50,1–100,0 %	>100,0 %
b_{ϕ} , % и ЕКО, смоль(+)/кг ⁻¹	≤ 20,0 %	20,1–40,0 %	40,1–80,0 %	>80,0 %
V_a/V_b , %	≤ 20,0 %	20,1–50,0 %	50,1–100,0 %	>100,0 %
y_r , %	≤ 5,0 %	5,1–20,0 %	20,1–35,0 %	>35,0 %
x_p , W, %	≤ 10,0 %	10,1–30,0 %	30,1–50,0 %	>50,0 %
$S_{щ}$, см ²	≤ 5,0 %	5,1–30,0 %	30,1–60,0 %	>60,0 %
S_k , см ²	≤ 20,0 %	20,1–50,0 %	50,1–100,0 %	>100,0 %

Поскольку содержание физической глины в исследуемых почвах находится примерно на одном и том же уровне и отклонения минимальные, то данный показатель не использовался в качестве критерия для оценки степени устойчивости почв.

Если критерию присваивается 1 класс устойчивости, значит, показатель слабо изменяется от исходного состояния, 2 класс – умеренная степень изменения, 3 и 4 класс – сильная и очень сильная степень соответственно (табл. 8).

Таблица 8

Оценка устойчивости дерново-палево-подзолистых почв, развивающихся на мощных лессовидных суглинках, к агрогенным воздействиям

Разрез	Критерий									Категория устойчивости почв
	$a_{\phi}(b_{\phi})$	$V_a(V_b)$	y_r	x_p	W	$S_{щ}$	S_k	ЕКО	КУП	
<i>Ошмянско-Минский ПЭР</i>										
6–17	1	1	4	3	3	3	4	3	2,50	Менее устойчивая
9–17	1	1	4	2	2	3	4	3	2,00	Устойчивая
7–17	4	4	2	3	4	2	3	3	3,25	Неустойчивая
<i>Оршанско-Мстиславский ПЭР</i>										
17–17	3	3	3	3	3	3	4	2	3,00	Менее устойчивая
13–17	4	3	1	2	2	3	4	3	2,50	Менее устойчивая
16–17	4	4	4	3	3	2	2	3	3,25	Неустойчивая

Примечание. Категории устойчивости почв: КУП ≤ 1,00 – наиболее устойчивые; 1,01–2,00 – устойчивые; 2,01–3,00 – менее устойчивые; > 3,00 – неустойчивые.

Таким образом, окультуренная почва (разрез 9–17) Ошмянско-Минского ПЭР является устойчивой (КУП = 2,00), окультуренная почва (разрез 6–17) Ошмян-

ско-Минского ПЭР и пахотные почвы (разрез 13–17 и 17–17) Оршанско-Мстиславского ПЭР – менее устойчивые (КУП = 2,50, 2,50 и 3,00 соответственно) по сравнению с естественным аналогом. Среднеэродированные почвы обоих почвенно-экологических районов неустойчивы по сравнению с окультуренными аналогами (КУП = 3,25).

Полученные результаты могут быть использованы для усовершенствования системы показателей оценки агроэкологического состояния почв при проведении научных, мониторинговых исследований, в учебном процессе, разработке мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв на территории землепользователей.

ВЫВОДЫ

Результаты исследования позволили заключить:

– в Ошмянско-Минском ПЭР физическая глина естественной почвы и ее окультуренных аналогов по преобладающей фракции пылеватая (степень насыщенности пылью сильная и очень сильная соответственно), а среднеэродированной – иловатая (слабая степень насыщенности илом); в Оршанско-Мстиславском ПЭР физическая глина естественной и среднеэродированной почв иловатая (средняя и сильная степень насыщенности илом соответственно), а окультуренных аналогов – пылеватая (со средней и сильной степенью насыщенности);

– фактическое содержание ила ($a_{\text{ф}}$) и степень насыщенности физической глины илом (V_a) в почвах обоих ПЭР снижается в последовательности: среднеэродированные почвы → естественные → окультуренные аналоги; а содержание пыли ($b_{\text{ф}}$) и степень насыщенности пылью (V_b) – в обратной последовательности: окультуренные почвы → естественные → среднеэродированные аналоги;

– показатели содержания гумуса в почве (y_r), в физической глине (x_p) и насыщенности физической глины гумусом (W) снижаются в последовательности: естественная почва → окультуренные аналоги → среднеэродированная почва (Ошмянско-Минский ПЭР); окультуренная почва (разрез 13–17) → естественная → окультуренная (разрез 17–17) → среднеэродированный аналог (Оршанско-Мстиславский ПЭР);

– анализ кислотно-основной буферности исследуемых почв позволил установить, что в Ошмянско-Минском ПЭР в кислотном интервале площадь буферности (S_k) в гумусовом и пахотных горизонтах возрастает в последовательности: естественная почва («низкая» естественная буферность) → пахотные аналоги («низкая») → среднеэродированная почва («средняя»), а в щелочном интервале ($S_{\text{щ}}$): среднеэродированная почва («низкая») → пахотные («низкая») → естественный аналог («средняя»);

– в Оршанско-Мстиславском ПЭР в кислотном интервале площадь буферности (S_k) возрастает в последовательности: естественная почва («очень низкая») → пахотная (разрез 17–17, «низкая») → среднеэродированная («низкая») → пахотная почва (разрез 13–17, «средняя»), а в щелочном интервале ($S_{\text{щ}}$): среднеэродированная почва («низкая») → пахотные («низкая») → естественный аналог («средняя»);

- в окультуренных почвах (разрезы 6–17 и 9–17) и среднеэродированной почве (разрез 7–17) Ошмянско-Минского ПЭР и пахотных почвах (разрез 17–17 и 13–17) Оршанско-Мстиславского ПЭР отмечается снижение буферности к подщелачиванию и возрастание к подкислению по сравнению с естественными (для пахотных) и пахотными аналогами (для среднеэродированных почв) соответственно. А в среднеэродированной почве Оршанско-Мстиславского ПЭР отмечается также снижение буферности к подкислению относительно окультуренной почвы (разрез 13–17);
- показатели емкости катионного обмена (ЕКО) возрастают от естественных почв к пахотным аналогам и снижаются в среднеэродированных почвах. В составе ЕКО преобладают катионы обменного Ca^{2+} , затем Mg^{2+} и K^+ : пахотные почвы характеризуются «оптимальным уровнем» их содержания, за исключением почвы (разрез 17–17) – содержание Ca^{2+} «ниже оптимального», и почвы (разрез 13–17) – содержание K^+ превышает критический уровень; содержание Ca^{2+} , Mg^{2+} и K^+ в почве под лесом «ниже оптимального»; в среднеэродированных почвах содержание Ca^{2+} не соответствует «оптимальному» уровню, Mg^{2+} – «оптимальный» в Ошмянско-Минском ПЭР и «выше оптимального» в Оршанско-Мстиславском, K^+ – «оптимальный» уровень;
- на почвах – объектах исследования – найдены криволинейные корреляционные зависимости между производительной способностью и критериями устойчивости почв с показателями, основанными на гумус-гранулометрических отношениях: содержание гумуса в почве, степень насыщенности физической глины пылью (y_p , V_b , $\eta = 0,69$), содержание физической глины и степень насыщенности физической глины илом (z и V_a , $\eta = 0,70$), фактическое содержание ила ($a_{\text{ф}}$, $\eta = 0,72$), содержание гумуса в физической глине и степень насыщенности физической глины гумусом (x_p и W , $\eta = 0,74$ и $0,75$), фактическое содержание пыли в физической глине ($b_{\text{ф}}$, $\eta = 0,83$); с площадями буферности в щелочном ($S_{\text{щ}}$, $\eta = 0,50$) и кислотном интервале ($S_{\text{к}}$, $\eta = 0,80$) и показателями емкости катионного обмена (ЕКО, $\eta = 0,80$);
- установлено, что окультуренная почва (разрез 9–17) Ошмянско-Минского ПЭР является устойчивой (КУП = 2,00), окультуренная почва (разрез 6–17) Ошмянско-Минского ПЭР и пахотные почвы (разрез 13–17 и 17–17) Оршанско-Мстиславского ПЭР – менее устойчивые (КУП = 2,50, 2,50 и 3,00 соответственно) по сравнению с естественным аналогом. Среднеэродированные почвы обоих почвенно-экологических районов неустойчивы по сравнению с окультуренными аналогами (КУП = 3,25).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шульгина, С. В. Изменение минералогического состава, макро- и микроморфологического строения дерново-палево-подзолистых пылевато-суглинистых почв Беларуси под влиянием сельскохозяйственного использования: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / С. В. Шульгина; Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2006. – 140 с.
2. Матыченков, Д. В. Агрогенная трансформация дерново-подзолистых почв, сформировавшихся на лессовидных суглинках: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Д. В. Матыченков; Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2003. – 105 с.

3. Шульгина, С. В. 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.
4. Артемьева, З. С. Органическое вещество и гранулометрическая система почвы / З. С. Артемьева. – М.: ГЕОС, 2010. – 240 с.
5. Дьяконова, К. В. Оценка почв по содержанию и качеству гумуса для производственных моделей почвенного плодородия / К. В. Дьяконова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 32 с.
6. Моделирование отношений элементов полидисперсной системы почв с использованием эталона сравнения / В. С. Крыщенко [и др.] // «Живые и биокосные системы». – 2013. – № 2 – 15 с.
7. Кузнецов, Р. В. Распределение гумуса и минералов по гранулометрическим фракциям в основных типах почв Ростовской области: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.27 / Р. В. Кузнецов; Ростовский госуд. ун-т. – Ростов н/Д, 2004. – 155 с.
8. Травникова, Л. С. Закономерности гумусонакопления: новые данные и их интерпретация / Л. С. Травникова // Почвоведение. – 2002. – № 7. – С. 832–843.
9. Почвы. Методы определения органического вещества: ГОСТ 26213-91. – Введ. 29.12.91. – М: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. – 8 с.
10. Физико-химические методы исследования почв: учеб. пособие / Л. А. Воробьева [и др.]; под ред. Н. Г. Зырина, Д. С. Орлова. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – С. 155–157.
11. Дыдышко, С. В. Взаимосвязь гумуса и гранулометрического состава дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв разной степени агрогенной трансформации (на примере Ошмянско-Минского почвенно-экологического района) / С. В. Дыдышко, Т. Н. Азаренок, С. В. Шульгина // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 20–31.
12. Методические указания по химическому анализу почв для студентов IV курса специальности «Почвоведение» (Определение катионнообменной способности почв) / сост. О. А. Йонко. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2000. – С. 16–18.
13. Надточий, П. П. Определение кислотно-основной буферности почв / П. П. Надточий // Почвоведение. – 1993. – № 4. – С. 34–39.
14. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы определения емкости катионного обмена: ГОСТ 17.4.4.01-84. – Введ. 01.04.1985. – М: Государственный комитет СССР по стандартам, 1984. – 14 с.
15. Туренков, Н. И. Палево-подзолистые почвы Белоруссии / Н. И. Туренков. – М.: Наука и техника, 1980. – 215 с.
16. Соколова, Т. А. Химические основы буферности почв / Т. А. Соколова, Г. В. Мотузова, М. С. Малинина. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 108 с.
17. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (IV тур). – Минск: БелНИИПА, 1992. – Ч. 1. – 167 с.
18. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (IV тур). – Минск: БелНИИПА, 1992. – Ч. II. – 138 с.
19. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (VIII тур) / науч. ред. И. М. Богдевич. – Минск: Хата, 2002. – 507 с.
20. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. – Минск: РУП «Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси», 2006. – 288 с.

21. 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.
22. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2009–2012) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2015. – 276 с.
23. 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.
24. Горбунов, Н. И. Поглощительная способность почв и ее природа / Н. И. Горбунов. – М.: Сельхозгиз, 1948. – 216 с.
25. Кулаковская, Т. Н. Современные данные о роли органического вещества в плодородии почв / Т. Н. Кулаковская // Проблемы накопления и использования органических удобрений. – Минск, 1976. – С. 10–20.
26. Горбылева, А. И. Об уровнях насыщенности почвенного поглощающего комплекса обменными катионами / А. И. Горбылева, М. И. Иванова // сб. науч. тр. / БСХА. – 1989. – С. 5–9.
27. Богдевич, И. М. Магниевые удобрения на дерново-подзолистых почвах: аналитический обзор / И. М. Богдевич, О. Л. Ломонос // Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2009. – 40 с.
28. Ковда, В. А. Биомасса и гумусовая оболочка суши. Биосфера и ее ресурсы / В. А. Ковда, И. В. Якушев; под ред. А. Н. Тюрюканова. – М.: Наука. – С. 132–141.
29. Matula, J. Kationtova vymenna kapacita pudy a jeji vyuziti ke hnojeni / J. Matula // Agrochemia. – 1984. – № 24. – P. 333–337.

ON THE QUESTION OF THE STABILITY OF SOD-PALE-PODZOLIC SOILS FORMED ON POWERFUL LIGHT LOESS-LIKE LOAMS TO AGROGENIC INFLUENCES

S. V. Dydyska, T. N. Azarenok

Summary

The article presents a new interpretation of humus-granulometric relations of sod-pale-podzolic light loamy soils as a result of the cultural process of soil formation. The presence of a general principle of the relationship between the fractions of particle size distribution and the humus state, in particular, between the humus content in physical clay, the humus content in the soil and the grain size fractions through dynamic equilibrium constants is shown. An attempt was made to evaluate the degree of soil stability on the basis of indicators of humus-granulometric relations, buffering in the acid and alkaline ranges, and cation exchange capacity. The data obtained can be used as a new method for assessing soil fertility and stability as a result of agrogenic effects.

Поступила 21.04.2020

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОРОШАЕМОГО И НЕОРОШАЕМОГО ОБЫКНОВЕННЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ЮГА МОЛДОВЫ

В. Е. Алексеев

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

ВВЕДЕНИЕ

В ранее проведенных исследованиях выявлено влияние орошения на минералогический состав карбонатного чернозема юга Молдовы [1, 2]. При этом данные минералогических исследований орошаемых черноземов Молдовы были проанализированы с помощью методики [3]. В отличие от работ 70–90-х годов XX века других авторов, в проведенных исследованиях оценивается влияние орошения не только на глинистые, но и первичные минералы, а также приведены данные балансовых расчетов по потерям в результате орошения тех и других, выраженных в т/га, чего нет в других исследованиях. Представленная статья продолжает исследования влияния ирригации на минералогический состав обыкновенных черноземов с юга Молдовы, орошаемых водой из Днестра.

Исследованиями воздействия орошения на минералогический состав черноземов занимались многие ученые. Так, Н. П. Чижикова установила, что в Воронежской области орошение черноземов водами Дона вызвало увеличение содержания илистой фракции на глубину 1 м, потерю набухающих минералов, увеличение в илистой фракции, тонкой и средней пыли содержания тонкодисперсного кварца [4]. При орошении черноземов, как правило, отмечают присутствие процесса гидрослюдизации (или иллитизации) илистой фракции верхних горизонтов, указывают признаки разрушения илистой фракции и миграции продуктов разрушения по профилю. Среди вероятных причин гидрослюдизации называется диспергация слюд крупного материала, относительное увеличение содержания гидрослюды в результате разрушения смектитовой фазы, образование педогенных гидрослюд при аградационных процессах фиксации калия из разных источников [5, 6, 7]. Установлены и другого рода изменения: прирост ила за счет накопления иллитов, лабильных минералов, реже хлоритов в результате дезинтеграции агрегатов и физического дробления их индивидуальных частиц, а также слюд, гидрослюды и выветренных полевых шпатов [8]. Увеличение содержания ила в орошаемых черноземах за счет повышения количества лабильных минералов наблюдали и в другом исследовании [9]. Орошение предкавказских террасовых черноземов сульфатно-натриевыми водами 30 лет вызвало прирост содержания иллита (на 20 %) и каолинита, снижение содержания смектита и хлорита. Последние мигрируют вглубь по профилю, обнаруживая признаки иллювирирования ила [10]. Т. А. Соколова и др. отмечают противоречивость оценок влияния орошения на черноземы, что, по мнению авторов, может объясняться разными причинами – большое разнообразие природных условий, почвенных свойств, качества поливной воды и длительности орошения черноземов [11].

Задача настоящей статьи состоит в том, чтобы представить результаты изучения влияния орошения на состав и содержание не только глинистых, но и первичных минералов обыкновенного чернозема в сравнении с карбонатными черноземами юга Молдовы [1, 2]. Также важно было оценить минералогическое состояние черноземов с помощью разработанных показателей, сопоставить результаты наших исследований с работами других авторов, отметить различия и выявить совершенно новые сведения. Как уже отмечалось, оценка минералогического состояния орошаемого обыкновенного чернозема проведена с использованием новых методических разработок автора [3].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами сравнительного исследования стали обыкновенные легкоглинистые черноземы Каушанской оросительной системы близ села Оланешты, неорошаемый (разрез 8710) и орошаемый (разрез 8709) аналоги. Разрезы размещены на платообразном участке над склоном к Днестру по правую сторону от шоссе Каушаны–Староказачье на расстоянии примерно 70 м друг от друга и от шоссе. Орошение велось водой Днестра с минерализацией не выше 0,7 г/л. На время отбора почвенных образцов продолжительность орошения составляла 12 лет.

Изучены первичные (фракция >1мкм) и глинистые (фракция <1 мкм) минералы. Фракционное разделение образцов проведено по методике [12]. Карбонаты и органическое вещество перед фракционированием образцов удаляли. Состав первичных и глинистых минералов изучен методом рентгеновской дифрактометрии [13,14]. Количественный анализ проведен по методикам [15,16]. Коэффициент вариации результатов анализа, установленный по стандартным калибровочным смесям минералов, в зависимости от содержания минералов в смеси характеризовался следующими параметрами (отн. %): кварц – 2,9–3,3; полевые шпаты – 3,8–8,9; слюды – 5–20; хлорит – 15–26; группа смектита – 2,5–3,0; иллит – 2,2–2,6; хлорит (ил) – 12–25; каолинит (ил) – 15–25 [17]. Все расчеты произведены на минеральную бескарбонатную часть фракций и почвы.

Анализ распределения минералов по профилю почв и влияния на них процессов педогенеза проведен с помощью 10 показателей [3]:

- 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 отношения 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-сметитовый (**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. При отсутствии закономерного изменения ПИКИ по профилю ПНКИ рассчитывается для каждого горизонта.

Система показателей разработана для диагностики зональных черноземов. В отношении орошаемых черноземов применяется вторично после использования ее для характеристики орошаемого карбонатного чернозема [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первичные минералы представляют собой фракцию >1 мкм, поэтому их распределение по профилю черноземов определяет поведение этой фракции. В неорошаемом черноземе содержание фракции составляет 57,9–60,0 % и увеличивается к верхним горизонтам. В орошаемом черноземе ее количество находится в близких пределах (56,0–59,1 %) и также возрастает к верхней части профиля. В составе фракции обоих черноземов преобладает кварц (65,5–71,6 %). Его содержание во фракции в обоих черноземах повышается вверх по профилю (табл. 1).

Таблица 1

Содержание первичных минералов в черноземах, %

Горизонт	Глубина отбора образца, см	Фракция >1 мкм, %	Фракция >1 мкм						Почва					
			кварц	плаггиоклазы	калиевые полевые шпаты	слюда	хлорит	каолинит	кварц	плаггиоклазы	калиевые полевые шпаты	слюда	хлорит	каолинит
<i>Разрез 8710. Чернозем обыкновенный легкоглинистый, неорошаемый, с. Оланешты</i>														
Ап	0–20	59,2	69,9	11,9	10,2	4,1	2,4	1,5	41,4	7,0	6,0	2,4	1,4	0,9
А	30–40	59,3	69,9	11,8	10,1	4,3	2,4	1,5	41,5	7,0	6,0	2,5	1,4	0,9
В2	80–90	60,0	69,0	12,2	10,5	4,5	2,5	1,3	41,4	7,3	6,3	2,7	1,5	0,8
С	190–200	57,9	67,3	12,6	10,8	4,6	2,7	2,0	39,0	7,3	6,3	2,7	1,6	1,2
<i>Разрез 8709. Чернозем обыкновенный легкоглинистый, орошаемый, с. Оланешты</i>														
Ап	0–20	59,1	71,6	11,8	10,3	3,9	1,3	1,1	42,3	7,0	6,1	2,3	0,8	0,7
А	30–40	58,9	70,7	12,8	10,0	3,7	1,5	1,3	41,6	7,5	5,9	2,2	0,9	0,8
В2	80–90	59,0	68,0	12,1	10,4	5,0	2,4	2,1	40,1	7,1	6,1	3,0	1,4	1,2
С	190–200	56,0	65,5	13,5	11,2	5,0	2,4	2,4	36,7	7,6	6,3	2,8	1,3	1,3

Поведение по профилю почв фракции >1 мкм определяется поведением в ней главным образом кварца. Плаггиоклазы присутствуют в количестве 11,8–13,5 %, калиевые полевые шпаты – 10,0–11,2 %. В обеих группах полевых шпатов отмечается тенденция снижения содержания к верхней части профиля. Слоистые

силикаты во фракции играют подчиненную роль. Слюды составляют 3,7–5,0 %, хлорит – 1,3–2,7 %, каолинит (глинистый минерал) – 1,3–2,4 %. Количество этих минералов к верхним горизонтам в обоих черноземах снижается. Заметнее это выражено в орошаемом черноземе. В пересчете на почву рост показателей по кварцу в верхней части профиля сохраняется. Поведение по профилю почв других минералов остается практически неизменным в сравнении с таковым во фракции. На основании полученных данных можно заключить, что почвообразующие породы исследуемых черноземов в их алюмосиликатной части представляют собой довольно однородные образования.

Глинистые минералы представлены фракцией <1 мкм (табл. 2). В исследуемых черноземах они составляет 40,0–44,0 %. С глубиной их количество возрастает. В составе фракции преобладают смектит (43,9–58,1 %) и иллит (22,7–37,7 %). Хлориту (5,8–7,3 %) и каолиниту (11,7–13,0 %) принадлежат более низкие показатели. Содержание смектита во фракциях обоих черноземов увеличивается с глубиной. Его количество заметно ниже в орошаемом черноземе в сравнении с неорошаемым (43,9–58,1 % против 49,7–57,4 %). Данные по иллиту во фракции, напротив, в обоих черноземах повышаются к верхним горизонтам. Его показатели выше в орошаемом черноземе (22,7–37,7 против 22,9–31,1 %). В пересчете на почву содержание смектита в черноземах находится в пределах 18,0–25,6 %, иллита – 9,6–15,4 %. Отмеченные закономерности в их поведении по профилю сохраняются. В обоих черноземах данные по хлориту снижаются к верхним горизонтам, что более выражено в орошаемом черноземе. Поведение каолинита менее определено.

Таблица 2

Содержание глинистых минералов в черноземах, %

Горизонт	Глубина отбора образца, см	Фракция <1 мкм, %	Фракция <1 мкм				Почва			
			смектит	иллит	хлорит	каолинит	смектит	иллит	хлорит	каолинит
<i>Разрез 8710. Чернозем обыкновенный легкоглинистый, неорошаемый, с. Оланешты</i>										
Ап	0–20	40,8	49,7	31,1	6,6	12,6	20,3	12,7	2,7	5,1
А	30–40	40,7	51,1	29,9	6,2	12,8	20,8	12,2	2,5	5,2
В2	80–90	40,0	54,1	26,9	6,8	12,2	21,6	10,8	2,7	4,9
С	190–200	42,1	57,4	22,9	6,7	13,0	24,2	9,6	2,8	5,5
<i>Разрез 8709. Чернозем обыкновенный легкоглинистый, орошаемый, с. Оланешты</i>										
Ап	0–20	40,9	43,9	37,7	5,8	12,6	18,0	15,4	2,4	5,2
А	30–40	41,1	45,7	35,0	6,8	12,5	18,8	14,4	2,8	5,1
В2	80–90	41,0	53,9	27,2	7,2	11,7	22,1	11,2	3,0	4,8
С	190–200	44,0	58,1	22,7	7,3	11,9	25,6	10,0	3,2	5,2

Приведенные данные по составу минералов исследуемых черноземов позволяют констатировать произошедшие изменения, указывающие на потери минералов при орошении. На этом этапе можно было бы считать, что влияние орошения на минералогический состав обыкновенного чернозема не несет принципиальных отличий от такового в отношении карбонатного чернозема [1].

Минералогическое состояние. Более выразительная и наглядная картина произошедших в исследуемых черноземах процессов складывается на основании показателей их минералогического состояния (табл. 3).

Параметры минералогического состояния силикатной части черноземов

Горизонт	K1	K2	K3	K4	ПИИС	ПНИС	ПИКС	ПНКС	ПИКИ	ПНКИ
<i>Разрез 8710. Чернозем обыкновенный легкоглинистый, неорошаемый, с. Оланешты</i>										
Ап	1,10	1,21	1,13	1,10	0,65	0,25	2,13	0,51	3,26	-0,78
A	1,11	1,18	1,13	1,10	0,61	0,21	2,07	0,46	3,41	
B2	1,06	1,15	1,08	1,12	0,52	0,12	1,99	0,37	3,85	
C	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,00	1,61	0,00	4,04	
<i>Разрез 8709. Чернозем обыкновенный легкоглинистый, орошаемый, с. Оланешты</i>										
Ап	1,22	1,70	1,33	1,24	0,86	0,47	2,36	0,92	2,74	-0,93
A	1,17	1,63	1,27	1,22	0,77	0,38	2,22	0,78	2,89	
B2	1,14	1,07	1,12	1,17	0,50	0,11	1,82	0,38	3,60	
C	1,00	1,00	1,00	1,00	0,39	0,00	1,43	0,00	3,67	

Поведение первичных минералов контролируют показатели K1–K3. В обоих черноземах их значения превышают единицу и увеличиваются вверх по профилю, это указывает на то, что полевые шпаты (K1), слоистые силикаты (K2), те и другие вместе (K3) в обоих черноземах подвержены разрушению, а интенсивность процесса возрастает вверх по профилю. В орошаемом черноземе величины всех показателей K1–K3 весьма существенно превышают таковые в неорошаемом черноземе. Так, в почвенных горизонтах орошаемого чернозема значения K1 находятся в пределах 1,14–1,22 против 1,06–1,10 в неорошаемом черноземе, K2 – в пределах 1,07–1,70 против 1,15–1,21; K3 – 1,12–1,33 и 1,08–1,13 соответственно. Это значит, что природные процессы выветривания первичных минералов, имеющие место в неорошаемом черноземе, в связи с орошением приобретают более интенсивный характер. В результате в почвах с потерей первичных минералов происходит относительное накопление более устойчивого к выветриванию кварца, которое увеличивается к верхним горизонтам. Показатели K2 в обоих черноземах значительно выше показателей K1. Это означает, что слоистые силикаты в таком же количественном соотношении выветриваются интенсивнее, чем полевые шпаты, особенно при орошении. Показатели выветривания первичных минералов в обыкновенных неорошаемом и орошаемом черноземах заметно превышают таковые в аналогичных карбонатных черноземах [1]. Так, например, K1 в орошаемом карбонатном черноземе представлено значениями 1,00–1,06, а K2 – 1,18–1,28, то эти же показатели в обыкновенном орошаемом черноземе составили 1,14–1,22 и 1,07–1,70 и т. д. соответственно.

Показатель K4 характеризует состояние илистой фракции. Его значения в обоих черноземах больше 1 и от породы к верхним горизонтам возрастают. В неорошаемом черноземе они составляют 1,10–1,12 единицы, в орошаемом увеличиваются до 1,17–1,24. Эти данные указывают на то, что в обоих черноземах глинистые минералы, представленные илистой фракцией, разрушаются, причем в орошаемом черноземе процесс протекает интенсивнее. В неорошаемом черноземе потери глинистых минералов, как и первичных, вызваны естественным выветриванием и почвообразованием. В орошаемом черноземе к этому дополнительно причастно воздействие оросительных вод. Обратим внимание на то, что изменения в содержании глинистых минералов по профилю обусловлены именно их потерей. Признаков лессиважа, т. е. переноса по профилю глинистых

минералов без их разрушения не обнаруживается. Наличие по профилю одного только лессиважа должны соответствовать сочетания $K3 = 1$ (отсутствие разрушения первичных минералов) с $K4 > 1$ (потеря глинистых минералов) в горизонте А с $K3 = 1$ (отсутствие разрушения первичных минералов) с $K4 < 1$ (приход глинистых минералов) в горизонте В, чего нет. Если лессиваж сочетается с внутрисочвенным оглиниванием в горизонте В, то такое состояние характеризовалось бы показателями $K3 = 1$ с $K4 > 1$ в горизонте А с $K3 > 1$ и $K4 \ll 1$ в горизонте В [17], чего также не наблюдается. По показателям $K4$ разрушение глинистых минералов в орошаемом обыкновенном черноземе (1,24–1,17) происходит интенсивнее, чем в орошаемом карбонатном черноземе (1,21–1,19) [1].

О влиянии орошения на иллит и смектит следует судить по показателю ПИИС. Его значения в обоих черноземах закономерно увеличиваются от породы к верхним горизонтам. Эти данные указывают на то, что в почвах содержание иллита повышается к верхним горизонтам, а смектита – к породе. Но при этом значения показателя ПИИС в орошаемом черноземе (0,39–0,86) в сравнении с неорошаемым черноземом (0,40–0,65) увеличились, что свидетельствует о том, что орошение приводит к росту в иле содержания иллита или возрастанию эффекта иллитизации. Иначе говоря, свойственная зональным черноземам Молдовы природная иллитизация верхней части профиля под воздействием орошения усиливается [17]. Это наблюдение совпадает с тем, что отмечали и другие исследователи [4–11]. То, что с орошением интенсификация процесса иллитизации нарастает, подтверждается повышением значений показателя ПНИС в орошаемом черноземе в сравнении с неорошаемым с 0,12–0,25 до 0,11–0,47 (табл. 3). По показателям ПИИС в сравнении с карбонатным орошаемым черноземом (0,78–0,63) [1] в обыкновенном иллитизация в верхней части профиля получила более интенсивное развитие (0,86–0,50).

Соотношение по профилю черноземов между кварцем и смектитом (ПИКС) указывает на то, что в горизонтах Ап и А орошение ведет к относительному накоплению кварца в связи с потерей смектита. Это отмечено увеличением в орошаемом черноземе показателя ПИКС в этих горизонтах, в сравнении с неорошаемым черноземом, с 2,07–2,13 до 2,22–2,36. Напротив, в нижней части профиля орошаемого чернозема значения ПИКС становятся ниже (1,43–1,82) таковых в неорошаемом черноземе (1,61–1,99), что указывает на поступление туда, вплоть до породы, дополнительного количества смектита. Это обстоятельство представляет интерес в том отношении, что, во-первых, показывает: смектит может или мигрировать, или, вероятнее, воспроизводиться заново из раствора в карбонатной зоне. Во-вторых, то, что в данном случае мы считаем почвообразующей породой, строго говоря, таковой не является, так как пополняется поступающим из верхних горизонтов материалом почвообразования.

Потерю смектита в верхних горизонтах при орошении водами хорошего качества отмечали и другие исследователи [4,5]. По данным некоторых из них он выносится в процессе лессиважа в более глубокие горизонты [10]. По нашим данным смектит разрушается на месте. Напряженность этого процесса в нашем исследовании по показателям ПНИС возрастает с 0,37–0,51 в неорошаемом черноземе до 0,38–0,92 в орошаемом. Интересно отметить, что в карбонатном орошаемом черноземе последние показатели составили 0,64–0,81 [1]. Эти различия объясняются тем, что в обыкновенном черноземе относительный прирост содержания кварца за счет

выноса смектита интенсивнее происходит в верхних горизонтах, а в карбонатном черноземе этот процесс протекает активнее в более глубоких частях профиля.

Показатели ПИКИ отражают динамику соотношения по профилю между кварцем и иллитом. Их величины, в отличие от других показателей, с глубиной не уменьшаются, а увеличиваются. Причина в том, что соотношение между кварцем и иллитом вверх по профилю складывается в пользу второго, поскольку относительное накопление иллита в профиле черноземов происходит интенсивнее, чем кварца. И чем меньше величина показателя, тем выше накопление иллита. Так, показатели ПИКИ в неорошаемом и орошаемом черноземах вверх по профилю закономерно уменьшаются, отражая усиление в этом направлении иллитизации. Их значения находятся соответственно в пределах 4,04–3,26 и 3,67–2,74. В результате такого поведения по профилю значений ПИКИ показатель напряженности процесса ПНКИ для каждого чернозема приобретает отрицательное значение. По разнице между показателями верхнего горизонта и породы ПНКИ для всего профиля неорошаемого чернозема составил – 0,78 единицы, для профиля орошаемого чернозема – 0,93. Чем показатель в отрицательном значении ниже, что имеет место в орошаемом черноземе по сравнению с неорошаемым, тем выше интенсивность и объем накопления иллита в почве. Поскольку иллит менее устойчив к выветриванию в сравнении с кварцем, его более интенсивное относительное накопление в почве в сравнении с кварцем указывает на то, что в илистой фракции он накапливается в результате физической диспергации слюдогенного материала крупных фракций и вероятной необменной фиксации биогенного калия высокозарядным смектитом. Иллит в илистой фракции не может не разрушаться, но этот процесс протекает медленнее в сравнении с противоположно направленными двумя другими, указанными выше [1].

ВЫВОДЫ

Орошение водами хорошего качества из Днестра в течение 12 лет привело к изменению минералогического состояния обыкновенного легкоглинистого чернозема. Ирригация, дополнительно к естественному выветриванию, вызвала разрушение силикатных минералов и относительное накопление в почве более устойчивого к выветриванию кварца, что дает основание относить орошение к негативному для почвы антропогенному воздействию. Изучение, наряду с глинистыми, первичных минералов, позволило установить относительное накопление кварца не только в илистой фракции, но и в почве в целом по причине разрушения тех и других. Преобразования в составе глинистых минералов сопровождаются выветриванием смектита и накоплением иллита или иллитизацией верхней части профиля чернозема. Иллитизация усиливается поступлением в ил слюдогенного материала из крупных фракций и вероятной необменной фиксации биогенного калия высокозарядным смектитом. Выветриванию подвергаются также хлорит и каолинит, происходит потеря илистой фракции. Эти данные согласуются с данными других исследователей. В отличие от работ других авторов, в которых фиксируется лессиваж смектита, в нашем случае установлено разрушение его на месте. Полученные результаты во многом повторяют те, что были установлены при изучении карбонатного чернозема [1]. Отличия связаны с усилением деградационных процессов в обыкновенном черноземе в сравнении с карбонатным. Эти данные не согласуются

с утверждением, что при хорошем качестве поливной воды орошение черноземов даже длительное время не приводит к существенным изменениям в составе их минеральных компонентов. К определенным достижениям относим успешное, на наш взгляд, применение системы показателей оценки минералогического состояния черноземов не только в их природном виде, но и в процессе ирригации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев, В. Е.* Сравнительная характеристика минералогического состояния сопряженной пары орошаемого и неорошаемого карбонатных черноземов юга Молдовы / В. Е. Алексеев // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – №1(62). – С. 32–40.
2. *Алексеев, В. Е.* Сопряженная пара орошаемого и неорошаемого карбонатных черноземов юга Молдовы: баланс минералов / В. Е. Алексеев // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 41–49.
3. *Алексеев, В. Е.* Способ оценки минералогического состояния силикатной части черноземов / В. Е. Алексеев // Почвоведение. – 2012. – № 2. – С. 189–199.
4. *Чижикова Н. П.* Изменение минералогического состава черноземов типичных при орошении / Н. П. Чижикова // Почвоведение. – 1991. – № 2. – С. 65–81.
5. *Чижикова, Н. П.* Преобразование минералогического состава черноземов южных юго-запада Украины при орошении // Н. П. Чижикова [и др.] // Почвоведение. – 1992. – № 8. – С.77–87.
6. *Чижикова, Н. П.* Статистическая оценка изменения минералогического состава ила степных почв при орошении / Н. П. Чижикова, Н. Б. Хитров, В. С. Дуженко // Почвоведение. – 1992. – № 4. – С. 59–71.
7. *Чижикова, Н. П.* Влияние орошения на изменение минералогического состава черноземов и каштановых почв / Н. П. Чижикова // Почвоведение. – 1995. – № 1. – С. 128–144.
8. *Приходько, В. Е.* Орошаемые степные почвы: функционирование, экология, продуктивность / В. Е. Приходько. – М.: Интеллект, 1996. – 168 с.
9. *Топунова, И. В.* Влияние орошения на содержание и минералогический состав илистой фракции черноземов Ростовской области (Багаевско-Садковская оросительная система) / И. В. Топунова, В. Е. Приходько, Т. А. Соколова // Вестник Московского университета. – Серия 17. Почвоведение. – 2010. – № 1. – С. 6–13.
10. *Крыщенко В. С.* Изменение минеральной части предкавказских террасовых черноземов при орошении / В. С. Крыщенко, А. Я. Вигутова, Э. Ф. Рязанова // Почвоведение. – 1983. – № 8. – С. 89–99.
11. *Соколова, Т. А.* Глинистые минералы в почвах / Т. А. Соколова, Т. Я. Дронова, И. И. Толпешта. – М., 2005. – 336 с.
12. *Алексеев, В. Е.* Методика супердисперсного фракционирования почв и пород при их минералогическом анализе / В. Е. Алексеев, К. Г. Арапу, А. Н. Бургеля // Почвоведение. – 1996. – № 7. – С. 873–878.
13. Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов / под ред. Г. Брауна. – М.: Мир, 1965. – 599 с.
14. Рентгенография основных типов породобразующих минералов / под ред. В. С. Власова [и др.]. – Л.: Недра, 1983. – 359 с.

15. Алексеев, В. Е. Способ количественного определения первичных минералов в почвах и породах методом рентгеновской дифрактометрии / В. Е. Алексеев // Почвоведение. – 1994. – № 1. – С. 104–109.

16. Алексеев, В. Е. Глинистые минералы в лесных почвах Молдавии // Генезис и рациональное использование почв Молдавии / В. Е. Алексеев [и др.]. – Кишинев: Штиинца, 1977. – С. 23–41.

17. Алексеев, В. Е. Минералогия почвообразования в степной и лесостепной зонах Молдовы: диагностика, параметры, факторы, процессы / В. Е. Алексеев. – Кишинев, 1999. – 241 с.

COMPARATIVE CHARACTERISTIC OF THE MINERALOGICAL STATE OF IRRIGATED AND NON-IRRIGATED ORDINARY CHERNOZEMS OF SOUTH OF MOLDOVA

V. E. Alekseev

Summary

Irrigation of ordinary chernozems in the South of Moldova with water of good quality from the Dniester river for 12 years caused changes in the composition of primary and clay minerals. They were expressed in a marked decrease in the content of both groups of minerals and in the relative accumulation of quartz in the soil. Among the primary minerals, feldspars and layered silicates were destroyed, while among the clay minerals, smectite, chlorite, and kaolinite were destroyed. Signs of smectite transfer along the profile and accumulation in horizon B, as noted by other researchers, have not been established. Indicators of changes in the mineralogical state indicate that the upper part of the irrigated Chernozem, along with quartz, receives additional enrichment with illite. The destruction of silicate minerals and the relative accumulation of quartz in the soil should be attributed to the negative impact of irrigation on the soil.

Поступила 18.03.2020

УДК 631.4:549.905.8

ОРОШАЕМЫЙ И НЕОРОШАЕМЫЙ ОБЫКНОВЕННЫЕ ЧЕРНОЗЕМЫ ЮГА МОЛДОВЫ: БАЛАНС МИНЕРАЛОВ

В. Е. Алексеев

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

ВВЕДЕНИЕ

Сравнительная характеристика неорошаемого и орошаемого легкогоглинистых обыкновенных черноземов с юга Молдовы, представленная в предыдущей статье, показала значительные изменения минералогического состояния в оро-

шаемом аналоге в сравнении с неорошаемым. Изменения затронули не только глинистые, но и первичные минералы. Цель и задача проведенных исследований – с помощью показателей баланса масс минералов детализировать и углубить оценку установленных трансформаций, показать, чему по объемам масс минералов они соответствуют. Такие данные в минералогических исследованиях орошаемых черноземов публикуются впервые. Это стало возможным, так как исследования охватывают не только глинистые, но и первичные минералы с их количественной оценкой. Вместе с этим преследуется цель проверить применимость данного приема оценки минералогических преобразований, разработанного для зональных черноземов [1], в отношении черноземов, подверженных ирригации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований являлись легкоглинистые обыкновенные черноземы Каушанской оросительной системы близ села Оланешты – неорошаемый (разрез 8710) и орошаемый (разрез 8709). Расположены они на плато над склоном к Днестру по правую сторону от шоссе Каушаны–Староказачье на расстоянии примерно 70 м от шоссе и друг от друга. Орошение велось водой из Днестра с минерализацией не выше 0,7 г/л на протяжении 12 лет.

В результате оценки минералогического состояния исследуемых черноземов были установлены изменения, связанные с потерями первичных и глинистых минералов при орошении, выраженные в процентах от веса исходной породы. Вместе с тем интерес представляют данные по потерям масс минералов при орошении почв в указанных выше условиях, выраженные в весовых единицах, например, в т/га. Балансовые расчеты в отношении тех или иных показателей вещественного состава почвы предполагают исходную однородность почвообразующей породы. Мы допускаем такую однородность породы, так как абсолютно однородные породы даже теоретически невозможны. Принимались во внимание данные минералогического состава черноземов, приведенные в предыдущей статье, которые позволяют судить об относительной однородности их пород.

Как и в статье, посвященной карбонатным черноземам [2], для расчетов в нашем распоряжении были следующие показатели: результаты количественной оценки содержания первичных и глинистых минералов в горизонтах Ап, А, В2 и С, выраженные в весовых процентах, и мощности этих горизонтов. Для балансовых расчетов масс минералов отсутствовали данные по их содержанию в горизонтах В1, ВС и данные по плотности перечисленных горизонтов. Чтобы получить сравнимые результаты по потерям масс минералов в исследуемых черноземах, пришлось ограничиться толщиной почв, представленной горизонтами Ап, А, В1 и В2. Горизонты В1 и В2 потребовалось объединить в один В1–В2, поскольку данные количественного определения минералов были только по горизонту В2. Мощность горизонтов в неорошаемом и орошаемом черноземах была практически одинаковыми. Данные по плотности горизонтов для обыкновенных черноземов легкоглинистого гранулометрического состава взяли из работы, содержащей статистический материал по физическим свойствам почв Молдовы [3]. Они

составили по генетическим горизонтам вглубь по профилю от 1,15 до 1,41 г/см³. Возможное уплотнение почвы при орошении во внимание не принималось. Все расчеты по обоим черноземам при описанных выше условиях были проведены на глубину 112 см. Недостатки подобных расчетов очевидны. Однако полученная в результате информация представляет научный интерес, поскольку приближает нас к реальным размерам изменения силикатной части черноземов при их ирригации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты произведенных балансовых расчетов по первичным и глинистым минералам проследим с помощью двух видов таблиц. В одних баланс минералов представлен в кг/100 кг породы (табл. 1, 2), в других – в виде масс минералов данного горизонта почвы и в целом для профиля почвы на определенную глубину, выраженных в т/га, с использованием данных первых двух таблиц (табл. 3, 4). В первой части таблиц 1, 2 представлено содержание первичных или глинистых минералов, выраженное в весовых процентах от минеральной, свободной от карбонатов части почвы, во второй – содержание минералов в горизонтах, приведенное к количеству кварца в породе, в третьей – собственно баланс минералов как разница в показателях между породой и горизонтом во второй части таблицы.

Полученные результаты показывают, что баланс первичных минералов в обоих черноземах по всем минералам отрицательный. По полевым шпатам неорошаемого чернозема он измеряется, в частности, по плагиоклазам – в 0,4–0,7, калиевым полевым шпатам – 0,3–0,6 кг/100 кг породы, слюдам – 0,1–0,4, хлориту и каолиниту – 0,2–0,4 кг/100 кг породы. Общие потери первичных минералов по профилю составили 1,4–2,2 кг/100 кг породы. Потери первичных минералов в орошаемом черноземе заметно выше и в суммарном измерении по профилю выразились в 2,0–4,8 кг/100 кг породы. В обоих черноземах потери плагиоклазов выше потерь калиевых полевых шпатов, что указывает на меньшую устойчивость к выветриванию первых в сравнении со вторыми.

Результаты по глинистым минералам носят иной характер. Их отрицательный баланс в обоих черноземах обнаруживается только по трем минералам – смектиту, хлориту и каолиниту. По иллиту он положительный. При этом положительный баланс по иллиту в горизонтах Ap и A неорошаемого чернозема в тех же горизонтах орошаемого продолжает увеличиваться (в первом случае 1,8–2,3, во втором – 2,8–3,4 кг/100 кг), тем самым свидетельствуя, что орошение активизирует процесс иллитизации. В неорошаемом черноземе наибольшие потери среди глинистых минералов принадлежат смектиту. Они увеличиваются от породы к верхним горизонтам и составляют в неорошаемом черноземе 3,8–5,1, в орошаемом – 5,4–10,0 кг/100 кг породы, т. е. выше в сравнении с неорошаемым. Потери хлорита и каолинита в орошаемом черноземе также выше в сравнении с неорошаемым черноземом. Общий отрицательный баланс глинистых минералов в неорошаемом черноземе составил 3,7–4,5, в орошаемом – 6,6–8,6 кг/100 кг породы.

Окончание табл. 2

Горизонт	Глубина отбора образца, см	Весовой % в силикатной части почвы				Мгп, кг/100кг породы				Мд, кг/100кг породы				Баланс минералов, кг/100кг породы					
		Смектит	Иллит	Хлорит	Каолинит	Фракция $\Delta 1\mu\text{м}$	Смектит	Иллит	Хлорит	Каолинит	Сумма	Смектит	Иллит	Хлорит	Каолинит	Баланс первичных минералов	Баланс вторичных минералов	Баланс глинистых минералов	Баланс оптических минералов
A	30-40	20,8	12,2	2,5	5,2	40,7	19,6	11,4	2,4	4,9	38,3	-4,6	1,8	-0,4	-0,6	-3,8	-2,1	-3,8	-5,9
B2	80-90	21,6	10,8	2,7	4,9	40,0	20,4	10,1	2,6	4,6	37,6	-3,8	0,5	-0,3	-0,9	-4,5	-1,4	-4,5	-5,9
C	190-200	24,2	9,6	2,8	5,5	42,1	24,2	9,6	2,8	5,5	42,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Разрез 8709. Чернозем обыкновенный, левоглинистый, орошаемый, с. Оланешты</i>																			
Ап	0-20	18,0	15,4	2,4	5,2	40,9	15,6	13,4	2,1	4,5	35,5	-10,0	3,4	-1,2	-0,8	-8,6	-4,8	-8,6	-13,4
A	30-40	18,8	14,4	2,8	5,1	41,1	16,5	12,7	2,5	4,5	36,2	-9,0	2,7	-0,8	-0,7	-7,8	-4,2	-7,8	-12,0
B2	80-90	22,1	11,2	3,0	4,8	41,0	20,2	10,2	2,7	4,4	37,5	-5,4	0,2	-0,5	-0,9	-6,6	-2,0	-6,6	-8,6
C	190-200	25,6	10,0	3,2	5,2	44,0	25,6	10,0	3,2	5,2	44,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Таблица 3

Баланс масс первичных минералов силикатной части черноземов

Горизонт	Глубина, см	Мощность, см	Плотность, г/см ³	Масса, т/га	Плагиоклазы		Калиевые полевые шпаты		Слюда		Хлорит		Каолинит		Баланс погоризонтный	
					весовый, %	т/га	весовый, %	т/га	весовый, %	т/га	весовый, %	т/га	весовый, %	т/га	весовый, %	т/га
<i>Разрез 8710. Чернозем обыкновенный, левоглинистый, неорошаемый, с. Оланешты</i>																
Ап	0-30	30	1,15	3450	-0,7	-23	-0,6	-20	-0,4	-13	-0,2	-8	-0,3	-11	-2,2	-75
A	30-55	25	1,28	3200	-0,7	-23	-0,6	-20	-0,3	-9	-0,2	-7	-0,3	-10	-2,1	-69
B1, B2	55-112	57	1,41	8037	-0,4	-33	-0,3	-26	-0,1	-10	-0,2	-12	-0,4	-34	-1,4	-115
C	190-200	-	-	-	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
Профильный баланс минералов, т/га															-	-259

Разрез 8709. Чернозем обыкновенный легкоглинистый, орошаемый, с. Оланешты

Ап	0-30	30	1,15	3450	-1,5	-52	-1,0	-34	-0,8	-28	-0,7	-23	-0,8	-27	-4,8	-164
А	30-55	25	1,28	3200	-0,9	-29	-1,1	-35	-0,9	-28	-0,6	-18	-0,7	-21	-4,2	-131
В1, В2	55-112	57	1,41	8037	-1,0	-83	-0,7	-53	-0,1	-8	0,0	-4	-0,2	-17	-2,0	-165
С	190-200	-	-	-	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
Профильный баланс минералов, т/га					-	-164	-	-122	-	-64	-	-45	-	-65	-	-460
Изменение баланса минералов после орошения, т/га					-	-85	-	-56	-	-32	-	-18	-	-10	-	-201

Таблица 4

Баланс масс глинистых и общий баланс масс минералов силикатной части черноземов

Разрез 8710. Чернозем обыкновенный легкоглинистый, неорошаемый, с. Оланешты

Горизонт	Глубина, см	Мощность, см	Плотность, г/см ³	Мас-са, т/га	Смектит		Иллит		Хлорит		Каолинит		Баланс глинистых минералов		Баланс масс минералов, 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	Бпм	Бо
Ап	0-30	20	1,15	3450	-5,1	-176	2,3	80	-0,3	-10	-0,6	-22	-3,7	-128		
А	30-55	30	1,28	3200	-4,6	-147	1,8	58	-0,4	-14	-0,6	-18	-3,8	-121		
В1, В2	55-112	55	1,41	8037	-3,8	-305	0,5	39	-0,3	-21	-0,9	-71	-4,5	-358	-259	-607
С	190-200	-	-	-	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0		-866
Профильный баланс минералов, т/га					-	-628	-	177	-	-45	-	-111	-628	-		
<i>Разрез 8709. Чернозем обыкновенный легкоглинистый, орошаемый, с. Оланешты</i>																
Ап	0-30	20	1,15	3450	-10	-345	3,4	117	-1,2	-41	-0,8	-28	-8,5	-297		
А	30-55	30	1,28	3200	-9	-288	2,7	86	-0,8	-26	-0,7	-22	-7,8	-250		
В1, В2	55-112	55	1,41	8037	-5,4	-434	0,2	16	-0,5	-40	-0,9	-72	-6,5	-530	-460	-1077
С	190-200	-	-	-	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0		-1537
Профильный баланс минералов, т/га					-	-1067	-	219	-	-107	-	-122	-	-1077		
Изменение баланса минералов после орошения, т/га					-	-439	-	42	-	-62	-	-11	-	-201	-470	-671

Баланс масс первичных и глинистых минералов в исследуемых черноземах представлен в табл. 3, 4. Потери плагиоклазов в неорошаемом черноземе при естественных процессах выветривания и почвообразования составили 79 т/га. В орошаемом черноземе они выразились в 164 т/га, т. е. возросли на 85 т/га. Соизмеримость потерь плагиоклазов в неорошаемом черноземе за всю историю его существования с потерями их в орошаемом черноземе всего только после 12 лет ирригации выглядит совершенно неожиданной. Аналогичная картина наблюдается и в отношении других минералов. Так, отрицательный баланс по калиевым полевым шпатам в неорошаемом черноземе составил 66 т/га, в орошаемом – 122 т/га, увеличившись на 56 т/га. Потери слюд выразились соответственно в 32 и 64 т/га и возросли вдвое. Потери хлорита в орошаемом черноземе увеличились на 18 т/га, а каолинита (глинистый минерал) – на 10 т/га. Суммарные потери первичных минералов в орошаемом черноземе составили 460 т/га и возросли по отношению к неорошаемому чернозему (259 т/га) на 201 т/га.

Наибольший отрицательный баланс масс среди глинистых минералов принадлежит смектиту (табл. 4). В неорошаемом черноземе он составил 628 т/га, в орошаемом – 1067 т/га. Орошение увеличило потери смектита на 439 т/га. В результате орошения положительный баланс иллита в неорошаемом черноземе возрос с 177 т/га в орошаемом до 219 т/га, увеличившись вследствие продолжающейся иллитизации на 42 т/га. Потери хлорита в результате орошения увеличились с 45 до 107 т/га и составили дополнительные 62 т/га. Каолинит при орошении утратил еще 11 т/га. Отрицательный баланс масс глинистых минералов в целом в неорошаемом черноземе составил 607 т/га, в орошаемом черноземе этот показатель возрос до 1077 т/га, увеличившись на 470 т/га. Общий отрицательный баланс масс в орошаемом черноземе по первичным и глинистым минералам достиг 1537 т/га, увеличив общие потери от ирригации на 671 т/га. Заметим, что описанные выше неожиданно большие потери минералов в орошаемом обыкновенном черноземе наблюдались нами и в орошаемом карбонатном черноземе [2]. Соизмеримость объемов разрушения минералов при орошении черноземов с разрушением их на протяжении всей их истории пока не находит у нас объяснения.

ВЫВОДЫ

Оценка влияния орошения на протяжении 12 лет обыкновенного легкоглинистого чернозема юга Молдовы водами хорошего качества из Днестра показала, что потери от ирригации первичных минералов составили 201 т/га, глинистых – 470 т/га. Из глинистых минералов наибольшие потери (439 т/га) связаны со смектитом. Неожиданно разрушения первичных и глинистых минералов от орошения оказались соизмеримыми с потерями первичных (259 т/га) и глинистых (607 т/га) минералов за всю историю формирования данного чернозема. В сравнении с аналогичными данными по орошаемому карбонатному чернозему (орошение 11 лет также из Днестра) вынос в нем первичных минералов составил всего 56 т/га, что было объяснено проявлением неоднородности породы [2]. Потери глинистых минералов достигли 269 т/га, что оказалось меньше, чем в обыкновенном черноземе. Таким образом, орошение обыкновенного чернозема вызвало более значительные изменения в составе первичных и глинистых минералов, чем в карбонатном. Исследования обыкновенного чернозема подтвердили, что

наибольшие потери глинистых минералов связаны со смектитом. Он не переносится по профилю в процессе лессиважа, а разрушается на месте. В результате орошения свойственная черноземам природная иллитизация верхней части профиля усиливается. Прирост иллита в обыкновенном черноземе составил 42 т/га. Изменения в составе минеральной части черноземов при орошении следует отнести к категории деградационных. В обыкновенном черноземе в сравнении с карбонатным они возрастают. Общие высокие потери минералов силикатов при орошении нуждаются в объяснении. Проведенные исследования подтвердили применимость использованного приема расчета баланса минералов при оценке изменений в минералогическом составе орошаемых черноземов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев, В. Е.* Способ оценки минералогического состояния силикатной части черноземов / В. Е. Алексеев // Почвоведение. – 2012. – № 2. – С. 189–199.
2. *Алексеев, В. Е.* Сопряженная пара орошаемого и неорошаемого карбонатных черноземов юга Молдовы: баланс минералов / В. Е. Алексеев // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1 (62). – С. 41–49.
3. *Атаманюк, А. К.* Физические и мелиоративные свойства почв Молдавии / А. К. Атаманюк, П. М. Владимир, Л. С. Карапетян. – Кишинев: Штиинца, 1977. – 70 с.

CONJUGATE PAIR OF IRRIGATED AND NON-IRRIGATED CARBONATE CHERNOZEMS OF THE SOUTH OF MOLDOVA: BALANCE OF MINERALS

V. E. Alekseev

Summary

The balance of mineral masses of the silicate part of the ordinary Chernozem irrigated for 12 years with good quality waters from the Dniester in comparison with non-irrigated ordinary Chernozem revealed losses from irrigation of primary minerals in the amount of 201 t/ha, clay minerals – 470 t/ha. The losses were comparable with the losses of primary (259 t/ha) and clay (607 t/ha) minerals in the entire history of the formation of this chernozem. Irrigation caused additional illitization of the upper part of the chernozem profile and an increase in the amount of illite by 42 t/ha. Amongst clay minerals, the greatest losses (439 t/ha) are associated with smectite. Smectite losses occurred on the spot without moving it deeper into the profile. The applicability of the method used for calculating the mineral balance in assessing changes in the mineralogical composition of irrigated chernozems in Moldova was confirmed.

Поступила 18.03.2020

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.85:631.445.24

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФОСФАТОВ РАЗЛИЧНОЙ РАСТВОРИМОСТИ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ С ОЧЕНЬ ВЫСОКИМИ ЗАПАСАМИ ФОСФОРА

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное земледелие приводит к повышению плодородия дерново-подзолистых почв. В результате возрастает доля почв с очень высоким содержанием подвижных фосфатов. Значительный потенциал данных почв позволяет получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур с минимальными затратами.

Но поскольку все процессы окультуривания обратимы, то свойства антропогенно-преобразованных почв являются неустойчивыми, и чем в большей степени они изменены по отношению к исходным показателям, тем в большей степени неравновесное состояние возникает.

В исследованиях по изучению фосфатного режима почв [1, 2] показано, что фосфор, внесенный с удобрениями, используется растениями в первый год лишь на 10–20 %. Остаточные фосфаты играют большую роль в фосфатном режиме окультуренных почв и обеспеченности растений фосфором, их доступность варьирует в зависимости от свойств почвы, количества внесенных фосфатов, времени взаимодействия фосфорных удобрений с почвой, биологических особенностей культур и других факторов. Среди указанных факторов способность почвы «поглощать» фосфаты имеет особое значение.

С предшествующей удобренностью почв тесно связана и эффективность фосфорных удобрений. С одной стороны, внесение фосфорных удобрений в условиях их высокого содержания в почве нецелесообразно, с другой стороны, как показывает анализ изменения содержания подвижных фосфатов, ежегодное его падение в пахотном слое почвы идет более интенсивно, чем накопление при окультуривании [3].

Изучение фосфатного режима почвы с очень высоким содержанием элемента, доступности растениям остаточных форм, их трансформации в почвах имеет важное теоретическое и практическое значение. В настоящее время существует множество методов агрохимического анализа, используемых для характеристики фосфатного режима. Основанием для применения того или иного метода при извлечении фосфатов из различных почв должен служить состав фосфорных

соединений в изучаемых почвах и подбор наиболее подходящего растворителя. Естественно, что разные растворители извлекают различные количества фосфора из одной и той же почвы и нельзя считать один из методов оптимальным для какого-нибудь типа почв на основании того, что применение его показывает наибольшее или наименьшее содержание фосфатов в почве. Некоторые почвы в силу своих природных особенностей, обусловленных характером почвообразовательных процессов в них, содержат высокие количества кислотнорастворимого фосфора, которые не соответствуют фактической степени обеспеченности этих почв фосфатами [4]. В данном случае для характеристики плодородия в отношении фосфора более приемлемы водные и слабосолевые вытяжки [5]. Есть данные [6, 7], что использование метода Кирсанова для контроля за изменением содержания подвижных фосфатов в дерново-подзолистой почве, особенно с высоким содержанием подвижных фосфатов и степени их подвижности более 0,4 мг/л, малопригоден, лучше пользоваться методом Олсена, Гинзбург-Артамоновой или дополнять определение фосфора по Кирсанову установлением степени подвижности фосфатов. Следовательно, только соответствие в показаниях аналитических данных, полученных химическим методом, с данными эффективности фосфорных удобрений на исследуемых почвах может послужить характеристикой метода.

Установление направленности изменений фосфатного состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы с очень высоким содержанием подвижных фосфатов в условиях остаточного последействия фосфорных удобрений с использованием методов определения фосфатов различной растворимости явилось целью наших исследований.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение фосфатного режима дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы с очень высоким содержанием подвижных фосфатов в условиях последействия органических и фосфорных минеральных удобрений проводилось в 2012–2018 гг. в стационарном технологическом опыте, заложенном на полях Института почвоведения и агрохимии, расположенных в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области. Агрохимическая характеристика пахотного слоя на начало проведения исследований: pH_{KCl} 6,02–6,33, гумус – 2,07–2,40 %, содержание подвижных форм (по Кирсанову) P_2O_5 – 736–847, K_2O – 387–432 мг/кг почвы.

Исследования проводили в двух последовательно открывающихся полях в зернопропашном севообороте со следующим чередованием культур: кукуруза на зеленую массу (2013–2014 гг.) – яровая пшеница (2014–2015 гг.) – яровой ячмень (2015–2016 гг.) – яровой рапс (2016–2017 гг.) – озимая пшеница (2017–2018 гг.).

В опыте предусматривалось внесение минеральных удобрений на разных органических фонах. Органические удобрения – подстилочный навоз КРС со следующими показателями качества (на естественную влажность в среднем за 2 года): N – 0,50 %, P_2O_5 – 0,28 %, K_2O – 0,60 %, CaO – 0,40 %, MgO – 0,12 %, влажность – 75 %, вносили осенью перед посевом кукурузы.

Минеральные удобрения – карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий применяли согласно схеме опыта (табл. 1).

Таблица 1
Изменение содержания фосфатов различной растворимости в пахотном слое дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы за ротацию севооборота (среднее по двум полям)

Вариант	Степень подвижности, мг/л раствора			Подвижные (по Кирсанову), мг/кг почвы						По Чирикову, мг/кг почвы					
	±			±			±			±			±		
	н. р.	к. р.	н. р.	н. р.	к. р.	н. р.	н. р.	к. р.	н. р.	н. р.	к. р.	н. р.	к. р.	н. р.	к. р.
Без удобрений – фон 1	1,69	1,26	-0,43	805	749	-56	399	376	-23	1128	1042	-86			
Фон 1 + N ₃₃₀	1,64	1,18	-0,46	736	731	-5	377	358	-19	1104	1068	-36			
Фон 1 + N ₄₈₀	1,63	1,05	-0,58	790	725	-65	396	366	-30	1129	1081	-48			
Фон 1 + N ₆₃₀	1,58	1,06	-0,52	804	704	-100	381	368	-13	1084	1047	-37			
Фон 1 + N ₆₃₀ P ₉₀ K ₁₉₅	1,45	1,12	-0,33	774	691	-83	369	358	-11	1134	1115	-19			
Среднее по фону	1,60	1,13	-0,47	782	720	-62	384	365	-19	1116	1071	-45			
Навоз 50 т/га – фон 2	1,64	1,35	-0,29	792	764	-28	417	423	6	1089	1079	-10			
Фон 2 + N ₃₃₀	1,68	1,32	-0,36	795	768	-27	399	406	7	1121	1084	-37			
Фон 2 + N ₄₈₀	1,80	1,34	-0,46	847	804	-43	425	423	-2	1175	1096	-79			
Фон 2 + N ₆₃₀	1,74	1,27	-0,47	781	753	-28	395	392	-3	1155	1060	-95			
Фон 2 + N ₆₃₀ P ₉₀ K ₁₉₅	1,79	1,51	-0,28	814	781	-33	403	402	-1	1174	1117	-57			
Среднее по фону	1,73	1,36	-0,37	806	774	-32	408	409	1	1143	1087	-56			
Навоз 100 т/га – фон 3	1,76	1,48	-0,28	809	802	-7	419	417	-2	1134	1084	-50			
Фон 3 + N ₃₃₀	1,63	1,37	-0,26	782	751	-31	392	398	6	1150	1074	-76			
Фон 3 + N ₄₈₀	1,71	1,26	-0,45	769	747	-22	377	386	9	1122	1047	-75			
Фон 3 + N ₆₃₀	1,58	1,38	-0,20	802	775	-27	396	409	13	1114	1082	-32			
Фон 3 + N ₆₃₀ P ₉₀ K ₁₉₅	1,68	1,62	-0,06	781	784	3	416	428	12	1091	1094	3			
Среднее по фону	1,67	1,42	-0,25	789	772	-17	400	408	8	1122	1076	-46			
НСР ₀₅ (фон)	F _ф < F ₀₅	0,12		F _ф < F ₀₅	36		F _ф < F ₀₅	27		F _ф < F ₀₅	F _ф < F ₀₅				
НСР ₀₅ (н. р. / к. р.)		0,15			33			19			F _ф < F ₀₅				

Примечание. н. р. – начало ротации севооборота; к. р. – конец ротации севооборота.

Перед закладкой опыта (2012, 2013 гг.), в середине ротации (2015, 2016 гг.) и после завершения ротации севооборота (2018, 2019 гг.) проведен отбор смешанных почвенных образцов из пахотного слоя по деланкам.

Для определения степени подвижности фосфатов – показателя способности почвенных фосфатов отдавать фосфат-ионы в раствор – использовали метод Карпинского–Замятиной (0,015 М K_2SO_4). Соединения фосфора, которые переходят в растворы слабых кислот, щелочей и некоторых солей называют растворимыми или подвижными фосфатами [4]. В Республике Беларусь для определения подвижных фосфатов общепринятым является метод Кирсанова (0,2 М HCl вытяжка). Также проводили неполное определение группового состава фосфатов по Чирикову, а именно извлечение I + II группы фосфатов (0,5 М уксусная кислота) и III группы, (извлечение 0,5 М соляной кислотой за вычетом фосфатов, растворимых 0,5 М уксусной кислотой). По заключению автора [8], первые три группы фосфатов являются основным источником питания растений фосфором. Количественным показателем подвижного фосфора в дерново-подзолистых почвах является содержание P_2O_5 в уксуснокислой вытяжке. Содержание P_2O_5 в 0,5 М HCl вытяжке рассматривают как показатель запаса фосфатов, за счет которого пополняется убыль усвояемого растениями фосфора.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее тесную связь с почвообразованием и степенью окультуренности почвы, по мнению Н. П. Карпинского [5], имеют общее содержание и формы почвенных фосфатов. Устойчивый уровень фосфатного питания является показателем плодородия почвы, определяющим гарантированно высокую урожайность сельскохозяйственных культур. Отказ от фосфорных удобрений в опыте, как и применение невысоких доз фосфора, привело к ухудшению фосфатного состояния, при этом отмечалась различная интенсивность изменений в запасах фосфатов различной растворимости в зависимости от изучаемого фона.

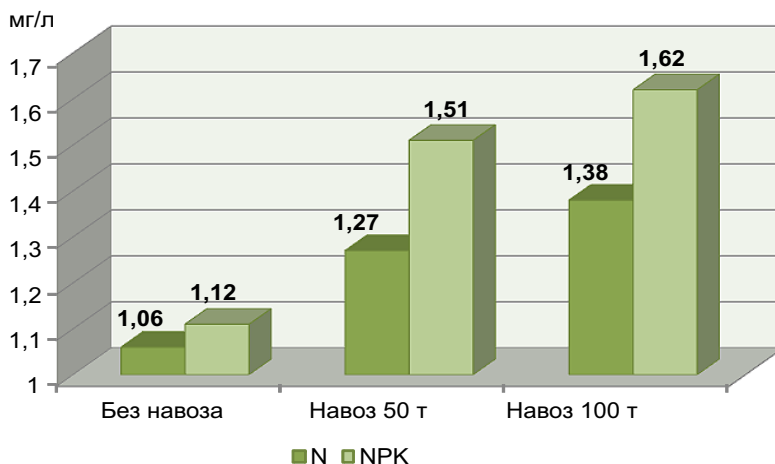
Метод определения степени подвижности фосфатов, предложенный Н. П. Карпинским и В. Б. Замятиной, основанный на обработке навесок почвы слабым раствором 0,015 М K_2SO_4 , свидетельствует о фосфатном уровне («фактор интенсивности») почвы, который может понижаться при усвоении P_2O_5 растениями и повышаться при внесении фосфорных удобрений. Для почв нечерноземной полосы авторы установили следующие ориентировочные показатели обеспеченности растений фосфором при его определении в 0,015 М K_2SO_4 вытяжке (мг P_2O_5 на 1 л):

- 1) очень низкая – 0,01–0,03;
- 2) средняя – 0,06–0,08;
- 3) высокая >0,2 [5].

Перед закладкой опыта степень подвижности фосфатов на двух полях была в пределах 1,45–1,79 мг/л раствора (табл. 1), что может говорить об очень высоком фосфатном уровне, определяемом данным методом. За ротацию севооборота произошло снижение показателя. Применение моноазотной системы удобрения способствовало достоверному снижению содержания фосфатов, определяемых в 0,015 М K_2SO_4 на 13–36 % (0,20–0,58 мг/л) на всех изучаемых фонах. При внесении полного минерального удобрения снижение было несколько ниже – 4–23 %. Внесение навоза также положительно сказалось на снижении темпов падения степени подвижности фосфатов. Если в варианте без удобрений дан-

ный показатель снизился на 0,43 мг/л раствора, то в вариантах с применением навоза – на 0,28–0,29 мг/л.

Кроме того, применение полного минерального удобрения ($N_{630}P_{90}K_{195}$) на фонах с внесением навоза оказывало более благоприятное воздействие на изменение степени подвижности фосфатов, чем моноазотная система (N_{630}) (рис. 1). При совместном применении NPK с навозом подвижность фосфатов была на 0,24 мг/л выше, чем в вариантах с применением N на фоне навоза. Внесение полного минерального удобрения на безнавозном фоне не имело существенного преимущества перед моноазотной системой.



$HCp_{0,5}$ взаимодействие А и В (органические и минеральные удобрения) – 0,20

Рис. 1. Степень подвижности фосфатов на конец ротации, мг/л

Степень подвижности фосфатов является наиболее изменчивым показателем фосфатного режима почвы, поскольку, усваивая фосфор из почвенного раствора, растения снижают его концентрацию. Однако почвы способны поддерживать концентрацию фосфора в растворе на относительно стабильном уровне, в зависимости от запасов растворимых (подвижных) фосфатов в почве и скорости растворения в нем фосфорсодержащих минералов [9]. Ввиду этого эффективное плодородие почв в отношении фосфатов определяется запасом подвижных его форм.

Содержание подвижных фосфатов, определяемое методом Кирсанова, в опыте перед началом ротации севооборота составляло 736–848 мг/кг почвы. Анализ почвенных образцов, отобранных после завершения ротации, свидетельствует о снижении содержания фосфатов, извлекаемых 0,2 М HCl. При этом на безнавозном фоне снижение было достоверным, составив в среднем по фону 62 мг/кг почвы. На фоне внесения органических удобрений падение значений данного показателя было недостоверным – 32 мг/кг на фоне 50 т/га навоза и 17 мг/кг почвы на фоне 100 т/га.

Применение минеральных фосфорных удобрений в дозе 90 кг/га за севооборот (среднегодовая доза – 18 кг/га) в варианте $N_{630}P_{90}K_{195}$ не имело достоверного преимущества перед моноазотной системой. Можно отметить только тенденцию повышения содержания подвижных фосфатов в данном варианте на фоне 100 т/га навоза, тогда как на других фонах отмечалось снижение данного показателя.

Более детальное изучение динамики содержания подвижного фосфора свидетельствует о положительном влиянии органических удобрений на изменение количества фосфатов в почве в первые три года после внесения (рис. 2). При применении 50 т/га навоза содержание подвижных фосфатов оставалось на прежнем уровне (+3 мг/кг), при применении 100 т/га навоза наблюдалось повышение на 16 мг/кг почвы. В последующие два года зафиксировано снижение содержания подвижных фосфатов, темпы которого (16,5–17,5 мг/кг в год) несколько превышали темпы на безнавозном фоне (11,0 мг/кг в год).

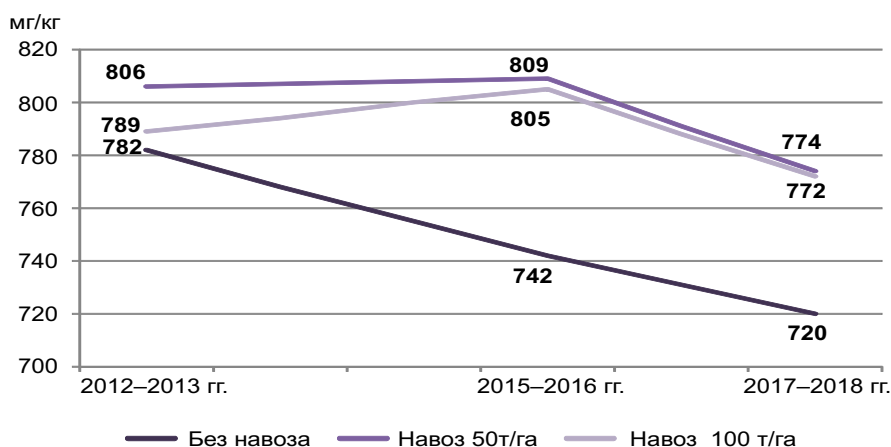


Рис. 2. Динамика содержания подвижных фосфатов, определяемых по методу Кирсанова

В целом за пять лет ежегодные потери подвижных фосфатов на фоне без навоза составили 12,4 мг/кг почвы. При внесении 50 т/га навоза интенсивность снижения была практически в два раза ниже – 6,4 мг/кг. Наименьшие потери зафиксированы при внесении 100 т/га навоза – 3,4 мг/кг почвы в год.

Содержание доступных растениям фосфатов, определяемых по Чирикову (I + II группы) в два раза меньше, чем подвижных фосфатов по Кирсанову. Перед закладкой опыта содержание соединений фосфора, извлекаемых 0,5 М CH_3COOH , изменялось от 369 до 425 мг/кг почвы, что свидетельствует об очень высокой обеспеченности почвы этой группой фосфатов. К концу ротации в целом по опыту содержание фосфатов I + II группы по Чирикову изменилось незначительно, составив 358–428 мг/кг почвы. Тем не менее отмечается влияние на характер изменений системы удобрения. Достоверное снижение отмечено на минеральном фоне (–19 мг/кг почвы). На фоне 50 т/га навоза содержание не изменилось (+1 мг/кг), а на фоне 100 т/га навоза можно говорить о незначительной тенденции увеличения (+8 мг/кг). При этом между моноазотной и полной минеральной системой удобрения различий на всех изучаемых фонах не зафиксировано. Можно отметить положительное влияние органических удобрений на фосфатное состояние, статистическая обработка данных говорит о достоверном превышении содержания фосфатов (на 43–44 мг/кг почвы) на фонах с применением навоза над фоном без органических удобрений.

Количество фосфатов III группы по Чирикову перед закладкой опыта составляло 1084–1175 мг/кг почвы, что свидетельствует о значительных запасах потен-

циально доступных растениям соединений фосфора. За ротацию севооборота содержание соединений данной группы изменилось незначительно. При этом в среднем по фонам тенденции снижения были довольно близки – 45–56 мг/кг почвы, или 4–5 % от первоначального количества.

Таким образом, определение P_2O_5 в почве посредством различных растворителей дает разновеликие результаты. Лучшими методами определения подвижных фосфатов являются те, где показания наиболее близки данным содержания соединений, фосфор которых поступил во время вегетации в растения. Поскольку содержание фосфора изменяется не только в результате его поглощения растениями, но и посредством поступления элемента с удобрениями, показателем, отражающим динамику фосфатов в почве, может служить баланс элемента.

Анализ данных баланса фосфора и изменений запасов фосфатов, извлекаемых различными растворителями, в пахотном слое почвы показал значительные различия по фонам опыта. На безнавозном фоне среднее значение баланса (–308 кг/га) превышало снижение количества фосфатов, определяемых различными методами (рис. 3). Ближе всего к величине баланса было снижение содержания фосфатов, определяемых в 0,2 (–251 кг/га) и 0,5 М HCl (–262 кг/га). Полученные данные могут свидетельствовать как о питании растений не только за счет запасов в пахотном слое, так и о мобилизации менее подвижных соединений фосфора, неизвлекаемых 0,5 М HCl.

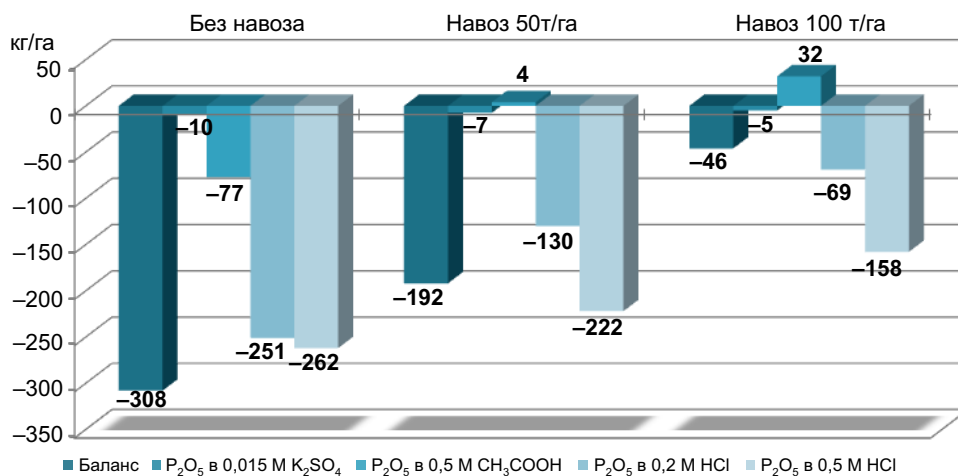


Рис. 3. Баланс фосфора и изменение в пахотном слое почвы запасов различных форм фосфатов за ротацию зернопропашного севооборота

На фоне внесения 50 т/га навоза при балансе равном –192 кг/га потери подвижных фосфатов по Кирсанову составили 130 кг/га, т. е. 68 % от баланса. Снижение запасов фосфатов, определяемых 0,5 М HCl (–222 кг/га), превышало баланс, но показатели данных величин были довольно близки.

Применение 100 т/га навоза, с которым было внесено 280 кг/га фосфора, в значительной мере обеспечило культуры севооборота данным элементом. При отрицательном балансе его величина (–46 кг/га) была существенно ниже, чем на других изучаемых фонах. На данном фоне обращают на себя внимание превышающие

расчетный баланс потери фосфатов, извлекаемых не только 0,5 М HCl, но и 0,2 М соляной кислотой. Таким образом, 112 кг/га фосфатов, определяемых 0,5 М HCl (из них 23 кг/га в 0,2 М HCl вытяжке), составляют непроизводительные потери.

Полученные результаты могут свидетельствовать о переходе остаточных фосфатов на органических фонах в более прочно фиксированные формы, неизвлекаемые 0,5 М HCl, что согласуется с результатами исследований Карпинского Н. П. и Глазуновой Н. М., в которых указывается на снижение в почве, систематически удобрявшейся в прошлые годы, концентрации фосфатов, обусловленное переходом их в более устойчивое состояние с меньшей степенью подвижности [10].

Приведенные выше данные говорят об участии в питании растений фосфатов разной растворимости. Для оценки эффективности метода как показателя, отражающего фосфатное состояние почвы, более пригодным является определение зависимости снижения запасов фосфатов, определяемых различными методами, от баланса фосфора (рис. 4).

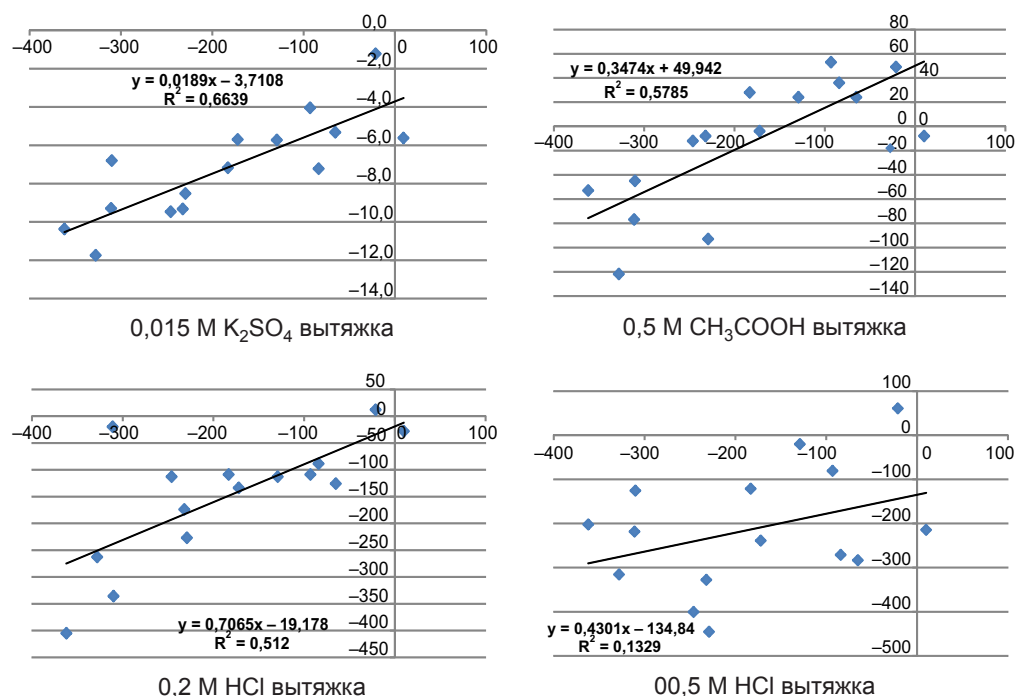


Рис. 4. Линейные взаимосвязи баланса фосфора и изменений запасов соединений фосфора различной растворимости

Так, несмотря на сопоставимость параметров снижения запасов фосфатов в 0,5 М HCl вытяжке и баланса не выявлено статистической зависимости ($R^2 = 0,13$) между этими величинами. Это может служить подтверждением тому, что соединения фосфора, извлекаемые соляной кислотой по Чирикову, непосредственно не участвуют в питании растений, а являются резервом пополнения легкодоступных фосфатов.

Положительная линейная связь обнаружена между балансом и изменением запасов фосфатов, извлекаемых 0,015 М K₂SO₄ ($R^2 = 0,66$), 0,5 М CH₃COOH

($R^2 = 0,58$) и $0,2 \text{ M HCl}$ ($R^2 = 0,51$). Наиболее тесная связь отмечается между выносом фосфора и изменениями запасов фосфатов, извлекаемых по методу Карпинского–Замятиной, т. е. соединений фосфора, доступных в первую очередь. Чем более сильный растворитель применяется для извлечения фосфора, тем менее тесная связь с выносом данного элемента. Вместе с тем представленные модели пригодны для практического применения, так как более половины общей вариации результативного признака объясняется воздействием факторного признака. Таким образом, определение фосфатов в данных трех вытяжках ($0,015 \text{ M K}_2\text{SO}_4$, $0,5 \text{ M CH}_3\text{COOH}$, $0,2 \text{ M HCl}$) удовлетворительно описывает фосфатное состояние в отношении доступных соединений дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы с очень высокими запасами фосфора.

ВЫВОДЫ

В результате изучения фосфатного состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в условиях остаточного последействия фосфорных удобрений установлена очень высокая обеспеченность фосфатами различной растворимости к концу ротации пятипольного севооборота. Степень подвижности фосфатов по Карпинскому–Замятиной ($0,015 \text{ M K}_2\text{SO}_4$) была на уровне $1,05\text{--}1,62 \text{ мг/л}$ раствора, содержания подвижных фосфатов, извлекаемых $0,2 \text{ M HCl}$ по Кирсанову – $691\text{--}804 \text{ мг/кг}$ почвы, содержание фосфатов I + II группы по Чирикову ($0,5 \text{ M CH}_3\text{COOH}$) составило $358\text{--}428$, III группы ($0,5 \text{ M HCl}$) – $1042\text{--}1117 \text{ мг/кг}$ почвы.

За ротацию севооборота степень подвижности фосфатов, определяемая методом Карпинского–Замятиной, по всем изучаемым фонам достоверно снизилась на $15\text{--}29 \%$ по отношению к начальным показателям. Существенное уменьшение содержания фосфатов, определяемых по методу Кирсанова и I+II группы по Чирикову, наблюдалось исключительно на минеральном фоне и не превышало 8 и 5% соответственно. Изменение количества фосфатов III группы по Чирикову было несущественным.

Установлено влияние систем удобрения на фосфатное состояние почвы. Внесение навоза положительно отразилось на снижении темпов деградации почвенного плодородия в отношении фосфатов. При этом целесообразным является внесение 50 т/га навоза, при внесении 100 т/га увеличиваются непроизводительные потери фосфора.

Преимущество полного минерального удобрения при внесении за севооборот $\text{N}_{630}\text{P}_{90}\text{K}_{195}$ перед удобрением азотом (N_{630}) отмечено только в отношении степени подвижности фосфатов на фонах с применением навоза. При совместном применении NPK с навозом подвижность фосфатов была на $0,24 \text{ мг/л}$ выше, чем в вариантах с применением N на фоне навоза.

Запасы фосфатов, определяемые в $0,015 \text{ M K}_2\text{SO}_4$, $0,5 \text{ M CH}_3\text{COOH}$ и $0,2 \text{ M HCl}$ имеют значимую связь с балансом фосфора ($R^2 > 0,5$). Данные растворители могут быть использованы для описания фосфатного состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы с очень высокими запасами фосфора в отношении доступных соединений. Фосфаты, определяемые в $0,5 \text{ M HCl}$ по Чирикову, характеризуют ближайший резерв доступных фосфатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касицкий, Ю. И. Об оптимальном содержании подвижного фосфора в почвах Нечерноземной зоны СССР / Ю. И. Касицкий // *Агрохимия*. – 1991. – № 6. – С. 107–109.
2. Schweitzer, K. Einfluß langjährig unterschiedlicher Düngung auf die P-Fractionen und die P-Sorption im Boden / K. Schweitzer, H. Pagel // *UFZ-Bericht*. – 1999. – № 24. – S. 229–232.
3. Ваулин, А. В. Изменение фосфатного режима дерново-подзолистой средне-суглинистой окультуренной почвы без внесения фосфорных удобрений / А. В. Ваулин, А. А. Коваленко, В. А. Варламов // *Агрохимический вестник*. – 2013. – № 3. – С. 8–10.
4. Агрохимические методы исследования почв / под ред. А. В. Соколова, Д. Л. Аскинази. – 4-е изд., доп. и перераб. – М.: Наука, 1965. – 436 с.
5. Метод Карпинского и Замятиной [Электронный ресурс] // Все об агрохимии. – Режим доступа: <http://agrohimiya24.ru/agrohimicheskie-metody/1765-metod-karpinskogo-i-zamyatinoj.html>. – Дата доступа: 27.11.2019.
6. Паукштис, С. И. Фосфатный режим дерново-подзолистых почв под влиянием слаборастворимых фосфорных удобрений и кремния [Электронный ресурс] / С. И. Паукштис // Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов. – Режим доступа: www.dissercat.com/content/fosfatnyi-rezhim-derново-podzolistykh-pochv-pniem-slaborastvorimyykh-fosfornykh-udobr. – Дата доступа: 26.09.2019.
7. Тиво, П. Ф. Влияние длительного сельскохозяйственного использования на агрохимические свойства осушенной дерново-глеевой почвы [Электронный ресурс] / П. Ф. Тиво, С. М. Крутько, Л. А. Саскевич // Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/48963/1/inflongtermagriuse.pdf>. – Дата доступа: 22.11.2019.
8. Чириков, Ф. В. Агрохимия калия и фосфора / Ф. В. Чириков. – М.: Сельхозгиз, 1956. – 464 с.
9. Панников, В. Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В. Д. Панников, В. Г. Минеев. – М.: Колос, 1977. – 416 с.
10. Карпинский, Н. П. Изменение степени подвижности почвенных фосфатов в длительных микрополевых опытах при внесении фосфорных удобрений / Н. П. Карпинский, Н. М. Глазунова – *Агрохимия*. – 1993. – № 9. – С. 3–13.

**DYNAMICS OF PHOSPHATES, VARIOUS SOLUBILITY
IN SOD-PODZOLIC LIGHT-LOAMY SOIL WITH VERY HIGH RESOURCES
OF PHOSPHORUS**

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

Summary

The results of studies on the phosphate state of sod-podzolic light loamy soil under conditions of residual aftereffect of phosphorus fertilizers are presented. With a very high supply of soil with phosphates of various solubilities, a significant decrease in the degree of phosphate mobility (by 15–29 %) was noted for mineral and organic

backgrounds of the crop rotation. A significant decrease in the phosphate content, determined by the method of Kirsanov and I + II group according to Chirikov, was observed exclusively against a manless background and did not exceed 8 and 5 %, respectively. The change in the amount of phosphates of group III according to Chirikov was insignificant.

Поступила 31.03.2020

УДК:631.811.3

ДИНАМИКА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ КАЛИЕМ ПАХОТНЫХ И ЛУГОВЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

И. М. Богдевич, Ю. В. Путятин, И. С. Станилевич, О. Л. Ломонос

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

ВВЕДЕНИЕ

Калий – один из важных элементов в физиологии человека, животных и растений. Соли калия, входящие в состав внутриклеточных жидкостей, необходимы для нормального функционирования всех мягких тканей человека, печени, почек, желез внутренней секреции. Физиологическая роль калия в жизни растений многогранна, проявляется прежде всего в активизации множества ферментов и в поддержании благоприятных физико-химических свойств протоплазмы клетки – обводненности, вязкости, эластичности и других.

Несмотря на высокое содержание валового калия в дерновых и дерново-подзолистых почвах (до 0,5–1,0 % в песчаных и до 2,0–3,0 % в суглинистых) растениям доступна только небольшая часть этих запасов – водорастворимые и обменные формы. При остром дефиците калия в почвенном растворе растения могут частично использовать необменные формы калия, находящиеся в динамическом равновесии с обменными и водорастворимыми формами. Необменное поглощение калия связано не только с илесто-пылевой минеральной частью почвы, но и с органическими пленками-гелями, склеивающими мелкодисперсные минералы в агрегаты. Содержание подвижных форм калия в вытяжке 2M HCl является информативным диагностическим показателем обеспеченности калием дерново-подзолистых и торфяных почв [1, 2].

Содержание подвижных форм калия в почвах изменяется в зависимости от характера интенсификации земледелия. Диапазоны оптимальных показателей реакции почв, содержания подвижных форм фосфора и калия, установленные в полевых опытах, используются при планировании и оценке результатов почвоулучшающих мероприятий [3–6].

Обеспеченность почв калием по полям и участкам в настоящее время сильно различается по областям и районам Беларуси в зависимости от факторов интенсификации производства [7]. Возрастает значимость рационального использования удобрений с учетом агрохимических свойств почв. Важным становится

дозированное внесение калийных удобрений по полям и участкам из расчета формирования возможного урожая и оптимальных параметров содержания подвижных форм калия в почве.

Цель настоящей работы – критический анализ научной информации за последние пятьдесят лет по динамике обеспеченности пахотных и луговых почв подвижными формами калия в сопоставлении с оптимальными параметрами и уровнем внесения органических и минеральных удобрений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований – почвы сельскохозяйственных земель (пашня, улучшенные сенокосы и пастбища) по областям и районам Беларуси за весь период крупномасштабного обследования по содержанию подвижных форм калия. Исследована динамика содержания подвижных форм калия по группам гранулометрического состава почв и административным районам в сопоставлении с диапазонами оптимальных параметров. Материалы по видам и количеству применяемых удобрений собраны по данным статистической отчетности. Предмет исследований – зависимость показателей, характеризующих обеспеченность почв калием, от факторов интенсификации земледелия и исходной агрохимической характеристики почв. Метод исследования – системный анализ с применением общепринятой статистической обработки данных.

Оптимальные уровни содержания подвижных форм калия в почвах. Содержание подвижных форм калия, доступных растениям, характеризуется высокой динамичностью. Поэтому в границах полей, хозяйств и районов Беларуси содержание подвижного калия в почвах существенно различается, от низкого до очень высокого. Столь же существенны различия в урожайности культур. За период 2015–2019 гг. различия среднегодовых уровней урожайности зерновых культур по районам достигали 3,3 раз: от 60,8 ц/га в Гродненском до 18,2 ц/га в Рассонском районе. Эти различия преимущественно определялись уровнем плодородия почв и агротехники, дозами внесенных минеральных и органических удобрений.

По данным многолетних полевых опытов Института почвоведения и агрохимии, проведенных в 1970-е и 1980-е гг., увеличение содержания подвижных форм калия в почве сопровождалось достоверным приростом продуктивности севооборотов вплоть до 150–200 мг/кг на супесчаных и 250–300 мг/кг K_2O на суглинистых почвах [3]. Оптимальные уровни обеспеченности почв калием повышаются по мере усиления интенсификации земледелия (введение новых высокопродуктивных сортов растений, повышенных доз минеральных удобрений, средств защиты растений от сорняков, болезней и вредителей и др.). Анализ результатов (2001–2007 гг.) специально спланированных полевых опытов позволил уточнить и повысить диапазоны оптимального содержания подвижных форм калия. Для песчаных почв – до 120–200 мг/кг, для рыхлосупесчаных почв – до 170–230 мг/кг, для связносупесчаных подстилаемых суглинками почв – до уровня 190–250 мг/кг, а для суглинистых почв – до уровня 250–300 мг K_2O на кг почвы [5,7]. Следует отметить, что полевые опыты были проведены на хорошоокультуренных участках связносупесчаных и рыхлосупесчаных почв, подстилаемых суглинками. Однако в большинстве районов республики преобладают песчаные и рыхлосупесчаные почвы, подстилаемые рыхлыми песками, с небольшим потенциалом плодородия.

Поэтому необходимо ориентироваться на достижение нижних границ оптимального содержания подвижных форм калия.

Поддержание оптимального уровня содержания калия в почве необходимо увязывать и с качеством растениеводческой продукции [4]. Известно, что накопление калия (K) в сухом веществе кормовых культур должно находиться в пределах оптимума – от 1,2 до 2,2 %, а соотношение K : (Ca + Mg) – в пределах 1,6–2,2.

На землях, загрязненных радионуклидами, важными показателями качества растениеводческой продукции является содержание в ней ^{137}Cs и ^{90}Sr . Установлено, что с повышением содержания подвижных форм калия в почве концентрация ^{137}Cs и ^{90}Sr в растительной продукции снижается по затухающей кривой. Практически минимум биологической доступности ^{137}Cs и ^{90}Sr для накопления в зерне яровой пшеницы и ячменя, а также зеленой массы клевера находится в диапазоне содержания K_2O 300–430 мг/кг дерново-подзолистой супесчаной почвы [8]. Повышение содержания K_2O со 150 до 250 мг/кг супесчаной почвы в модельных полевых опытах сопровождалось увеличением продуктивности севооборота на 20 %. А накопление ^{137}Cs в зерновых культурах и картофеле при этом снижалось на 30–40 %. Дальнейшее повышение обеспеченности почв калием до 350 мг/кг не сопровождалось достоверным приростом урожайности культур. Снижение концентрации ^{137}Cs в продукции также было незначительным (около 10 %). Внесение высоких доз калийных удобрений (160–240 кг K_2O на гектар) хорошо окупалось на почвах, слабо обеспеченных калием (<140 мг K_2O /кг почвы), так как при этом повышалась в 1,5–1,7 раза урожайность. Одновременно снижалось в 1,5–2,7 раза содержание в продукции ^{137}Cs и в 1,3 раза – содержание ^{90}Sr . На почвах с повышенным и высоким содержанием подвижного калия более эффективны умеренные дозы калийных удобрений, предполагающие возмещение выноса элемента урожаем культур [9, 10].

Следует отметить, что обеспеченность почв калием оказывает регулирующее действие на ее микробиологический и биохимический статус. Повышение концентрации подвижных форм калия до оптимальных показателей повышает уровень биогенности почвы, ускоряет аммонификацию органических азотсодержащих соединений, высвобождая доступный для растений неорганический азот, повышает скорость минерализации поли- и олигосахаридов в почве, а также активизирует гумификацию растительных лигнинов в почве [11, 12].

Длительное внесение избыточных доз удобрений приводит к накоплению в почве не востребуемых запасов подвижных форм калия, нерациональному использованию ресурсов, снижению биологической активности почвы. Обеспечение рационального баланса калия является весьма актуальной задачей современного земледелия [13, 14].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика обеспеченности почв калием. Почвы Беларуси были бедны подвижными формами калия до начала периода химизации земледелия. За полувековой период средневзвешенное содержание подвижных форм калия в пахотных и улучшенных луговых почвах повысилось почти втрое (рис. 1). Это результат длительной, целенаправленной работы по внесению повышенных доз органических и калийных удобрений за весь период химизации земледелия. За

последние 55 лет на гектар пашни в среднем по Беларуси было внесено калия 5787 кг с минеральными и 2234 кг с органическими удобрениями, всего – 8021 кг K_2O . В настоящее время средневзвешенное содержание подвижных форм калия (по Кирсанову) на пашне составляет 215 мг K_2O /кг почвы, а гектарный запас – 699 кг/га, что примерно в 3,2 раза больше исходного запаса подвижных форм калия – 218 кг/га (в 1965 г.).

В настоящее время пахотные почвы характеризуются преимущественно средней и повышенной обеспеченностью подвижными формами калия. Некоторое снижение объемов внесения калийных удобрений в 1994–2000 гг. сопровождалось уменьшением содержания калия в почвах в большинстве областей и районов Беларуси. Однако в дальнейшем внесение калийных удобрений было увеличено в соответствии с потребностями сельскохозяйственных культур. В период 13-го тура обследования (2013–2016 гг.) средневзвешенное содержание подвижного калия в пахотных почвах Беларуси достигло уровня 218 мг K_2O /кг почвы, что на 41 мг/кг выше уровня 2000 г.

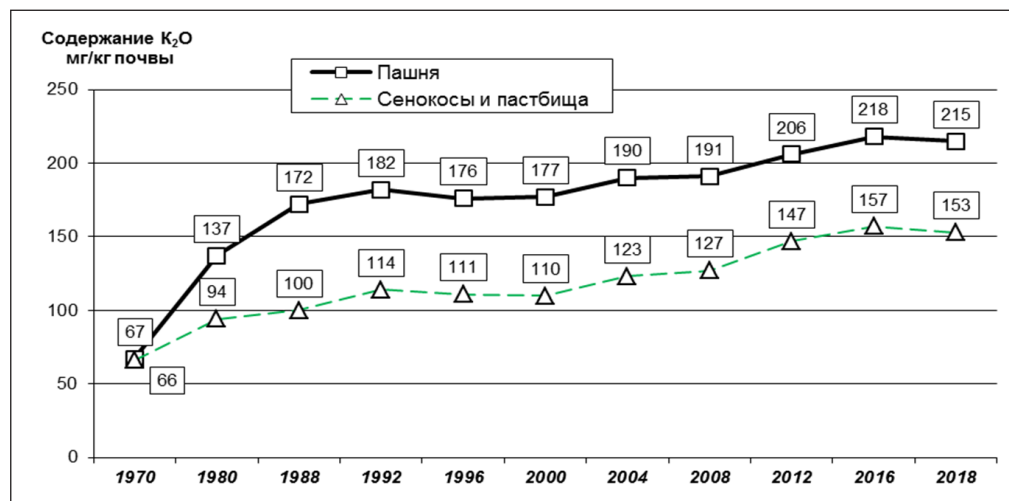


Рис. 1. Динамика содержания подвижных форм калия в пахотных и луговых почвах Беларуси

В период 2017–2019 гг. преобладающий положительный баланс калия в земледелии сменился дефицитом калийного питания растений в ряде районов республики. Усиливается пестрота агрохимических свойств почв по районам и хозяйствам. Размах колебаний содержания подвижных форм калия по районам достигает 2–3-х раз, а по хозяйствам – до 4-х раз. Чередование контуров и элементарных участков с очень низким и, наоборот, очень высоким содержанием элементов минерального питания растений вызывают не только недобор урожая и ухудшение качества растениеводческой продукции, но и определенные экономические потери. Улучшение и выравнивание агрохимических свойств почв до диапазона оптимальных параметров является важной предпосылкой самокупаемого сельскохозяйственного производства.

На рис. 2 представлены сравнительные данные по динамике баланса калия в пахотных почвах Беларуси.



Рис. 2. Динамика баланса калия в земледелии Беларуси за период 1986–2019 гг.

В целом по республике, поступление калия с навозом, семенами и осадками сравнительно мало изменялось во времени, максимум поступления – 61 кг K_2O /га в 1990 г., минимум – 33 кг/га в 2005 г., стабилизация на уровне 43–47 кг/га в последние девять лет. Внесение калия с минеральными удобрениями сильно различалось по годам. Выделяются два пика наибольшего внесения: 106 кг K_2O /га в 1990 г. и 142 кг/га в 2011 г. Можно выделить и два периода минимального внесения калия. Это среднегодовое внесение 75–76 кг K_2O на гектар пашни в период 2000–2005 гг., а также внесение 63–72–72 кг/га за последние три года (2017–2019 гг.). В целом за длительный период 1990–2019 гг. преобладал положительный баланс калия в земледелии Беларуси. Отрицательный баланс, когда вынос K_2O с отчуждаемой растениеводческой продукцией превышал поступление калия с удобрениями, в целом по республике отмечался только в 2017 г. (–10 кг/га).

Обобщение данных агрохимического обследования показывает преобладание накопления подвижных форм калия в пахотных почвах Беларуси (табл. 1). В целом по республике средневзвешенное содержание подвижных форм калия повысилось за период 2001–2016 гг. со 190 до 218 мг K_2O /кг почвы. Несмотря на небольшое снижение средневзвешенного содержания подвижных форм калия за последние годы, общий уровень обеспеченности пахотных почв калием остается высоким, а доля слабообеспеченных почв (1 + 2 группа) составляет 25,9 % площади.

Таблица 1

Динамика распределения пахотных почв Беларуси по группам содержания подвижных форм калия за период 2001–2018 гг.

Период	Процент площади по группам содержания K_2O , мг/кг						Средневзвешенное содержание, мг/кг почвы
	<80	81–140	141–200	201–300	301–400	>400	
2015–2018	5,1	20,8	27,3	28,1	12,5	6,1	215
2013–2016	5,6	19,6	25,6	28,8	13,3	7,1	218
2009–2012	6,2	21,2	27,8	28,7	11,1	5,1	206
2005–2008	8,1	25,4	28,1	26,0	9,2	3,3	191
2001–2004	8,9	25,5	27,1	25,9	9,4	3,2	190
+/- (2018–2004)	–3,8	–4,7	0,2	2,2	3,1	2,9	25

За период 2001–2016 гг. повышение содержания подвижных форм калия наблюдалось по всем областям Беларуси как на пахотных, так и на луговых почвах (табл. 2).

Таблица 2

Изменение средневзвешенного содержания подвижных форм калия в пахотных и луговых почвах (K_2O мг/кг почвы) по областям Беларуси за период 2001–2018 гг.

Область	Пашня				Улучшенные сенокосы и пастбища			
	2001–2004	2009–2012	2013–2016	2017–2018	2001–2004	2009–2012	2013–2016	2017–2018
Брестская	178	181	194	187	122	139	145	140
Витебская	178	190	212	207	149	167	192	188
Гомельская	195	217	214	207	130	163	159	154
Гродненская	174	194	192	194	87	111	110	109
Минская	210	234	255	265	118	148	167	167
Могилевская	194	210	225	224	118	145	155	150
Беларусь	190	206	218	215	123	147	157	153

Пахотные почвы по обеспеченности калием сравнительно меньше различаются по областям республики, а также по типам и разновидностям почв на макроуровне (области – республика). Наиболее проблемным вопросом является пестрота концентрации подвижных форм калия в почвах на мезо- и микроуровнях (районы–хозяйства–поля севооборотов). Например, средневзвешенное содержание K_2O в пахотных почвах Россонского района Витебской области (140 мг/кг почвы) в 2,5 раза меньше, чем в Клецком районе Минской области (345 мг/кг почвы). К сожалению, территориальные различия в поступлении калия с минеральными удобрениями в последнее время не уменьшаются. Среднегодовые дозы внесения калия с минеральными удобрениями сильно различаются как по годам, так и по различным районам республики в течение одного года (рис. 3).

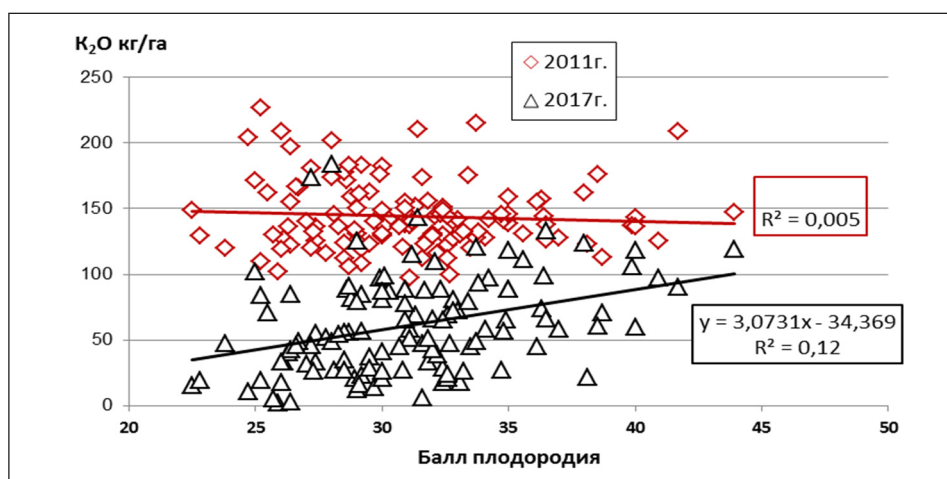


Рис. 3. Среднегодовые дозы калийных удобрений (K_2O кг/га) в зависимости от величины балла плодородия пахотных почв по районам Беларуси в 2011 и 2017 гг.

Например, в 2011 г. среднегодовая доза внесения K_2O с минеральными удобрениями в среднем по Беларуси составила 142 кг/га и различалась от 97 кг/га в Пуховичском районе до 215 кг/га в Хойникском районе. В последующие годы применение удобрений стало постепенно снижаться. В 2017 г. средняя доза внесения калия за счет минеральных удобрений уменьшилась более чем вдвое (63 кг/га), но различалась по районам от 3 кг/га в Шумилинском районе Витебской области до 184 кг/га в Ельском районе Гомельской области. Характерно, что в 2017 г. стала наблюдаться заметная корреляция доз калийного удобрения с величиной балла плодородия пахотных почв по районам республики.

На улучшенных сенокосах и пастбищах, где ежегодно удобрения вносятся на 50–70 % площади, средневзвешенные годовые дозы калия снизились до 2–5 раз по сравнению с уровнем 2009–2012 гг. (табл. 3)

Таблица 3

Динамика внесения калийных удобрений на улучшенные сенокосы и пастбища (K_2O кг/га) по областям Беларуси за период 2001–2018 гг.

Область	2001–2004	2005–2008	2009–2012	2013–2016	2017–2018
Брестская	22	31	53	27	17
Витебская	6	23	48	15	3
Гомельская	28	46	53	14	4
Гродненская	33	39	60	32	25
Минская	26	30	44	24	8
Могилевская	19	38	59	24	6
Беларусь	21	33	53	27	10

Повышение средневзвешенного содержания калия в луговых почвах отдельных областей по сравнению с предыдущими турами обследования преимущественно обусловлено периодической распашкой лугов под посев зерновых культур и компенсирующей трансформацией малопродуктивных пахотных почв в луговые земли (табл. 2). В результате обеспеченность почв подвижными формами калия по полям и рабочим участкам может различаться до 5–10 раз, что говорит о больших нереализованных резервах за счет дифференцированного применения калийных удобрений.

Предстоит многолетняя ресурсоемкая работа по оптимизации калийного статуса пахотных и луговых почв во многих районах страны. Чтобы оптимизировать необходимые ресурсы калийных удобрений, необходимо, в первую очередь, предотвратить их нерациональное использование и ограничить внесение на участках с высоким и избыточным содержанием подвижных форм калия. Анализ результатов последнего тура агрохимического обследования почв, сгруппированных по элементарным участкам, показывает распределение площади пахотных почв различного гранулометрического состава по уровням обеспеченности калием в сопоставлении с оптимальным параметром содержания подвижных форм калия (табл. 4).

В целом по Беларуси песчаные, супесчаные и суглинистые почвы характеризуются примерно одинаковой значительной долей (32–35 %) пашни с избыточным накоплением подвижных форм калия на уровне выше оптимального диапазона. В то же время на 32–37 % площади минеральных и 54 % площади торфяных почв

характеризуются недостаточным содержанием подвижных форм калия. Это значит, что оптимизировать калийный статус пахотных почв можно без увеличения ресурсов удобрений за счет их целевого перераспределения между районами и дифференциации доз на каждом элементарном участке поля с учетом содержания в почве подвижных форм калия.

Таблица 4

Распределение площади пашни Беларуси по уровням обеспеченности почв различного гранулометрического состава подвижными формами калия (2013–2016 гг.) в сопоставлении с оптимальными параметрами

Почвы	Оптимальное содержание K_2O , мг/кг почвы	Средневзвешенное содержание K_2O , мг/кг почвы	Распределение площади пахотных почв по уровням содержания фосфора, %		
			Ниже оптимума	Оптимум	Выше оптимума
Глинистые и суглинистые	200–300	193	37	31	32
Супесчаные	170–250	195	33	32	35
Песчаные	120–200	201	32	33	35
Торфяные	400–800	463	54	32	14

Диаметральные различия динамики содержания подвижного калия в почвах, когда в одних районах интенсивно наращивается запас калия, а в других происходит обеднение почв, вызывает необходимость прогноза изменения содержания питательных элементов в почве. Прогноз базируется на корреляционной зависимости последовательного изменения содержания подвижных форм калия в пахотных почвах от величины баланса K_2O в земледелии за предшествующий четырехлетний период, на материале пяти туров агрохимического обследования почв.

Например, повышение или снижение средневзвешенного содержания подвижного калия (Y) на пахотных почвах в районах Беларуси, где преобладают суглинистые и супесчаные, подстилаемые суглинками почвы прогнозируется по уравнению (1):

$$Y = 0,3108 X - 1,2385 (R^2 = 0,60, p = <0,01), \quad (1)$$

где Y – прогнозируемое изменение содержания K_2O +/- мг/кг почвы; X – среднегодовой баланс K_2O за предшествующий период.

Среднегодовой баланс калия в земледелии рассчитывается по методике Института почвоведения и агрохимии [15].

Чтобы поддерживать бездефицитный запас подвижного калия в пахотных почвах на достигнутом уровне, в 64 районах, где преобладают суглинистые и супесчаные, подстилаемые суглинками почвы, ежегодно на гектар пашни с минеральными и органическими удобрениями должно поступать не менее $4 \pm 0,5$ кг K_2O сверх выноса калия с отчуждаемой частью урожая сельскохозяйственных культур. Повышение или снижение средневзвешенного содержания подвижного калия на пахотных почвах в 54 районах Беларуси, где преобладают песчаные и рыхлосупесчаные, подстилаемые песками почвы, не имеет достоверно тесной функциональной связи с расчетным балансом калия. Однако известно, что затраты калийных удобрений на песчаных почвах на сдвиг уровня содержания

подвижных форм калия на каждые 10 мг K_2O примерно в 1,4–1,6 раза больше, чем на суглинистых почвах.

В 2017–2018 гг. показатели баланса калия на пашне уменьшились, а во многих районах, где преобладают суглинистые и супесчаные, подстилаемые суглинками почвы, баланс калия стал отрицательным (табл. 5). На предстоящие годы показатели баланса калия необходимо формировать таким образом, чтобы на потенциально более плодородных суглинистых и супесчаных, подстилаемых суглинками почвах обеспечить постепенное повышение запаса подвижных форм калия до уровня 250–300 мг K_2O на кг почвы, на котором наблюдается наибольшая продуктивность севооборотов (рис. 4).

Таблица 5

Динамика баланса калия, содержания подвижных форм калия в пахотных почвах и продуктивности севооборотов по группам районов Беларуси

Содержание K_2O 1997–2000 гг.		Количество районов	Баланс K_2O , кг/га			Изменение содержания K_2O +/- мг/кг почвы			Продуктивность, к. ед., ц/га		
Лимиты	Среднее		2001–2008	2009–2016	2017–2018	2001–2008	2009–2016	2017–2018	2001–2008	2009–2016	2017–2018
<i>Районы, где преобладают суглинистые и супесчаные, подстилаемые суглинками почвы</i>											
<150	141	12	26	51	–8	13	34	–9	32,2	37,5	36,7
150–200	171	41	26	43	–7	10	29	–1	36,8	44,8	41,1
201–250	218	9	27	36	–4	16	32	5	44,5	54,5	55,5
251–300	281	2	30	43	8	10	54	–9	63,4	78,8	77,3
<i>Районы, где преобладают песчаные и рыхлосупесчаные почвы</i>											
<150	136	11	55	93	15	23	7	4	29,8	36,8	33,5
150–200	172	34	47	72	22	19	19	3	33,8	42,5	41,1
201–250	212	8	45	67	24	29	26	–6	34,2	43,1	41,5
251–300	263	1	62	108	73	45	8	6	39,1	38,0	33,2

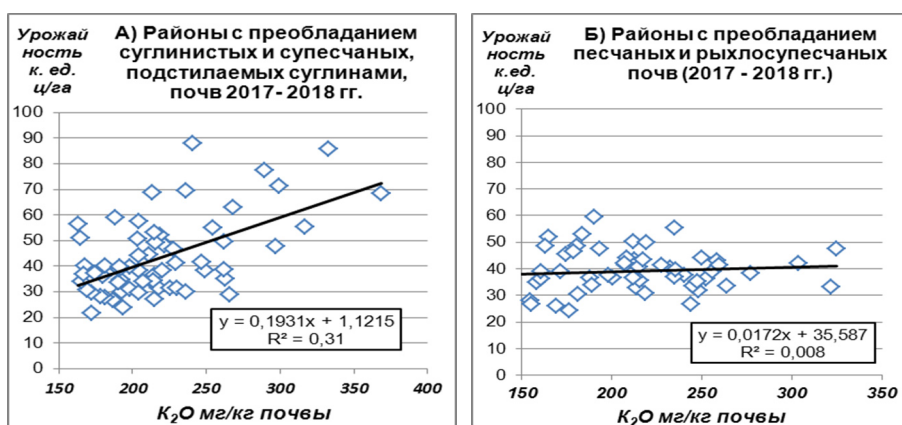


Рис. 4. Зависимость продуктивности севооборотов за 2017–2018 гг. от обеспеченности пахотных почв подвижными формами калия по районам Беларуси:

- А) 64 района, где преобладают суглинистые и супесчаные, подстилаемые суглинками почвы; Б) 54 района, где преобладают песчаные и рыхлосупесчаные почвы

На рисунке видно, что в группе районов, где преобладают потенциально высокоплодородные почвы, продуктивность севооборотов закономерно возрастает в диапазоне 25–90 ц к. ед./га по мере повышения содержания подвижных форм калия от 170 до 250–350 мг K_2O на кг почвы. В группе районов, где преобладают менее продуктивные, песчаные и рыхлосупесчаные почвы, урожайность севооборотов в меньшей степени, но также различается по районам от 25 до 60 ц к. ед. с гектара. Но здесь различия в продуктивности севооборотов не связаны с содержанием подвижных форм калия в почвах.

В районах, где преобладают песчаные и рыхлосупесчаные почвы, достаточно вносить сравнительно небольшие дозы калия, чтобы компенсировать вынос этого элемента с отчуждаемой частью урожая сельскохозяйственных культур и поддерживать содержание подвижных форм калия в почвах на уровне около 200 мг K_2O на кг почвы. На почвах, загрязненных радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr , необходимо формировать и поддерживать несколько более высокую концентрацию подвижных форм калия, примерно на 50 мг K_2O /кг почвы выше, чем на незагрязненных полях и участках.

Рекомендации по среднегодовым нормам баланса калия в пахотных почвах. Для рационального применения калийных удобрений будет полезно использовать понятную и удобную систему контроля среднегодовых параметров баланса калия в земледелии на уровне районов (и хозяйств) на основе приведенных нормативов (табл. 6). В таблице приведены нормативы баланса калия, дифференцированные по преобладанию гранулометрического состава почв по группам районов (или хозяйств) в зависимости от исходного содержания подвижных форм калия в почвах и соответствующего уровня продуктивности пашни, выраженного в эквиваленте кормовых единиц суммарной урожайности всех возделываемых культур.

Таблица 6

Нормативы баланса калия для оптимизации уровня содержания подвижных форм калия в пахотных почвах по группам районов Беларуси

Группы районов	Исходное содержание K_2O , мг/кг почвы	Продуктивность к. ед. ц/га	Баланс K_2O , кг/га в год
Районы с преобладанием суглинистых и супесчаных, подстилаемых суглинками почв	<150	35–40	25–30
	151–200	41–45	15–20
	201–250	45–50	10–15
	251 и более	–	0–5
Районы с преобладанием песчаных и рыхлосупесчаных почв	<150	35–40	20–30
	151–200	35–45	10–15
	201 и более	35–45	0–5

Использование предложенных нормативов позволит концентрировать более высокие дозы калия в тех районах (и хозяйствах), где содержание подвижных форм калия в почвах ниже оптимального уровня и имеется наибольший потенциал прироста урожайности сельскохозяйственных культур. Одновременно уменьшится вероятность применения нерациональных доз калийных удобрений в районах (хозяйствах) с высоким уровнем обеспеченности почв подвижными формами калия, снизятся экономические потери. Приведенные нормативы целесообразно также

учитывать при резервировании в хозяйствах финансовых средств для закупки минеральных удобрений.

Оптимизация обеспеченности почв подвижными формами калия должна осуществляться с учетом внесения всех видов органических и минеральных удобрений в севообороте. В районах (хозяйствах) с преобладанием почв связного гранулометрического состава и бедных калием (<150 мг K_2O на кг почвы) рекомендуется поддерживать положительный среднегодовой баланс калия на уровне 25–30 кг/га. Это позволит постепенно повысить плодородие почвы. По мере повышения содержания подвижных форм калия в почве показатели баланса калия снижаются. А на почвах, где содержание подвижных форм калия превышает нижнюю границу оптимума, должен поддерживаться бездефицитный или слабо отрицательный баланс калия.

Использование предложенных нормативов формирования дифференцированных уровней баланса калия в зависимости от комплекса свойств почв не потребует дополнительных ресурсов калийных удобрений, а в районах с преобладанием песчаных и рыхлосупесчаных почв позволит снизить непроизводительные затраты на накопление в почвах не востребованных запасов калия. Такой подход предполагает ускорить оптимизацию калийного режима наиболее плодородных почв связного гранулометрического состава и в целом существенно повысить окупаемость удобрений.

ВЫВОДЫ

Почвы Беларуси сравнительно хорошо обеспечены калием. Две трети площади пашни и половина площади луговых почв характеризуются оптимальным или высоким уровнем содержания подвижных форм калия. За полувековой период обеспеченность пахотных почв повысилась втрое. В период 2017–2019 гг. преобладающий положительный баланс калия в земледелии сменился дефицитом калийного питания растений в ряде районов республики. Усиливается пестрота калийного статуса на мезо- и микроуровне. Размах колебаний содержания подвижных форм калия по районам достигает двух-трех раз, по хозяйствам – четырех раз, по полям и участкам – на порядок. В последние годы на пахотных почвах 24 районов, где преобладают почвы связного гранулометрического состава, средний баланс калия составил –12 кг K_2O на гектар. В то же время в 46 районах на песчаных и рыхлосупесчаных почвах накоплено высокое содержание подвижных форм калия на уровне 207–288 мг K_2O , и поддерживается избыточно высокий баланс калия +18–37 кг/га. Необходимо перераспределение ресурсов калийных удобрений между районами рыночными методами на основе учета агрохимических свойств почв и потребности сельскохозяйственных культур на реально возможный уровень урожайности.

Разработаны и предлагаются для использования нормативы оптимальных показателей среднегодового баланса калия в земледелии для двух групп районов Беларуси: А) 64 района, где преобладают потенциально более продуктивные, суглинистые и супесчаные, подстилаемые суглинками почвы и Б) 54 района, где преобладают песчаные и рыхлосупесчаные почвы.

Использование предложенных нормативов позволит повысить дозы калия и окупаемость удобрений на потенциально более плодородных почвах связного

гранулометрического состава и уменьшить непроизводительное накопление подвижных форм калия на песчаных и рыхлосупесчаных почвах.

За период химизации сформировались большие различия в содержании подвижных форм калия в луговых почвах по районам Беларуси в диапазоне от 107 до 277 мг P_2O_5 на кг почвы. Ежегодное дифференцированное внесение калийного удобрения в дозах 60–120 кг K_2O на гектар травостоя многолетних трав является важным условием повышения их продуктивности, получения дешевых высококачественных кормов, выравнивания плодородия и окультуривания луговых почв.

Необходимо периодически проводить анализ динамики содержания подвижных форм калия в почвах на уровне поля, хозяйства и административного района в сопоставлении с соответствующими диапазонами оптимальных параметров. Это позволит выйти на экономически оправданный уровень применения удобрений, который обеспечит положительную динамику содержания подвижных форм калия в почвах, недостаточно обеспеченных этим элементом, и откорректировать дозы удобрений для возмещения выноса калия с урожаем на почвах с оптимальным уровнем обеспеченности. Дифференцированный подход к применению удобрений, в свою очередь, повысит их эффективность и создаст условия для экономии материально-энергетических ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пчелкин, В. У. Почвенный калий и калийные удобрения / В. У. Пчелкин. – М.: Колос, 1966. – 336 с.
2. Кулаковская, Т. Н. Применение удобрений / Т. Н. Кулаковская. – Минск: Урожай, 1970. – 220 с.
3. Оптимальные параметры плодородия почв / Т. Н. Кулаковская [и др.]. – М.: Колос, 1984. – 271 с.
4. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, 2006. – 120 с.
5. 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.
6. Сычев, В. Г. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений / В. Г. Сычев, С. А. Шафран. – М.: ВНИИА, 2013. – 296 с.
7. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. М. Богdevич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, 2016. – 288 с.
8. Путятин, Ю. В. Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию / Ю. В. Путятин. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 255 с.
9. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы. – Минск: Департамент по ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС, Ин-т радиологии, 2012. – 121 с.

10. *Богдевич, И. М.* Минимизация перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию на землях, загрязненных после аварии на Чернобыльской АЭС / И. М. Богдевич, Ю. В. Путятин // Земледелие и защита растений. – 2018. – Приложение к № 2. – С. 56–65.

11. *Михайловская, Н.А.* Влияние возрастающей обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижными формами фосфора и калия на биологические показатели плодородия / Н. А. Михайловская, Г. В. Мороз // Почвы, их эволюция, охрана и повышение производительной способности в современных социально-экономических условиях: материалы I съезда Белорус. об-ва почвоведов. – Минск – Гомель, 1995. – С. 206.

12. *Михайловская, Н.А.* Влияние обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы калием на ее уреазную активность: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию Ин-та почвоведения и агрохимии, 5–8 июля 2011. – Минск, 2011. – С. 86–88.

13. *Bergmann, W.* Nutritional disorders of plants / W. Bergmann, G. Fisher. – New York, 1992. – 741 p.

14. *Лапа, В. В.* Продуктивность севооборотов, баланс элементов питания и изменения плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном применении удобрений / В. В. Лапа, Н. Н. Ивахненко // Плодородие. – 2005. – № 5. – С. 40.

15. Методика расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2007. – 26 с.

DYNAMICS OF POTASSIUM SUPPLY OF ARABLE SOILS AND GRASSLAND IN BELARUS

I. M. Bogdevitch, Yu. V. Putyatin, I. S. Stanilevich, O. L. Lomonos

Summary

The results of Agrochemical Soil Survey for 50 years showed the 3 times increase of mobile K-supply of arable soils and grassland in Belarus. The 2/3 of arable soils square and S of grassland are characterized with optimal or high level of mobile K content. At the same districts of country the needs for improvement of K-fertilizer supply of potentially fertile Luvisol clay and loam soils are evident, as well as reduce the K-supply of poorer sandy soils with higher mobile K content. Differentiated norms of K-balance accordingly of initial mobile K content of different textured soils are proposed.

Поступила 14.04.2020

АГРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НОВЫХ ФОРМ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КУКУРУЗЫ НА ЗЕЛЕНУЮ МАССУ НА АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ ПОЛЕСЬЯ

Н. Н. Семененко, Г. В. Пироговская
*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей кормовой культурой в Беларуси является кукуруза, которая используется для производства зеленой массы, силоса и зернофуража. В последнее десятилетие благодаря подбору новых гибридов и совершенствованию технологий возделывания во многих сельскохозяйственных предприятиях расширились посевные площади и повысилась урожайность зеленой массы и зерна кукурузы до европейского уровня. По статистическим данным к настоящему времени общая посевная площадь этой культуры в Беларуси составляет около 1,1 млн га, из них на зерно – 200–250 тыс. га. Анализ технологий возделывания кукурузы показывает, что при высокой урожайности она может быть одной из рентабельных полевых культур. В то же время следует отметить, что урожайность как зеленой массы, так и зерна кукурузы в условиях производства существенно варьирует по годам, а продуктивный потенциал современных гибридов реализуется менее чем на половину с низкой экономической эффективностью. Недобор урожая происходит в основном из-за нарушений технологии выращивания, важнейшими элементами которой являются: подбор предшественника, способ обработки почвы, система удобрения и др. От их выполнения существенно зависит уровень урожайности, экономическая и экологическая эффективность возделывания этой культуры.

Особое место в резервах повышения продуктивности кукурузы и валовых сборов кормов занимает совершенствование технологии возделывания ее на антропогенно-преобразованных торфяных почвах зоны Полесья. Климатические условия этой зоны наиболее благоприятны для возделывания этой культуры. Из 700 тыс. га этих почв в сельскохозяйственных предприятиях ряда районов Брестской (Ивацевичский, Лунинецкий, Пинский), Гомельской (Калинковичский, Октябрьский, Светлогорский) и Минской (Любанский, Солигорский, Стародорожский и другие районы) областей посева кукурузы занимали около 30 % площади пашни [1].

Антропогенно-преобразованные торфяные почвы экологически неустойчивые, часто подстилаются песками и по содержанию органического вещества, водно-физическим, химическим и биологическим свойствам существенно отличаются от дерново-подзолистых. Эти почвы обеднены микроэлементами, в них в 2–3 раза больше сорной растительности. Поэтому на 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. В рекомендациях по возделыванию кукурузы на антропогенно-преобразованных торфяных почвах предусматривается внесение органических удобрений в дозах 40–60 т/га и более [2, 3]. Однако в реальной жизни выполнить эти пожелания сложно, так как часто ощущается дефицит органических удобрений, объекты мелиорации находятся на расстоянии 5–10 км и более от животноводческих комплексов, доставка и заделка их в почву становится экономически невыгодной. Важным звеном технологии, требующим решения при возделывании кукурузы на антропогенно-преобразованных торфяных почвах, является выбор оптимального способа их основной обработки. Практикуемая ежегодная вспашка с точки зрения создания оптимальных водно-физических свойств таких почв и борьбы с сорняками не оправдана, ведет к усилению минерализации органического вещества и дефляции, снижению плодородия почв и увеличению энергетических и финансовых затрат. Потому при разработке технологии возделывания кукурузы на антропогенно-преобразованных торфяных почвах заслуживает внимания использование сидератов, почвозащитного способа основной обработки почвы и установление на их фоне оптимальной системы удобрения.

Однако в настоящее время научно-обоснованная технология возделывания кукурузы на таких почвах отсутствует, за исключением некоторых работ, где приводятся исследования по отдельным элементам технологии [4–8]. Использование рекомендаций и регламентов по возделыванию кукурузы на дерново-подзолистых почвах не всегда оправдано для торфяных комплексов, так как не обеспечивается реализация потенциала почвенно-климатических условий зоны Полесья и генетических возможностей новых гибридов, не обеспечивается снижение себестоимости производства кормов и животноводческой продукции.

Цель исследований – провести сравнительную оценку агроэкономической эффективности применения новых форм комплексных удобрений с добавками микроэлементов на фоне базовой и почвозащитной технологии возделывания кукурузы на зеленую массу на антропогенно-преобразованных торфяных почвах Полесья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные полевые исследования проводили на землях Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства. Почвы опытного поля антропогенно-преобразованные торфяные, подстилаемые песком с глубины 35–45 см. Агрохимическая характеристика (A_n): содержание органического вещества – 17–22 %, рН в КCl 5,7–5,9; доступные растениям соединения (в 0,2 М уксусной кислоте): азот – 98 (низкое); P_2O_5 – 87 (низкое); K_2O – 513 кг/га (среднее) [9]. Подвижные формы (в 0,2 М. HCl) – P_2O_5 – 376 (среднее), K_2O – 399 (низкое) и Zn (в 1,0 М. HCl) – 8,1 мг/кг почвы (низкое).

В опытах изучалась агроэкономическая эффективность новых форм комплексных удобрений с добавками микроэлементов в сравнении со стандартными удобрениями на двух фонах технологий:

- Фон 1 – базовая технология: предшественник – пелюшко-овсяная смесь на зеленый корм, поукосно редька масличная на зеленый корм. Зяблевая вспашка проводится осенью на глубину 20–22 см.

• Фон 2 – почвозащитная технология: предшественник – пелюшко-овсяная смесь на зеленый корм, поукосно редька масличная на сидерат. Осенняя обработка почвы не проводится. Растения редьки масличной, оставляются в зиму в качестве кулисной культуры, за зимний период они отмирают.

Весенняя обработка почвы на двух блоках технологий была одинаковой: весной при созревании почвы проведено дискование в 2 следа с заделкой удобрений и сидерата агрегатом БДТ-7,2 на глубину 10–12 см, предпосевная обработка агрегатом АПП-4 и посев кукурузной сеялкой СКН-6ГМ-01.

На фоне приведенных выше 2 технологий (предшественников и способов основной обработки почвы) исследования с удобрениями проводили по схеме:

Вариант	Применение удобрений		
	основное	подкормки	
1. Без удобрений (контроль) – фон	–	–	
2. Фон + N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀ – базовый вариант	N ₆₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀	4–5 листьев – N ₆₀	8–10 листьев – N ₆₀
3. Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	N ₄₀ P ₉₀ K ₁₈₀	N ₄₅	N ₅₀
4. Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀ +Zn + Экосил	N ₄₀ P ₉₀ K ₁₈₀	N ₄₅	N ₅₀ + Адоб Zn (2 л/га) + Экосил (100 мл/га)
5. Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₈₀	–	N ₄₅

Примечание. Вар. 1. Последствие предшественников и способа основной обработки почвы – фон.

Вар. 2. Фон + NPK (базовый вариант системы удобрения). В варианте применяли дозы удобрений рекомендуемые для получения урожайности зеленой массы кукурузы на уровне 600 ц/га на минеральных почвах без внесения органических удобрений [10–12]. Доза азота рассчитана на возмещение выноса, а фосфора (150 %) и калия (130 %) к выносу с планируемой урожайностью с учетом повышения плодородия почвы.

Вар. 3. Фон + NPK (доза азота равна выносу с урожаем и корректируется с учетом содержания N мин. в почве), по фосфору и калию дозы рассчитаны на возмещение выноса с планируемой урожайностью + 10 % сверх выноса (система удобрения, сбалансированная по выносу элементов питания с урожаем).

Вар. 4. Фон + NPK + применение микроэлемента Zn (в форме Адоб Zn) и обработка Экосил.

Вар. 5. Фон + NPK с B (0,08 %), Zn (0,20 %) и Гидрогуматом, (комплексное, марка NPK = 15–10–20).

Кукуруза – гибрид Алмаз – 180, норма высева – 110 тыс. всхожих семян на гектар; ширина междурядий – 70 см.

Применяли следующие формы удобрений:

- в основное внесение – стандартные туки (мочевина, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий); в варианте 5 – комплексные удобрения с добавками бора и цинка, марка N₁₅P₁₀K₂₀, (удобрения разработаны в РУП «Институт почвоведения и агрохимии»);

- в подкормку азотные удобрения вносили при рыхлении междурядий почвы в виде мочевины в фазы 4–5 и 8–10 листьев;

- в варианте 4 в подкормку вносили – Адоб-Цинк (2 л/га) в смеси с Экосил (100 мл/га), при объеме рабочего водного раствора – 200 л/га.

Опыты закладывали в 4-кратной повторности, общая площадь делянки – 24 м² (4 м x 6 м).

В течение вегетации растений осуществлялся фенологический контроль за ходом их развития и фитосанитарный за состоянием посевов, проводился учет засоренности посевов.

Уход за посевами: гербициды – в фазу 2-го листа (Прима – 0,4 л/га) и 6 листьев (Майтус – 0,5 л/га и Талант – 0,2 л/га).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние агротехнологических приемов на урожайность зеленой массы кукурузы. Приведенные в табл. 1 экспериментальные данные показывают, что при базовой технологии возделывания кукурузы уровень урожайности зеленой массы при применении повышенных доз удобрений (вариант 2, среднее за два года) увеличивается несущественно в сравнении с вариантом 3, где дозы удобрений были сбалансированы с уровнем планируемой урожайности, а при расчете дозы азота учитывалось содержание его минеральных соединений в почве. Более высокая урожайность зеленой массы кукурузы (56,9 т/га) получена при комплексном применении сбалансированных с выносом урожаем доз макро- и микроэлемента (цинк) совместно с Экосил. За счет применения цинка в хелатной форме и регулятора роста растений Экосил на фоне внесения N₁₃₅P₉₀K₁₈₀ получена прибавка урожая зеленой массы кукурузы – 7,3 т/га. Внесение новой формы комплексного удобрения с добавками бора, цинка и регулятора роста растений Гидрогумат способствовало повышению урожайности в размере 7,4 т/га по сравнению с внесением стандартных туков в эквивалентной дозе (вариант 3), по сравнению с фоном (вариант 1) – на 55 %, или на 20,3 т/га. В целом прибавка урожайности зеленой массы кукурузы при внесении комплексного удобрения с микроэлементами и гуматом равноценна прибавке, полученной от сбалансированных доз стандартных удобрений в комплексе с Адоб-Цинк и Экосилом.

Таблица 1

Влияние агротехнологических приемов на урожайность зеленой массы кукурузы (при 30 % сухой массы)

Система удобрения	Урожайность, т/га			Прибавка к фону		Окупаемость 1 кг НРК 1 кг зеленой массы
	2011 г.	2012 г.	среднее за два года	т/га	%	
<i>Базовая технология – последствие пожнивно-корневых остатков, яблевая вспашка</i>						
1. Без удобрений (контроль) – фон	27,7	45,7	36,7	–	–	–
2. Фон + N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀ – базовый вариант	42,3	59,9	51,1	14,4	39	25,9
3. Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	43,0	56,1	49,6	12,9	35	31,9
4. Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀ + Zn + Экосил	56,3	57,5	56,9	20,2	55	–
5. Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	55,9	58,1	57,0	20,3	55	–
НСР ₀₅	2,3	2,7	2,51	–	–	–

Система удобрения	Урожайность, т/га			Прибавка к фону		Окупаемость 1 кг NPK 1 кг зеленой массы
	2011 г.	2012 г.	среднее за два года	т/га	%	
<i>Почвозащитная технология – последствие сидерата, осенняя обработка почвы не проводится</i>						
1. Без удобрений (контроль) – фон	61,9	52,0	56,9	–	–	–
2. Фон + N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀ – базовый вариант	68,2	64,3	66,6	9,7	17	17
3. Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	74,8	65,0	69,9	13,0	23	32
4. Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀ + Zn + Экосил	80,7	67,7	74,1	17,2	30	–
5. Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	85,2	69,7	77,4	20,5	36	–
HCP ₀₅	3,7	3,6	3,67	–	–	–

Использование редьки масличной в качестве сидерата (почвозащитная технология) обеспечило повышение, в сравнении с базовой технологией, урожайности зеленой массы в варианте без внесения удобрений на 55 %, или 20,2 т/га. При дополнительном внесении удобрений на фоне сидерата достигнута урожайность 66,6 (базовый вариант системы удобрения) и 69,9 т/га (сбалансированной с выносом урожаем). В сравнении с базовым вариантом технологии (вариант 1) урожайность по аналогичным вариантам систем внесения удобрений на фоне сидерата повысилась на 15,5 и 20,3 т/га, или на 30 и 41 %. Внесение повышенных доз удобрений (вариант 2), в сравнении с вариантом 3, по действию на урожайность существенных преимуществ не имеет, а окупаемость их снижается в 1,88 раза. Более высокая урожайность зеленой массы кукурузы получена при комплексном применении сбалансированных по выносу элементов питания с урожаем доз макроудобрений и цинка с Экосилом (вариант 4) – 74,1 т/га. Близкая урожайность зеленой массы кукурузы (77,4 т/га) к уровню варианта 4 (+ 3,3 т/га) получена также на фоне сидерата при внесении комплексного удобрения с добавкой бора, цинка и регулятора роста растений Гидрогумат (табл. 1).

Оценка влияния применяемых агротехнологических приемов на продуктивность зеленой массы кукурузы приведена в табл. 2. Установлено, что в варианте без внесения минеральных удобрений за счет использования сидерата повысился выход кормовых единиц с зеленой массой на 5,8 т/га, переваримого протеина – на 2,2 ц/га и обменной энергии – на 55 ГДж/га. При внесении удобрений на фоне сидерата выход кормовых единиц увеличился до 19,2–22,3 т/га, переваримого протеина – 15,6–16,9 ц/га и обменной энергии – до 184–211 ГДж/га. Прибавка к базовой технологии по аналогичным вариантам систем удобрения составила по показателям 26, 35, 20, 30 и 34 % соответственно. Наиболее высокая эффективность удобрений по всем показателям получена при внесении их в дозах, рассчитанных на вынос с урожайностью, совместно с цинком и Экосилом в подкормку и при применении комплексных удобрений с микроэлементами (B и Zn) и Гидрогуматом. При этом на фоне 2 технологий возделывания кукурузы более низкая окупаемость удобрений отмечалась при внесении повышенных доз удобрений, рассчитанных на вынос с урожаем и повышение плодородия почвы.

**Влияние агротехнологических приемов
на продуктивность зеленой массы кукурузы, 2011–2012 гг.**

Система удобрения (NPK кг/га)	Предшественник редька масличная		Прибавка от сиде- рата
	на зеленый корм, вспашка	на сидерат	
<i>Кормовые единицы, т/га</i>			
Без удобрений (контроль) – фон	10,6	16,4	+5,8
Фон + N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀ – базовый вариант	15,2	19,2	+4,0
Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	14,3	20,2	+5,9
Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀ + Zn + Экосил	16,4	21,4	+5,0
Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	16,5	22,3	+5,8
<i>Переваримый протеин, ц/га</i>			
Без удобрений (контроль) – фон	9,4	11,6	+2,2
Фон + N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀ – базовый вариант	13,0	15,6	+2,6
Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	12,1	14,4	+2,3
Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀ + Zn + Экосил	14,1	16,9	+2,8
Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	14,2	16,0	+1,8
<i>Обменная энергия, ГДж/га</i>			
Без удобрений (контроль) – фон	102	157	+55
Фон + N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀ – базовый вариант	141	184	+43
Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	133	193	+60
Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀ + Zn + Экосил	157	205	+48
Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	158	211	+53

Экономическая эффективность использования комплекса агротехнологических приемов при возделывании кукурузы на зеленую массу.

При разработке технологии возделывания кукурузы на дерготорфяных почвах, наряду с агрономической оценкой исследуемых приемов, важное значение имеет и оценка экономической целесообразности проведения тех или иных мероприятий, в частности применения сидерата и комплексных форм удобрений. В исследованиях расчет показателей экономической эффективности проведен исходя из расценок и закупочных цен, действующих по состоянию на 2019 г. Производственные затраты рассчитаны по технологическим картам, составленным на основе фактически выполняемых работ при проведении полевых опытов. Стоимость кормовой единицы приравнивали к закупочной цене овса. Результаты исследований показывают (табл. 3), что при возделывании кукурузы на зеленую массу получена в целом достаточно высокая условная прибыль по исследуемым агротехнологическим приемам (428–1056 \$/га).

Наиболее низкий уровень прибыли и рентабельности применения удобрений получен на фоне базовой технологии при использовании редьки масличной на зеленый корм, заделке пожнивно корневых остатков под зяблевую вспашку и внесении повышенных доз удобрений – 428 \$/га. Более высокая экономическая эффективность возделывания кукурузы на зеленую массу установлена на фоне сидерата при всех исследуемых системах применения удобрений (728 \$/га и более). По всем показателям наибольшего внимания заслуживает вариант системы удобрений, включающий уровень доз, соответствующий выносу элементов пита-

ния урожаем и корректировку дозы азота с учетом запаса его в почве и дополнительное внесение совместно с азотной подкормкой цинка и Экосила (почвозащитная технология, вариант 3). По варианту с комплексным действием сидерата и системы удобрения обеспечивается сбор кормовых единиц на уровне 21,4 т/га при себестоимости производства 33,7 \$/т (это на 36 % ниже варианта при базовой технологии) и получении условной прибыли более 1000 \$/га.

Таблица 3

Экономическая эффективность использования агротехнологических приемов при возделывании кукурузы на зеленую массу

Система удобрения	Выход к. ед, т/га	Стоимость	Общие	Условная	Себестоимость, \$ /т к. ед.
		продукции	затраты*	прибыль	
<i>Базовая технология – последствие пожнивно-корневых остатков, зяблевая вспашка</i>					
Фон + N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀ – базовый вариант	15,2	1224	796	428	52,4
Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	14,3	1151	711	440	49,7
Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀ + Zn + Экосил	16,3	1320	719	601	44,1
Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	16,5	1336	730	606	44,2
<i>Почвозащитная технология – последствие сидерата, осенняя обработка почвы не проводится</i>					
Фон + N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀ – базовый вариант	19,2	1546	818	728	40,7
Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	20,2	1699	749	950	37,1
Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀ + Zn + Экосил	21,4	1723	722	1001	33,7
Фон + N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	22,4	1792	736	1056	32,9

* С учетом затрат на посев редьки масличной (85,6 \$/га).

Следует отметить, что применение новых форм комплексных удобрений с добавками микроэлементов и регулятора роста растений Гидрогумат при базовой и почвозащитной технологиях обеспечивает наиболее высокую продуктивность кукурузы – 16,5 и 22,4 т/га кормовых единиц, прибыль – 606 и 1056 \$/га и низкую себестоимость – 44,2 и 32,9 \$/т к. ед. соответственно. Это значит, что применение под кукурузу системы удобрений, включающей уровень доз, соответствующий выносу элементов питания урожаем, корректировку дозы азота с учетом запаса его в почве и внесение рекомендуемых новых форм комплексных удобрений обеспечивает в сравнении с базовой технологией повышение продуктивности на 9 и 17 %, увеличение прибыли – на 42 и 45 % и снижение себестоимости производства зеленой массы кукурузы на 16 и 19 %.

ВЫВОДЫ

1. Применение базовой технологии возделывания кукурузы (осенняя заделка в почву под зяблевую вспашку пожнивно-корневых остатков редьки масличной и более высокие уровни доз удобрений, рассчитанные на вынос с урожаем элементов питания и повышение плодородия почвы) обеспечивает получение урожайности зеленой массы кукурузы на уровне 51,1 т/га (30 % СВ), 428 \$/га прибыли при себестоимости 52,4 \$/т.

2. При возделывании кукурузы как по традиционной (базовая), так и почвозащитной технологии применение новых форм комплексных удобрений с добав-

ками В, Zn и регулятора роста растений Гидрогумат показало более высокую их эффективность (повышение продуктивности на 9 и 17 %, прибыли – на 42 и 45 %, при снижении себестоимости производства зеленой массы кукурузы на 16 и 19 %) по сравнению со стандартными туками. Эффективным агротехническим приемом было и применение стандартных туков с дополнительной некорневой подкормкой цинком в смеси с Экосилом.

3. Возделывание редьки масличной в качестве сидерата и внесение дифференцированных доз минеральных удобрений, определяемых на планируемую урожайность с учетом результатов новых методов почвенной диагностики, применение в подкормку микроэлементов и биологически активных веществ, новых форм минеральных комплексных удобрений может служить основой высокоэффективной почвозащитной ресурсосберегающей технологии возделывания кукурузы на зеленую массу на дерготорфяных почвах Полесья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смяяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.
2. 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.
3. 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.
4. Применение агробιοтехнологических мероприятий и средств интенсификации нового поколения при возделывании кукурузы на антропогенно-преобразованных торфяных почвах Полесья: метод. реком. / Н. Н. Семененко [и др.]; под ред Н. Н. Семененко; РУП «Институт мелиорации». – Минск, 2013. – 40 с.
5. *Семененко, Н. Н.* Влияние способов основной обработки дерготорфяной почвы и систем удобрения на урожайность зеленой массы кукурузы. / Н. Н. Семененко, Е. В. Каранкевич, Н. М. Авраменко // Земледелие и защита растений. – 2013. – № 5. – С.13–17
6. *Семененко, Н. Н.* Ресурсосберегающая почвозащитная технология возделывания кукурузы на зеленую массу на дерготорфяных почвах Полесья / Н. Н. Семененко, Е. В. Каранкевич // Земледелие и защита растений. – 2015. – № 5. – С. 12–16.
7. Отраслевой технологический регламент полевого кормопроизводства на торфяных почвах. / Л. Н. Лученок, Н. Н. Семененко [и др.]; МСХП Респ. Беларусь; РУП «Институт мелиорации». – Минск. – 2014. – 60 с.
8. *Иващенко, А. И.* В Любанском районе прописалась зерновая технология выращивания кукурузы / А. И. Иващенко // Белорусское сельское хозяйство. – 2008. – № 3.– С. 46–51.
9. *Семененко, Н. Н.* Методы определения содержания доступных растениям соединений азота, фосфора и калия в деградированных торфяных почвах / Н. Н. Семененко, В. А. Журавлев. – Минск, 2005. – 24 с.
10. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 390 с.

11. *Шпаар, Д.* Кукуруза / Д. Шпаар [и др.]. – Минск: ФУАинформ, 1999. – 192 с.
12. 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.

AGROECONOMIC EFFICIENCY OF NEW FORMS OF INTEGRATED FERTILIZERS FOR CROPING CORN FOR GREEN MASS ON ANTHROPOGENICALLY-TRANSFORMED PEAT SOILS OF POLESYE

N. N. Semenenko, G. V. Pirahouskaya

Summary

The article presents data on the impact of various agrotechnological techniques (basic and soil-protecting technology) of cultivating corn on green mass, standard and new forms of complex fertilizers with the addition of microelements and plant growth regulators, different doses of fertilizers, microelement (Zn together with Ecosil) on green mass productivity corn, product quality, economic efficiency and the appropriateness of the techniques used in the anthropogenically transformed peat soils of Polesie. The most effective agrotechnological methods for cultivating corn on green mass on these soils have been identified.

Поступила 18.03.2020

УДК 631.84:633.2

ВЛИЯНИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ ЗЛАКОВЫХ ТРАВ НА ТОРФЯНИСТО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ

Н. Н. Цыбулько¹, Е. Б. Евсеев², И. И. Жукова³

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

*² Институт радиобиологии,
г. Гомель, Беларусь*

*³ Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Беларуси 690,0 тыс. га осушенных торфяных почв используются в качестве сельскохозяйственных земель, из них 201,7 тыс. га (29 %) с мощностью торфяного слоя менее 0,5 м (торфянисто-глеевые и торфяно-глеевые почвы) [1].

Торфяные почвы с мощностью торфяной залежи менее 1 м рекомендуется использовать под бобово-злаковыми и злаковыми травами длительного пользо-

вания [2]. Предпочтение отдается злаковым травам, которые длительный период сохраняются в травостое, не требуют частого переозеленения и наиболее полно используют минерализующийся азот [3].

Главными факторами, определяющим уровень продуктивности многолетних трав при благоприятном водном режиме, являются условия минерального питания. Вынос элементов питания с 1 т сена многолетних злаковых трав составляет: азот – 14,9 кг, фосфор – 4,5, калий – 24,1 кг [4]. Рекомендуемые в настоящее время дозы азотных удобрений колеблются в зависимости от планируемой урожайности от 30 до 100 кг/га [5].

Цель работы – изучить влияние доз и сроков применения азотных удобрений в зависимости от уровня калийного питания на продуктивность многолетних злаковых трав на торфянисто-глеевой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2016–2019 гг. в стационарных полевых опытах на территории землепользования СПК «Новое Полесье» Лунинецкого района Брестской области. Объектом исследования являлась торфянисто-глеевая низинная осушенная, развивающаяся на тростниково-осоковых торфах, подстилаемых с глубины 0,26 м связными древнеаллювиальными песками, почва. Агрохимические показатели пахотного (0–25 см) слоя почвы следующие (средние значения): органическое вещество – 60,4 %, $N_{\text{общ}}$ – 1,74 %, рН в КСl – 5,37; подвижные формы (в 0,2 М НСl) P_2O_5 – 876 и K_2O – 818 мг/кг почвы.

Возделывали многолетнюю среднеспелую злаковую травосмесь, включающую тимофеевку луговую – 2 кг/га, овсяницу луговую – 5 кг/га, кострец безостый – 6 кг/га. Схема опыта, дозы и сроки применения минеральных удобрений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Схема применения минеральных удобрений в опыте

Варианты опыта	Дозы удобрений под 1-й укос, кг/га д. в.			Дозы удобрений под 2-й укос, кг/га д. в.		
	N	P	K	N	P	K
1. Контроль	–	–	–	–	–	–
2. $P_{90}K_{150}$ – фон 1	–	90	90	–	–	60
3. Фон 1 + N_{100}	60	90	90	40	–	60
4. Фон 1 + N_{120}	80	90	90	40	–	60
5. Фон 1 + N_{140}	80	90	90	60	–	60
6. $P_{90}K_{180}$ – фон 2	–	90	120	–	–	60
7. Фон 2 + N_{100}	60	90	120	40	–	60
8. Фон 2 + N_{120}	80	90	120	40	–	60
9. Фон 2 + N_{140}	80	90	120	60	–	60

Размещение делянок в опыте рендомизированное. Повторность вариантов в опыте четырехкратная. Общая площадь делянки составляла 20 м², учетная площадь – 12 м².

Агрохимические показатели почв определяли по методикам: органическое вещество – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212-91 [6]; рН_{КСl} – потен-

циометрическим методом по ГОСТ 26483-85 [7]; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207-91 [8]; общий азот – по ГОСТ 26107-84 [9]. Полученные данные обрабатывали методами корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа [10] с использованием компьютерного программного обеспечения (*Excel 7.0, Statistic 7.0*).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За период исследований (2016–2019 гг.) метеорологические условия вегетационных периодов (апрель–август) существенно различались. По степени увлажнения 2016 г. характеризовался слабозасушливыми условиями с ГТК 1,28, 2017 г. был влажным (ГТК – 2,24), 2018 г. – засушливым (ГТК – 0,97) и 2019 г. отличался оптимальными гидротермическими условиями (ГТК – 1,30).

Продуктивность многолетних злаковых трав по годам исследований зависела от метеорологических условий вегетационных периодов, укосов и уровней применения удобрений (табл. 2).

Таблица 2

Влияние доз и сроков внесения азотных удобрений на продуктивность многолетних злаковых трав

Варианты опыта	Урожайность сена по укосам, ц/га			Общая урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	
	1-й укос	2-й укос	3-й укос		к контролю	к РК
2016 г.						
1. Контроль	26,5	–	–	26,5	–	–
2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон 1	33,4	–	–	33,4	6,9	–
3. Фон 1 + N ₁₀₀ (60 + 40)	38,2	–	–	38,2	11,7	4,8
4. Фон 1 + N ₁₂₀ (80 + 40)	38,9	–	–	38,9	12,4	5,5
5. Фон 1 + N ₁₄₀ (80 + 60)	39,9	–	–	39,9	13,4	6,5
6. P ₉₀ K ₁₈₀ – фон 2	34,9	–	–	34,9	8,4	–
7. Фон 2 + N ₁₀₀ (60 + 40)	38,5	–	–	38,5	12,0	3,6
8. Фон 2 + N ₁₂₀ (80 + 40)	39,2	–	–	39,2	12,7	4,3
9. Фон 2 + N ₁₄₀ (80 + 60)	40,1	–	–	40,1	13,6	5,2
НСР _{0,5}	1,06			1,06	–	–
2017 г.						
1. Контроль	20,7	12,0	8,9	41,6	–	–
2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон 1	32,6	13,2	10,0	55,8	14,2	–
3. Фон 1 + N ₁₀₀ (60 + 40)	58,8	28,1	14,5	101,4	59,8	45,6
4. Фон 1 + N ₁₂₀ (80 + 40)	74,1	32,9	16,1	123,1	81,5	67,3
5. Фон 1 + N ₁₄₀ (80 + 60)	74,8	37,0	17,2	129,0	87,4	73,2
6. P ₉₀ K ₁₈₀ – фон 2	34,1	14,5	10,6	59,2	17,6	–
7. Фон 2 + N ₁₀₀ (60 + 40)	58,6	29,6	17,4	105,6	64,0	46,4
8. Фон 2 + N ₁₂₀ (80 + 40)	75,1	35,3	19,5	129,9	88,3	70,7
9. Фон 2 + N ₁₄₀ (80 + 60)	74,8	38,4	20,8	134,0	92,4	74,8
НСР _{0,5}	1,86	2,86	0,58	5,30	–	–

Варианты опыта	Урожайность сена по укосам, ц/га			Общая урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	
	1-й укос	2-й укос	3-й укос		к контролю	к РК
2018 г.						
1. Контроль	34,6	23,5	–	58,1	–	–
2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон 1	43,3	33,7	–	77,0	18,9	–
3. Фон 1 + N _{100 (60 + 40)}	58,3	46,3	–	104,6	46,5	27,6
4. Фон 1 + N _{120 (80 + 40)}	61,5	47,5	–	109,0	50,9	32,0
5. Фон 1 + N _{140 (80 + 60)}	62,0	49,3	–	111,3	53,2	34,3
6. P ₉₀ K ₁₈₀ – фон 2	44,8	40,2	–	85,0	26,9	–
7. Фон 2 + N _{100 (60 + 40)}	60,0	46,2	–	106,2	48,1	21,2
8. Фон 2 + N _{120 (80 + 40)}	61,8	46,9	–	108,7	50,6	23,7
9. Фон 2 + N _{140 (80 + 60)}	62,5	53,0	–	115,5	57,4	30,5
НСР _{0,5}	3,40	2,25		5,65	–	–
2019 г.						
1. Контроль	36,4	31,8	–	68,2	–	–
2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон 1	43,5	40,1	–	83,6	15,4	–
3. Фон 1 + N _{100 (60 + 40)}	69,3	58,2	–	127,5	59,3	43,9
4. Фон 1 + N _{120 (80 + 40)}	80,5	60,7	–	141,2	73,0	57,6
5. Фон 1 + N _{140 (80 + 60)}	81,3	62,2	–	143,5	75,3	59,9
6. P ₉₀ K ₁₈₀ – фон 2	51,4	41,2	–	92,6	24,4	–
7. Фон 2 + N _{100 (60 + 40)}	70,9	66,8	–	137,7	69,5	45,1
8. Фон 2 + N _{120 (80 + 40)}	82,7	69,7	–	152,4	84,2	60,0
9. Фон 2 + N _{140 (80 + 60)}	82,4	70,6	–	153,0	84,8	60,4
НСР _{0,5}	3,40	3,50		6,90	–	–

В год посева трав (2016 г.) сформирован один их укос. Урожайность сена составила в контрольном варианте 26,5 ц/га. При внесении перед посевом фосфорных и калийных удобрений в дозах P₉₀K₁₅₀ и P₉₀K₁₈₀ получены достоверные прибавки сена – 6,9 и 8,4 ц/га соответственно. Азотная подкормка трав в дозе 100 кг/га обеспечила достоверные прибавки сена, которые составили к контролю на фоне P₉₀K₁₅₀ 11,7 ц/га и на фоне P₉₀K₁₈₀ 12,0 ц/га, а прибавки к фонам – 4,8 и 3,6 ц/га соответственно. Применение доз азотных удобрений 120 и 140 кг/га не привело к существенному увеличению урожайности многолетних трав по отношению к варианту N₁₀₀ как на фоне P₉₀K₁₅₀, так и на фоне P₉₀K₁₈₀.

В 2017 г. сформировано три укоса многолетних трав. Общая продуктивность их за все укосы на контроле составила 41,6 ц/га, в том числе первый укос 20,7 ц/га, второй укос – 12,0 и третий укос – 8,9 ц/га. Фосфорные и калийные удобрения, внесенные в дозах P₉₀K₁₅₀, обеспечили прибавку сена 14,2 ц/га. В вариантах с применением более высоких доз калийных удобрений (K₁₈₀) общая урожайность сена составила 59,2 ц/га, прибавка к контрольному варианту – 17,6 ц/га.

Азотные подкормки трав в дозе 100 кг/га (N₆₀ под первый укос и N₄₀ под второй укос) обеспечили прибавки сена за три укоса к контролю – 59,8 и 64,0 ц/га, к фо-

новым вариантам $P_{90}K_{150}$ и $P_{90}K_{180}$ – 45,6 и 46,4 ц/га, соответственно. Применение более высоких доз азотных удобрений (N_{120} и N_{140}) также способствовало достоверному увеличению продуктивности многолетних трав по отношению к варианту с N_{100} . Наиболее высокая урожайность сена за три укоса получена в варианте $N_{140}P_{90}K_{180}$, она составила 134,0 ц/га.

Следует отметить, что на фосфорно-калийном фоне $P_{90}K_{180}$ и применении 120 кг/га азота удобрений общая продуктивность многолетних трав была несколько выше (129,9 ц/га сена), чем на фоне $P_{90}K_{150}$ и применении 140 кг/га азотных удобрений (129,0 ц/га сена).

В засушливом по гидрометеорологическим условиям 2018 г. сформировано два укоса многолетних злаковых трав. Урожайность первого укоса колебалась по вариантам опыта от 34,6 до 62,5 ц/га сена, второго укоса – от 23,5 до 53,0 ц/га. При урожайности сена за два укоса в контрольном варианте 58,1 ц/га, внесение фосфорных и калийных удобрений в дозах $P_{90}K_{150}$ обеспечило прибавки сена – 18,9 ц/га, а в дозах $P_{90}K_{180}$ – 26,9 ц/га. Так, в засушливых условиях применение более высоких доз калийных удобрений способствовало росту урожайности.

При применении азотных удобрений в дозе 100 кг/га (N_{60} под первый укос и N_{40} под второй укос) на фоне $P_{90}K_{150}$ (вариант 3) урожайность сена за два укоса составила 104,6 ц/га, прибавка к контролю – 46,5 ц/га, к фону – 27,6 ц/га. Внесение этой же дозы азотных удобрений на фоне $P_{90}K_{180}$ (вариант 7) не обеспечило существенной прибавки урожайности (1,6 ц/га при $НСР_{0,5} = 5,65$ ц/га) к варианту 3.

Эффективность более высоких доз азотных удобрений – 120 и 140 кг/га зависела от уровня фосфорно-калийного питания растений. Так, на фоне $P_{90}K_{150}$ внесение N_{120} (N_{80} под первый укос и N_{40} под второй укос) не обеспечило существенного повышения урожайности по отношению к варианту N_{100} . При применении N_{140} (N_{80} под первый укос и N_{60} под второй укос) наблюдался достоверный рост продуктивности к варианту с N_{100} и несущественный – к варианту с N_{120} . На фоне $P_{90}K_{180}$ внесение 140 кг/га азота удобрений обеспечило существенные прибавки урожайности по отношению к вариантам N_{100} и N_{120} , которые составили 9,3 и 6,8 ц/га сена соответственно. В этом варианте сформирована наибольшая в опыте продуктивность за два укоса многолетних трав – 115,5 ц/га сена.

В 2019 г., который характеризовался оптимальными гидротермическими условиями, получена наиболее высокая урожайность многолетних трав. За два укоса продуктивность на контрольном варианте составила 68,2 ц/га сена. Внесение под первый укос $P_{90}K_{90}$ и под второй укос K_{60} обеспечило общую прибавку сена – 15,4 ц/га, а применение под первый укос K_{120} и второй укос K_{60} – 24,4 ц/га сена. Общая продуктивность трав за два укоса сформирована на фосфорно-калийных фонах 83,6 и 92,6 ц/га сена соответственно.

Действие азотных удобрений в данном году имело свою специфику. Более высокие прибавки от их применения получены на фоне $P_{90}K_{180}$. Так, при внесении азота в общей дозе 100 кг/га урожайность на фоне $P_{90}K_{150}$ составила 127,5 ц/га, на фоне $P_{90}K_{180}$ – 137,7 ц/га, прибавки к фонам – 43,9 и 45,1 ц/га соответственно.

Увеличение дозы азотных удобрений до 120 кг/га привело к существенному повышению продуктивности трав, которая составила на первом фоне 141,2 ц/га,

на втором фоне – 152,4 ц/га сена. В то же время при более высокой их дозе не отмечено дальнейшего достоверного роста урожайности.

В среднем за 4 года исследований продуктивность многолетних трав составила на контрольном варианте 48,6 ц/га сена, или 24,8 ц/га к. ед. В результате применения фосфорных и калийных удобрений продуктивность возросла до 62,5–67,9 ц/га сена, или 31,9–34,6 ц/га к. ед.

При внесении $P_{90}K_{150}$ в среднем за 4 года получена урожайность 62,5 ц/га сена, прибавка к контролю – 13,9 ц/га, или 7,1 ц/га к. ед. При увеличении дозы калия до 180 кг/га урожайность возросла до 67,9 ц/га, прибавка – 19,3 ц/га сена, или 9,8 ц/га к. ед. (табл. 3).

В среднем за 4 года исследований в вариантах с применением азотных удобрений в дозах от 100 до 140 кг/га продуктивность многолетних трав возрастала на первом фосфорно-калийном фоне от 92,9 до 105,9 ц/га сена, или от 47,4 до 54,0 ц/га к. ед., на втором фоне – от 97,0 до 110,7 ц/га сена, или от 49,5 до 56,5 ц/га к. ед. Прибавки сена многолетних злаковых трав за счет азотных удобрений на фонах с разными дозами калийных удобрений были близкими и составили на фоне $P_{90}K_{150}$ 30,4–43,4 ц/га сена, или 15,5–22,1 ц/га к. ед., на фоне $P_{90}K_{180}$ – 29,1–42,8 ц/га сена, или 14,9–21,9 ц/га к. ед. Максимальная продуктивность получена в варианте с применением $N_{140}P_{90}K_{180}$ – 110,7 ц/га сена, или 56,5 ц/га к. ед.

Таблица 3

Влияние доз и сроков внесения азотных удобрений на продуктивность многолетних злаковых трав в среднем за 4 года исследований

Варианты опыта	Урожайность в среднем за 4 года, ц/га		Прибавка, ц/га			
	сено	к. ед.	к контролю		к РК	
			сено	к. ед.	сено	к. ед.
1. Контроль	48,6	24,8	–	–	–	–
2. $P_{90}K_{150}$ – фон 1	62,5	31,9	13,9	7,1	–	–
3. Фон 1 + $N_{100(60+40)}$	92,9	47,4	44,3	22,6	30,4	15,5
4. Фон 1 + $N_{120(80+40)}$	103,1	52,6	54,5	27,8	40,6	20,7
5. Фон 1 + $N_{140(80+60)}$	105,9	54,0	57,3	29,2	43,4	22,1
6. $P_{90}K_{180}$ – фон 2	67,9	34,6	19,3	9,8	–	–
7. Фон 2 + $N_{100(60+40)}$	97,0	49,5	48,4	24,7	29,1	14,9
8. Фон 2 + $N_{120(80+40)}$	107,6	54,9	59,0	30,1	39,7	20,3
9. Фон 2 + $N_{140(80+60)}$	110,7	56,5	62,1	31,7	42,8	21,9

В среднем по Беларуси норматив окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая многолетних трав на пашне составляет 16,6 кг сена на 1 кг NPK [11]. По результатам полевого опыта на торфянисто-глеевой почве проведена оценка эффективности доз внесения минеральных удобрений под многолетние злаковые травы. При высоком содержании в почве P_2O_5 (876 мг/кг почвы) и повышенном содержании K_2O (818 мг/кг почвы) окупаемость 1 кг фосфорных и калийных удобрений, внесенных за два укоса трав в дозах $P_{90}K_{150}$ и $P_{90}K_{180}$, составила 5,8 и 7,1 кг сена соответственно, или 3,0 и 3,6 к. ед. (табл. 4).

**Окупаемость минеральных удобрений прибавкой продукции
многолетних злаковых трав**

Варианты опыта	Оплата 1 кг NPK, кг продукции			
	сено		к. ед.	
	NPK	N	NPK	N
1. Контроль	–	–	–	–
2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон 1	5,8	–	3,0	–
3. Фон 1 + N _{100 (60 + 40)}	13,0	30,4	6,6	15,5
4. Фон 1 + N _{120 (80 + 40)}	15,1	33,8	7,7	17,3
5. Фон 1 + N _{140 (80 + 60)}	15,1	31,0	7,7	15,8
6. P ₉₀ K ₁₈₀ – фон 2	7,1	–	3,6	–
7. Фон 2 + N _{100 (60 + 40)}	13,1	29,1	6,7	14,9
8. Фон 2 + N _{120 (80 + 40)}	15,1	33,1	7,7	16,9
9. Фон 2 + N _{140 (80 + 60)}	15,1	30,6	7,7	15,6

Окупаемость полного минерального удобрения при дозах внесения азотных удобрений 100 кг/га была на уровне 13,0–13,1 кг сена, или 6,6–6,7 к. ед., а при дозах 12–140 кг/га – 15,1 кг сена, или 7,7 к. ед.

Наиболее высокая оплата прибавкой урожая азотных удобрений получена в вариантах, где вносили их в дозах 120 кг/га. На фоне P₉₀K₁₅₀ она составила 33,8 кг сена, или 17,3 к. ед., на фоне P₉₀K₁₈₀ – 33,1 кг сена, или 16,9 к. ед.

ВЫВОДЫ

1. Применение азотных удобрений в дозах от 100 до 140 кг/га увеличивает продуктивность многолетних злаковых трав на фоне P₉₀K₁₅₀ от 92,9 до 105,9 ц/га сена, или от 47,4 до 54,0 ц/га к. ед., на фоне P₉₀K₁₈₀ – от 97,0 до 110,7 ц/га сена, или от 49,5 до 56,5 ц/га к. ед. Максимальная продуктивность обеспечивается при применении N₁₄₀P₉₀K₁₈₀ – 110,7 ц/га сена, или 56,5 ц/га к. ед.

2. Прибавки сена за счет азотных удобрений на фонах с разными дозами калийных удобрений близкие и составляют на фоне P₉₀K₁₅₀ 30,4–43,4 ц/га сена, или 15,5–22,1 ц/га к. ед., на фоне P₉₀K₁₈₀ – 29,1–42,8 ц/га сена, или 14,9–21,9 ц/га к. ед.

3. Наиболее высокая окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая формируется при внесении их в дозах 120 кг/га. На фоне P₉₀K₁₅₀ она составила 33,8 кг сена, или 17,3 к. ед., на фоне P₉₀K₁₈₀ – 33,1 кг сена, или 16,9 к. ед.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осушенные торфяные и дегроторфяные почвы в составе сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапы; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 215 с.

2. *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.

3. Эколого-экономическое обоснование мелиорации торфяно-болотных комплексов и технологии их рационального использования / под общ. ред. Ю. А. Мажайского. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2012. – 302 с.
4. 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.
5. Система применения удобрений: учебник / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы. – Минск: ИВЦ Минфина, 2016. – 440 с.
6. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212-91. – Введ. 1993.07.01. – Минск: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
7. 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.
8. 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.
9. Почвы. Методы определения общего азота: ГОСТ 26107-84. – Введ. 07.01.85. – Минск: Белорус. гос. Ин-т стандартизации и сертификации, 1985. – 6 с.
10. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

INFLUENCE OF NITROGEN FERTILIZERS ON THE PRODUCTIVITY OF PERENNIAL CEREAL GRASSES ON PEARLY-GLAY SOIL

N. N. Tsybulka, E. B. Evseev, I. I. Zhukova

Summary

The use of nitrogen fertilizers in rates from 100 to 140 kg/ha increases the productivity of perennial grasses on the background of $P_{90}K_{150}$ from 92,9 to 105,9 c/ha of hay or from 47,4 to 54,0 c/ha of feed units, on the background of $P_{90}K_{180}$ – from 97,0 to 110,7 c/ha of hay or from 49,5 to 56,5 c/ha of feed units. Maximum productivity is provided when using $N_{140}P_{90}K_{180}$ – 110,7 c/ha of hay or 56,5 c/ha of feed units. Increases in hay due to nitrogen fertilizers on backgrounds with different doses of potash fertilizers are close and make up 30,4–43,4 c/ha price or 15,5–22,1 c/ha of feed units against the background of $P_{90}K_{180}$ – 29,1–42,8 c/ha of hay or 14,9–21,9 c/ha of feed units. The highest payback of nitrogen fertilizers with an increase in yield is formed when they are applied in rates of 120 kg/ha. Against the background of $P_{90}K_{150}$, it was 33,8 kg of hay or 17,3 feed units, against the background of $P_{90}K_{180}$ 33,1 kg of hay or 16,9 feed units.

Поступила 16.04.2020

ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И ПТИЦЕФАБРИК

**Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая, Т. М. Кирдун, Ю. А. Белявская,
М. М. Торчило, О. М. Бирюкова**

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

ВВЕДЕНИЕ

Высокие дозы длительного применения жидкого навоза КРС, навозных стоков свиней и бесподстилочного птичьего помета на ограниченной территории способствуют возникновению серьезных негативных последствий: ухудшению функционирования основных свойств и режимов почв, нарушению процессов их саморегулирования и самоочистки. В Республике Беларусь это касается прежде всего дерново-подзолистых почв, на долю которых приходится основная часть земель сельскохозяйственного назначения и которые довольно чувствительны к агрогенному воздействию. К числу эффективных методов мониторинга при оценке степени токсичности почв под влиянием антропогенных факторов относят метод фитотестирования, который, являясь интегральным методом анализа, позволяет оценить фитотоксичность почв [1, 2]. Согласно ГОСТ 17.4.3.04–85: «Фитотоксичность почвы – это способность почвы оказывать угнетающее действие на растения, приводящее к нарушению физиологических процессов, ухудшению качества растительной продукции и снижению ее выхода» [3]. При оценке степени фитотоксичности почв агроценозов в качестве биотестов обычно используют семена высших растений, тест-параметрами для которых служат энергия прорастания, всхожесть, длина ростков и корней [4–5].

Анализ научной литературы показал, что исследований по определению фитотоксичного загрязнения почв вблизи животноводческих комплексов и птицефабрик в Республике Беларусь не проводилось, что актуализировало проведение данной работы.

Цель исследований – изучить фитотоксичность дерново-подзолистых почв в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик по реакции тест-культур (яровой ячмень, озимая пшеница, кукуруза).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований являлись дерново-подзолистые пахотные почвы в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик. Почвенные образцы отбирали в марте 2019 г. в зоне действия птицефабрик: ОАО «Смолевичи Бройлер» (Смолевичский район, Минская область), ОАО «Оранчицкая птицефабрика» (Пружанский район, Брестская область), филиал «Фалько-Агро» ОАО «Агрокомбинат «Дзержинский»» (Дзержинский район, Минская область); свинокомплексов:

ПК им. В. И. Кремко (Гродненский район, Гродненская область) и СПК «Маяк Браславский» (Браславский район, Витебская область), комплекса по откорму КРС – ОАО «АгроВидзы» (Браславский район, Витебская область) (табл. 1).

Таблица 1

Дозы и сроки внесения навозных стоков свиней, жидкого навоза КРС и птичьего помета

Вид ОУ	Место отбора	Период внесения, лет	Среднегодовая доза ОУ, т/га	Последний срок и доза внесения перед отбором образцов для анализа
Жидкий навоз КРС	ОАО «АгроВидзы»	12	900–1000 (1-е поле)	Осенью 2018 г. в дозе 100–200 т/га
			900–1000 (2-е поле)	Осенью 2018 г. в дозе 200–300 т/га
Навозные стоки свиней	СПК «Маяк Браславский»	25	500–600 (1-е поле)	Летом 2018 г. в дозе 500–600 т/га
			500–600 (2-е поле)	С осени 2018 г. по март 2019 г. в дозе 500–600 т/га
	ПК им. В. И. Кремко	15	120–150 (1-е поле)	С декабря 2018 г. по март 2019 г. в дозе 350–450 т/га
			120–150 (2-е поле)	С августа 2017 г. по апрель 2018 г. в дозе 350–450 т/га
	20	450–550 (3-е поле)	С ноября 2017 г. по апрель 2018 г. в дозе 450–550 т/га	
Птичий помет	ОАО «Оранчицкая птицефабрика»	45	≈ 17	Осенью 2018 г. в дозе 50 т/га
	ОАО «Смолевичи Бройлер»	15	≈ 17	Весной 2018 г. в дозе 50 т/га
	Филиал «Фалько-Агро»	5	≈ 60 (1-е поле)	С декабря 2018 г. по март 2019 г. в дозе 60 т/га
		15	≈ 20 (2-е поле)	Летом 2018 г. в дозе 60 т/га

Примечание. ОУ – органическое удобрение.

В ОАО «АгроВидзы» почвенные образцы отобраны с двух полей, прилегающих к животноводческому комплексу. Ежегодная дозовая нагрузка жидкого навоза КРС на эти поля, начиная с 2006 по 2017 гг. была на уровне 900–1000 т/га; осенью 2018 г. на 1-е поле навоз внесен из расчета 100–200 т/га, на 2-е – 200–300 т/га.

В СПК «Маяк Браславский» отбор почвенных образцов произведен на дерново-подзолистых суглинистой и супесчаной почвах, на которых среднегодовая доза внесения навозных стоков свиней на протяжении 25 лет составляла 500–600 т/га. На суглинистую почву свиные стоки внесены летом 2018 г.; на супесчаную почву их вносили с осени 2018 г. по март 2019 г.; к моменту отбора образцов поле было перепахано.

В зоне влияния свиного комплекса, расположенного в ПК им. В. И. Кремко, почвенные образцы отбирали на суглинистых почвах с дозовой нагрузкой свиных стоков 350–450 т/га один раз в три года в течение 15 лет (среднегодовая доза ≈ 120–150 т/га). На 1-м поле это удобрение вносили с декабря 2018 по март 2019 г.

На 2-м поле стоки свиней вносили в период с 01. 08. 2017 г. по 15. 04. 2018 г. На территории данного хозяйства отбор почвенных образцов также произведен на участке, прилегающем непосредственно к свинокомплексу, на который в течение 20 лет ежегодно, включая период до середины апреля 2018 г., вносили свиные стоки в дозе 450–550 т/га (3-е поле).

Проведен отбор почвенных проб на дерново-подзолистых почвах пахотных земель в ОАО «Оранчицкая птицефабрика» и ОАО «Смолевичи Бройлер» при дозе внесения бесподстилочного птичьего помета 50 т/га один раз в три г. (среднегодовая доза \approx 17 т/га). В ОАО «Оранчицкая птицефабрика» на выбранную в качестве объекта исследований супесчаную почву птичий помет вносят постоянно на протяжении 45 лет; осенью 2018 г. он внесен под кукурузу 2019 г. Нагрузка птичьего помета на суглинистую почву в ОАО «Смолевичи Бройлер» характеризуется меньшим периодом действия – 15 лет; в последний раз перед отбором почвы это удобрение применяли весной 2018 г. (под кукурузу). В 2019 г. на этом поле возделывали кукурузу (1-й год последействия птичьего помета). При проведении маршрутных обследований в филиале «Фалько-Агро» ОАО «Агрокомбинат "Дзержинский"» почвенные образцы отбирали на суглинистых почвах пахотных земель. На 1-м участке возделывают кукурузу в монокультуре на фоне ежегодной дозы применения птичьего помета 60 т/га в течение 5 лет. Под урожай кукурузы 2019 г. его закончили вносить за неделю до отбора образцов на анализ. На 2-м участке длительность воздействия помета составляет 15 лет при периодичности внесения один раз в три года при аналогичной дозе – 60 т/га (\approx 20 т/га ежегодно); в последний раз перед отбором почвы внесен летом 2018 г.

На всех почвах пахотных земель для отбора проб без применения жидкого навоза КРС, свиных стоков и птичьего помета и при их внесении выбирали участки, расположенные по возможности недалеко друг от друга, в сходных условиях рельефа и в пределах той же почвенной разновидности. При проведении маршрутных обследований отбор образцов почв проводили методом конверта в 5 разных точках с расстоянием 150–200 м между ними с площадок размером 0,25 м². Образцы почвы отбирали агрохимическим буром на глубину пахотного слоя (\approx 0–25 см).

Определение степени возможной фитотоксичности дерново-подзолистых почв в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик осуществляли путем проращивания семян и выращивания проростков сельскохозяйственных растений в лабораторных условиях при использовании водных вытяжек в соответствии с Инструкцией 2.1.7.11–12–5–2004 [6]. В качестве контроля использовали семена, проросшие на фильтровальной бумаге, смоченной экстрактами, полученными из почв без нагрузок. При исследовании использовали три тест-культуры – яровой ячмень сорт Батюка, озимую пшеницу сорт Августина и кукурузу гибрид ЕС Палацио. Количество проросших семян у всех видов тест-растений определяли на 3-и сутки, морфометрические показатели (длина ростка и главного корня) – на 7-е сутки. Лабораторную всхожесть семян тест-культур устанавливали согласно ГОСТ 12038–84 [7].

Для оценки уровня фитотоксичности дерново-подзолистых почв с дозовыми нагрузками жидкого навоза КРС, свиных стоков и птичьего помета в соответствии с Инструкцией 2.1.7.11–12–5–2004 [6] рассчитали фитотоксический эффект (ФЭ, %) по отношению количества проросших семян на водной вытяжке из почв с

внесением этих удобрений (О) к их количеству, проросшему на экстракте из почв без нагрузок (К) по следующей формуле

$$\Phi Э = \frac{O \cdot 100}{K}$$

Процент ингибирования развития ростков и главных корней проростков тестируемых растений произведен по формуле

$$И = 100 - \frac{O \cdot 100}{K},$$

где И – изменение развития ростков или корней проростков, %; О – длина ростков или корней проростков на водной вытяжке из почв с дозовыми нагрузками органических удобрений, мм; К – длина ростков или корней проростков на водной вытяжке из почв без нагрузок, мм.

Дополнительно, согласно методике Р. Р. Кабирова с соавторами [8], для каждого показателя (всхожесть, длина ростка и главного корня проростка) рассчитали индекс токсичности оцениваемого фактора (ИТФ) с последующим расчетом среднего индекса токсичности (ИТФ_{ср}) по каждой тест-культуре:

$$ИТФ = ТФ_о / ТФ_к,$$

где ТФ_о – значение регистрируемой тест-функции в почве с дозовой нагрузкой органических удобрений, ТФ_к – в почве без нагрузок.

$$ИТФ_{ср} = (ИТФ_{вс} + ИТФ_{р} + ИТФ_{к}) / 3,$$

где ИТФ_{вс} – индекс токсичности, рассчитанный по всхожести; ИТФ_р – по росткам; ИТФ_к – по корням.

Для оценки общей фитотоксичности дерново-подзолистых почв в зоне животноводческих комплексов и птицефабрик использовали обобщенное среднее значение индекса токсичности (ИТФ_{ОТП}) по каждой исследуемой почве по трем культурам, которое определяли по формуле:

$$ИТФ_{ОТП} = (ИТФ_{ячм} + ИТФ_{пшен} + ИТФ_{кукур}) / 3,$$

где ИТФ_{ячм} – средний индекс токсичности по ячменю; ИТФ_{пшен} – по озимой пшенице; ИТФ_{кукур} – по кукурузе.

Общий уровень фитотоксического действия дерново-подзолистых почв оценивали по шкале токсичности, представленной в табл. 2.

Таблица 2

Шкала токсичности [8]

Класс токсичности	Величина ИТФ
VI (стимуляция)	>1,10
V (норма)	0,91–1,10
IV (низкая токсичность)	0,71–0,90
III (средняя)	0,50–0,70
II (высокая)	<0,50
I (сверхвысокая, вызывающая гибель тест-объекта)	Среда непригодна для жизни тест-объекта

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Исследования показали, что всхожесть семян тест-культур, проращиваемых на водной вытяжке из дерново-подзолистых почв без воздействия навозных стоков свиней, жидкого навоза КРС и птичьего помета, составила: для ярового ячменя – 90,0–92,5 %, озимой пшеницы – 93,3–97,5 %, кукурузы – 91,7–97,5 % (табл. 3).

В ОАО «АгроВидзы» на водной вытяжке из почв пахотных земель, которые в течение 12 лет подвергались действию очень высоких доз жидкого навоза КРС (900–1000 т/га), и в последний раз перед отбором почвы навоз был внесен осенью 2018 г. в дозах до 300 т/га, всхожесть семян достигла 93,3–100 %, что выше по сравнению с почвой без нагрузок на 2,5–6,7 %, т. е. наблюдалось стимулирующее влияние на жизнедеятельность всех тест-растений.

Уровень всхожести семян тестовых культур, проращиваемых на вытяжках из почв, взятых в зоне влияния птицефабрик, при внесении птичьего помета из расчета 50–60 т/га (среднегодовая доза \approx 17–20 т/га) не позднее осени 2018 г., т. е. за 3–4 месяца до отбора почвенных образцов, либо не отличался от показателей на почвах без нагрузок, либо наблюдалось увеличение на 2,5–4,1 %. При этом в филиале «Фалько-Агро» ОАО «Агрокомбинат "Дзержинский"» при отборе почвы через две недели после внесения помета в дозе 60 т/га (1-е поле) установлено снижение этого показателя на 2,5–7,5 % до уровня 86,7–92,5 % (в почве без нагрузок – 91,3–95,0 %).

Анализ образцов почв, отобранных вблизи свинокомплексов, свидетельствует о депрессирующем влиянии регулярных дозовых нагрузок стоков свиней на всхожесть семян тест-растений. Отмечено, что ингибирующий эффект на почвах, где это удобрение вносили практически до середины марта 2019 г. был выше по сравнению с почвами, где они внесены не позднее осени 2018 г. В СПК «Маяк Браславский» на почвах при ежегодной нагрузке стоков свиней 500–600 т/га в течение 25 лет уменьшение всхожести семян ярового ячменя и озимой пшеницы по сравнению с неудобренной почвой составило 2,5 % при последнем внесении летом 2018 г. и 6,7–7,5 % – при внесении с осени 2018 г. по март 2019 г. В ПК им. В. И. Кремко на участках, где отбор почв проводили через год после внесения навозных стоков в дозах 450–550 т/га (3-е поле) и 350–450 т/га (2-е поле), всхожесть семян снизилась не более чем на 3,7 %. Более высоким уровнем ингибирования этой тест-функции характеризовалась почва с внесением свиных стоков за две недели до отбора проб (1-е поле) в такой же дозе, как и на 2-м поле (350–450 т/га) – всхожесть семян ярового ячменя и озимой пшеницы составила 81,0–90,0 %, что на 7,5–9,0 % ниже, чем на почве без нагрузок. В исследованиях В. Б. Караксина [9] также установлено снижение всхожести семян тестируемой культуры на 8–10 % при продолжающемся внесении высоких доз свиного навоза на почвах, ранее длительное время удобрявшихся им. По сравнению с семенами ярового ячменя и озимой пшеницы менее чутко на постоянные нагрузки стоков свиней реагировали семена кукурузы: при их внесении за две недели до отбора образцов всхожесть семян снизилась на 4,2–7,5 %; при последнем внесении за 3–4 месяца до отбора образцов наблюдалось увеличение этого показателя до 2,5 %.

Таблица 3

**Влияние жидкого навоза КРС, навозных стоков свиней и птичьего помета на всхожесть семян тест-культур
и их морфометрические показатели**

Вид ОУ	Место отбора	Период внесения, лет	Доза ОУ, т/га в год	Яровой ячмень			Озимая пшеница			Кукуруза		
				Всхо- жость, %	Длина роста, мм	Длина корня, мм	Всхо- жость, %	Длина роста, мм	Длина корня, мм	Всхо- жость, %	Длина роста, мм	Длина корня, мм
Жидкий на-воз КРС	ОАО «АгроВидзы»	12	б/н	90,0	78	111	93,3	63	127	95,0	42	89
			900–1000 (1-е поле)	95,0	87	122	100,0	68	126	97,5	40	88
Навозные стоки сви-ней	СПК «Маяк Браславский»	25	б/н	93,3	81	114	100,0	63	125	100,0	41	89
			900–1000 (2-е поле)	92,5	106	131	97,5	90	152	97,5	47	101
			500–600 (1-е поле)	90,0	110	134	95,0	92	154	100,0	49	112
	ПК им. В. И. Кремко	15	б/н	85,0	102	127	96,7	88	159	97,5	48	120
			500–600 (2-е поле)	90,0	95	120	90,0	82	154	93,3	43	115
			120–150 (1-е поле)	90,0	108	134	97,5	95	151	95,0	50	151
Птичий помет	ОАО «Оранчицкая птицефабрика»	45	б/н	81,0	103	117	90,0	84	141	87,5	45	138
			120–150 (2-е поле)	90,0	110	127	96,3	95	146	96,3	49	158
			450–550 3-е поле)	86,7	107	126	93,5	95	143	95,0	48	146
Птичий помет	ОАО «Смолевичи Бройлер»	15	б/н	91,7	108	133	93,3	78	134	91,7	35	106
			≈ 17	95,8	107	132	95,8	78	137	91,7	38	119
			б/н	90,0	102	132	95,0	86	138	92,5	42	137
			≈ 17	90,0	108	143	95,0	92	147	92,5	45	139
Птичий помет	Филиал «Фалько-Агро»	5	б/н	91,3	103	131	95,0	99	156	95,0	46	142
			≈ 60 (1-е поле)	86,7	102	129	92,5	95	148	87,5	47	137
Птичий помет	Филиал «Фалько-Агро»	15	≈ 20 (2-е поле)	93,8	112	140	95,0	101	156	95,0	47	145

Примечание. б/н – без навозок.

При анализе морфометрических показателей проростков исследуемых тест-культур, таких как длина ростка и главного корня, установлено, что для них в целом характерны такие же закономерности, как и по всхожести. Наибольшее угнетение длины ростков (на 5–11 мм) и корней (на 5–17 мм) наблюдалось на водных вытяжках из почвенных проб, отобранных в зоне влияния свинокомплексов, где стоки свиней вносили до начала марта 2019 г. (2-е поле СПК «Маяк Браславский», 1-е поле ПК им. В. И. Кремко). Применение в этих хозяйствах свиных стоков не позднее осени 2018 г., т. е. за 3–4 месяца до отбора проб, а также внесение птичьего помета в дозе 60 т/га в филиале «Фалько-Агро» ОАО «Агрокомбинат «Дзержинский» за две недели до отбора образцов почв практически не влияло на рост и развитие ростков тестируемых культур; полученные величины были сопоставимы с показателями на почвах без нагрузок. На этих почвах стрессовая реакция тест-культур на воздействие вносимых удобрений в большей степени отразилась на корневой системе проростков; уменьшение длины главного корня в некоторых случаях – до 8 мм.

При отборе почвенных образцов через 3–4 месяца после внесения жидкого навоза КРС в дозах до 300 т/га на почвы, ранее длительное время до 2017 г. удобрявшиеся им из расчета 900–1000 т/га, а также птичьего помета из расчета 50–60 т/га (среднегодовая доза ≈ 17–20 т/га) в зоне влияния птицефабрик, морфометрические показатели мало отличались от величин на почвах без нагрузок либо наблюдался стимулирующий эффект (прирост длины ростка достигал до 9 мм, главного корня – до 13 мм).

Согласно Инструкции 2.1.7.11–12–5–2004 [6] почва оказывает фитотоксическое действие, если всхожесть семян тест-культур составляет менее 80 % от контроля, а ингибирование развития ростков и корней проростков – более 20 %. При оценке уровня фитотоксичности дерново-подзолистых почв в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик по таким показателям, как ФЭ и изменение морфометрических показателей, установлено, что они не фитотоксичны – всхожесть семян тест-культур относительно почв без нагрузок составила не менее 90 %, при ингибировании длины ростков – не более 11,6 %, корней – 12,7 % (рис., табл. 4).

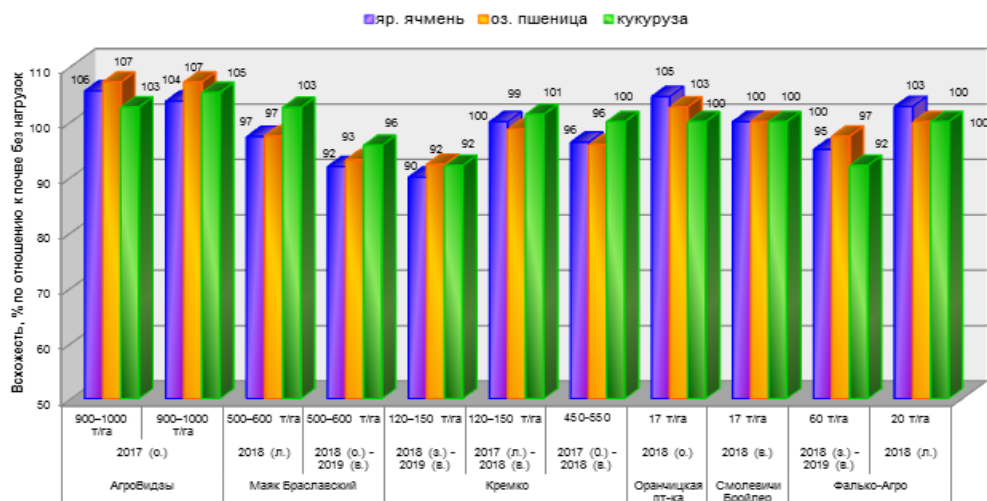


Рис. Фитотоксический эффект (ФЭ) дерново-подзолистых почв в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик, %

**Изменение развития ростков и корней проростков тест-культур
на дерново-подзолистых почвах в зоне влияния животноводческих комплексов
и птицефабрик, %**

Вид ОУ	Место отбора	Период внесения, лет	Доза ОУ, т/га в год	Яровой ячмень		Озимая пшеница		Кукуруза	
				Длина побега	Длина корня	Длина побега	Длина корня	Длина побега	Длина корня
Жидкий навоз КРС	ОАО «АгроВидзы»	12	900–1000 (1-е поле)	-11,5	-9,9	-7,9	0,8	4,8	1,1
			900–1000 (2-е поле)	-3,8	-2,7	0,0	1,6	2,4	0,0
Навозные стоки свиней	СПК «Маяк Браславский»	25	500–600 (1-е поле)	-3,8	-2,3	-2,2	-1,3	-4,3	-10,9
		25	500–600 (2-е поле)	6,9	5,5	6,8	3,1	10,4	4,2
	ПК им. В. И. Кремко	15	120–150 (1-е поле)	4,6	12,7	11,6	6,6	10,0	8,6
		15	120–150 (2-е поле)	-1,9	5,2	0,0	3,3	2,0	-4,6
		20	450–550 (3-е поле)	0,9	6,0	0,0	5,3	4,0	3,3
Птичий помет	ОАО «Оранчицкая птицефабрика»	45	≈ 17	0,9	0,8	0,0	-2,2	-8,6	-12,3
	ОАО «Смолевичи Бройлер»	15	≈ 17	-5,9	-8,3	-7,0	-6,5	-7,1	-1,5
	Филиал «Фалько-Агро»	5	≈ 60 (1-е поле)	1,0	1,5	4,0	5,1	-2,2	3,5
		15	≈ 20 (2-е поле)	-8,7	-6,9	-2,0	0,0	-2,2	-5,8

Внесение удобрений: 2017 (о.) – осенью 2017 г.; 2018 (л.) – летом 2018 г.; 2018 (о.) – 2019 (в.) – с осени 2018 г. по март 2019 г.; 2018 (з.) – 2019 (в.) – с декабря 2018 г. по март 2019 г.; 2017 (л.) – 2018 (в.) – с августа 2017 г. по апрель 2018 г.; 2017 (о.) – 2018 (в.) – с ноября 2017 г. по апрель 2018 г.; 2018 (о.) – осенью 2018 г.; 2018 (в.) – весной 2018 г.

Отрицательные значения по изменению развития ростков и корней проростков тест-культур (яровой ячмень, озимая пшеница, кукуруза) на дерново-подзолистых почвах в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик, представленные в табл. 4, свидетельствуют о стимулирующем влиянии дозовых нагрузок жидкого навоза КРС, стоков свиней и птичьего помета на их рост. Для большей наглядности полученных результатов нами были рассчитаны индексы токсичности (ИТФ) обследованных почв. Вычисление индекса токсичности по каждому оцениваемому фактору (всхожесть, длина ростка и корня проростков) для всех тест-культур с последующим расчетом среднего индекса токсичности

(ИТФ_{ср}) по каждой культуре, а затем общего индекса токсичности (ИТФ_{отп}) для каждой исследуемой почвы по трем культурам показало, что в соответствии с оценочной шкалой, представленной в табл. 2, общая токсичность исследуемых дерново-подзолистых почв в зоне действия животноводческих комплексов и птицефабрик соответствует V классу токсичности (норма); обобщенный показатель ИТФ_{отп} равен 0,91–1,04, т. е. величина тест-функций находится на уровне почв без нарузок (табл. 5).

Таблица 5

Значение индексов токсичности дерново-подзолистых почв в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик

Вид ОУ	Место отбора	Период внесения, лет	Доза ОУ, т/га в год	ИТФ _{ср}			(ИТФ _{отп})	Заключение о токсичности почвы
				Яровой ячмень	Озимая пшеница	Кукуруза		
Жидкий навоз КРС	ОАО «АгроВидзы»	12	900–1000 (1-е поле)	1,09	1,05	0,99	1,04	Нормальный уровень
			900–1000 (2-е поле)	1,03	1,02	1,01	1,02	
Навозные стоки свиней	СПК «Маяк Браславский»	25	500–600 (1-е поле)	1,01	1,00	1,06	1,02	
		25	500–600 (2-е поле)	0,93	0,94	0,94	0,94	
	ПК им. В. И. Кремко	15	120–150 (1-е поле)	0,91	0,91	0,91	0,91	
		15	120–150 (2-е поле)	0,99	0,99	1,01	1,00	
		20	450–550 (3-е поле)	0,96	0,97	0,98	0,97	
Птичий помет	ОАО «Оранчицкая птицефабрика»	45	≈ 17	1,01	1,02	1,07	1,03	
	ОАО «Смолевичи Бройлер»	15	≈ 17	1,05	1,04	1,03	1,04	
	Филиал «Фалько-Агро»	5	≈ 60 (1-е поле)	0,97	0,96	0,97	0,97	
		15	≈ 20 (2-е поле)	1,06	1,01	1,01	1,03	

При этом отмечено, что наиболее низкими значениями ИТФ_{отп} (0,91–0,94 ед.) характеризовались почвы в СПК «Маяк Браславский (2-е поле) и ПК им. В. И. Кремко (1-е поле), на которые стоки свиней в дозах 500–600 и 350–450 т/га соответственно вносили с осени 2018 г. до начала марта 2019 г., т. е. отбор проб почв проводили через две недели после внесения, что свидетельствует об их некотором депрессирующем влиянии на параметры тест-культур (всхожесть семян, длину ростков и корней). На полях, где эти удобрения в аналогичных дозах вносили за 3–4 месяца до отбора проб (1-е поле СПК «Маяк Браславский, 2-е поле ПК им. В. И. Кремко) значения ИТФ_{отп} составили 1,00–1,02, что указывало на отсутствие различий между удобренными и удобренными почвами.

ВЫВОДЫ

Определено фитотоксическое действие дерново-подзолистых почв при регулярном внесении жидкого навоза КРС, свиных стоков и птичьего помета на параметры роста и развития тест-культур (яровой ячмень, озимая пшеница, кукуруза).

Наибольший депрессирующий эффект отмечен на пробах почв, отобранных через две недели после внесения свиных стоков в дозах 350–450 и 500–600 т/га: всхожесть семян уменьшилась на 4,2–9,0 %, длина ростков – на 5–11 мм, корней – на 5–17 мм.

Согласно инструкции 2.1.7.11–12–5–2004 оценка уровня фитотоксичности почв в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик показала отсутствие фитотоксичности: всхожесть семян тест-культур относительно почв без нагрузок составила не менее 90 % при ингибировании длины ростков – не более 11,6 %, корней – 12,7 %. Расчет общего индекса токсичности (ИТФ_{ОТП}) почв показал, что общая токсичность исследуемых почв соответствует V классу токсичности (норма) – ИТФ_{ОТП} = 0,91–1,04, т. е. величина тест-функций находится на уровне почв без нагрузок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисовицкая, О. В., Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения / О. В. Лисовицкая, В. А. Терехова // Доклады по экологическому почвоведению. – 2010. – Т. 1. – № 13. – С. 1–18.
2. Шабалина, О. М. Оценка применения некоторых двудольных и однодольных растений для фитотестирования городских почв / О. М. Шабалина, Т. Н. Демьяненко // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2012. – № 1. – С. 103–112.
3. ГОСТ 17.4.3.04–85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения. – М., 2008. – 4 с.
4. Терехова, В.А. Биотестирование почв: подходы и проблемы / В. А. Терехова // Почвоведение. – 2011. – № 2. – С. 190–198.
5. Бурдин, К. С. Основы биологического мониторинга / К. С. Бурдин. – М.: МГУ, 1985. – 155 с.
6. Инструкция 2.1.7.11–12–5–2004. Гигиеническая оценка почвы населенных мест: утв. постановлением Гл. гос. санитарного врача Респ. Беларусь № 32 от 03.03.04 // Сборник нормативных документов по гигиенической оценке почвы населенных мест. – Минск, 2004. – с. 3–38.
7. ГОСТ 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – М., 2011. – 65 с.
8. Кабиров, Р. Р. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории / Р. Р. Кабиров, А. Р. Сагитова, Н. В. Суханова // Экология. – 1997. – № 6. – С. 408–411.
9. Караксин, В. Б. Влияние предприятия промышленного свиноводства на компоненты окружающей среды и оптимизация функционирования региональной экосистемы: дис. ... д-ра с.-х. наук: 03.00.16 / В. Б. Караксин. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com/content/vliyanie-predpriyatiya-promyshlennogo-svinovodstva-na-komponenty-okruzhayu-shchei-sredy-i-opt>. – Дата доступа: 01.09.2019.

**PHYTOTOXICITY OF SOD-PODZOLIC SOILS IN THE ZONE OF
INFLUENCE OF LIVESTOCK COMPLEXES AND POULTRY FARMS**

**E. N. Bahatyrova, T. M. Seraya, T. M. Kirdun, Y. A. Belyavskaya,
M. M. Torchilo, O. M. Biryukova**

Summary

The article presents the data of phytotesting of sod-podzolic soils with regular application of pig manure effluents, liquid manure of cattle and litterless bird droppings using three test cultures – spring barley, winter wheat, and corn. It was established that the studied soils do not have a phytotoxic effect on the parameters of growth and development of test cultures: seed germination relative to soils without loads was at least 90 % with inhibition of sprout length not more than 11,6 %, roots 12,7 %. The total toxicity of the studied soils corresponds to the V class of toxicity (norm), i. e. the value of the test functions is at the level of soils without loads.

Поступила 13.04.2020

УДК 631.438.631.445.1:633.656

**ВЛИЯНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-
ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs
И ^{90}Sr ЗЕЛЕННОЙ МАССОЙ ГОРОХА**

Ю. В. Путятин

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

ВВЕДЕНИЕ

В решении проблемы растительного белка в Республике Беларусь, особенно в районах, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС, весьма важная и решающая роль должна принадлежать увеличению доли зернобобовых и бобовых культур (гороху, пелюшке, люпину, вике, клеверу и др.) и повышению их урожайности. Сухое вещество травянистых кормов по содержанию переваримого протеина и энергетической ценности близко к зерновым концентратам, но превосходит их по биологической ценности и витаминному составу. В условиях дефицита средств на закупку удобрений нельзя не отметить положительную роль бобовых культур в обогащении почвы азотом (30–60 кг/га). Органические остатки бобовых культур быстрее минерализуются и высвобождают элементы питания для последующих культур, все это делает их хорошими предшественниками.

Структура посевных площадей растениеводческой продукции и кормовой базы должна определяться возможностями почвенных и климатических условий. Кормовая база и ее структура, в свою очередь, должны определять объемы и структуру продукции животноводства с выходом на специализацию отрасли [1].

Внедрение в растениеводство на загрязненных радионуклидами землях высокобелковых культур является необходимым условием решения белковой проблемы в кормопроизводстве данного региона. В современных условиях с целью производства нормативной с точки зрения содержания радионуклидов продукции необходимо установить параметры переходов ^{137}Cs и ^{90}Sr в зернобобовые культуры.

Для производства нормативно-чистой продукции растениеводства в загрязненных районах Беларуси на протяжении многих лет обеспечивается достаточно высокий уровень проведения защитных мероприятий, в том числе известкование кислых почв, внесение повышенных доз фосфорных и калийных удобрений, соответствующих практически 100 % от потребности. Применение агрохимических контрмер дало не только положительный эффект на снижение содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции, но и повысило плодородие загрязненных почв. Средневзвешенные значения pH загрязненных пахотных почв в настоящее время превышают доаварийные показатели на 0,27 единиц по Гомельской области и на 0,40 по Могилевской. В ряде районов доля почв с реакцией близкой к нейтральной ($\text{pH}_{(\text{KCl})} > 6,5$) 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 областях на 57 и 29 мг P_2O_5 на кг почвы соответственно. Вместе с тем наблюдаются и существенные различия в обеспеченности фосфором и калием, степени кислотности почв по полям севооборотов и рабочим участкам [2, 3]. В настоящее время остается открытым вопрос об оптимальных уровнях агрохимических характеристик почв, которые, с одной стороны, соответствовали бы максимальной агрономической эффективности при возделывании сельскохозяйственных культур, а с другой – способствовали наименьшему накоплению радионуклидов в растениях. Кроме того, нерациональное применение удобрений приводит к увеличению себестоимости продукции и снижению рентабельности производства. В связи с этим в условиях радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных земель на первый план ставится задача оптимизации защитных мероприятий на основе учета всей совокупности агрохимических, радиологических и экономических факторов.

Изменение радиационной обстановки в постчернобыльский период, активное применение контрмер и внедрение новых перспективных видов и сортов зернобобовых культур в растениеводстве позволяют пересмотреть решение данной проблемы и изучить возможности расширения кормовых посевов и использования бобовых культур на загрязненной радионуклидами территории.

Горох – наиболее распространенная зернобобовая культура, имеющая важное продовольственное и кормовое значение [4, 5]. Его ценность определяется высокой урожайностью зерна и зеленой массы, богатых белком и другими питательными веществами. Зеленая масса, зерно и солома гороха обладают высокими кормовыми достоинствами. В пересчете на сухое вещество содержание сырого протеина в зеленой массе гороха достигает 25 %, а в соломе – 7,5 % [6].

Цель наших исследований – установить количественные параметры зависимости накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в зеленой массе гороха от агрохимических свойств дерново-подзолистых супесчаных почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Маршрутные исследования проводили путем отбора проб зеленой массы гороха в фазу массового цветения и сопряженных образцов почв в производственных посевах Хойникского и Брагинского районов Гомельской области методом учетных площадок на дерново-подзолистых супесчаных почвах. Почвенные образцы отбирали из пахотного слоя (0–20 см). Все измерения удельной активности радионуклидов в растительных образцах (Бк/кг) пересчитывали на влажность 82 %.

Агрохимические показатели почв определяли по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (0,4 н $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – ГОСТ 26213-91), обменную кислотность $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ – потенциометрическим методом (1 М KCl – ГОСТ 26483-85), содержание подвижных форм фосфора и калия – по Кирсанову (0,2 М HCl – ГОСТ 26207-91), обменных форм кальция и магния – на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-30 (1 М KCl – ГОСТ 26487-85) [7].

Измерения удельной активности ^{137}Cs в растительных и почвенных образцах проводили в соответствии с методами испытаний МИ 2143-91 «Государственная система обеспечения единства измерений. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре», утвержденными 28.12.1990 г. Линия гамма-излучения ^{137}Cs соответствовала 661,66 кэВ. Ошибка измерений не превышала 5–7 %. Для измерений использовался гамма-спектрометр ORTEC с германиевым детектором GEM-C5970P4 и разрешением на линии 1332 кэВ – 1,79 кэВ. Геометрия измерений – сосуд Маринелли емкостью 1 литр.

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 [8]. Статистическая погрешность измерений не превышала 15 %.

Коэффициенты перехода (Кп) радионуклида из почвы в растения рассчитывали 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 радионуклидов, рассчитывали 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 Program, StatSoft Inc. (2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Корреляционный анализ показал достаточно тесную отрицательную взаимосвязь (r) между pH, содержанием подвижных форм фосфора и калия в дерново-подзолистой супесчаной почве и коэффициентами перехода (Кп) ^{137}Cs и ^{90}Sr в зеленую массу гороха (табл. 1, рис. 1–7). Более низкий коэффициент ($-0,49$) корреляции отмечается между стронцием-90 и содержанием подвижного фосфора. Среднее значение Кп в зеленую массу гороха по ^{137}Cs составило $0,0122 \pm 0,0078$. Среднее значение Кп в зеленую массу гороха по ^{90}Sr составило $6,13 \pm 3,92$.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции (r) между агрохимическими показателями дерново-подзолистой супесчаной почвы и коэффициентами перехода (Кп) радионуклидов в зеленую массу гороха

Радионуклид	pH	Подвижный калий, K_2O , мг/кг почвы	Подвижный фосфор, P_2O_5 , мг/кг почвы	Гумус, %	Обменный СаО, мг/кг почвы	Обменный MgO, мг/кг почвы
^{137}Cs	-0,59	-0,64	–	-0,51	–	–
^{90}Sr	-0,58	–*	-0,49	-0,46	-0,66	-0,70

* Не установлено.

Содержание подвижного калия, при котором отмечено минимальное накопление ^{137}Cs зеленой массой гороха находится в пределах 350–379 мг/кг, гумуса – 2,3–2,5 % и ^{90}Sr при pH 5,7–6,3 (рис. 1, 2, 3).

Доля пахотных почв Гомельской, Могилевской и Брестской областей Республики Беларусь, загрязненных радионуклидами, в которых можно ожидать минимальные переходы ^{90}Sr в сельскохозяйственные растения (pH более 6,0), составляет 42,6, 47,8 и 35,5 % соответственно [2].

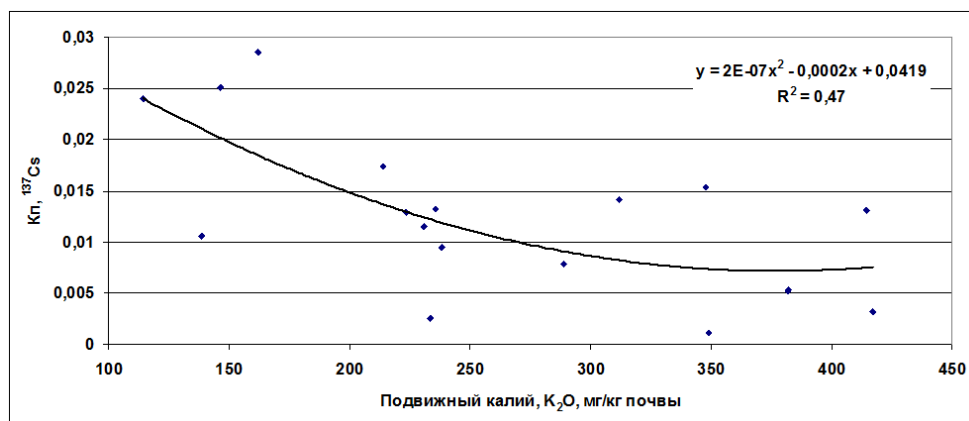


Рис. 1. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в зеленую массу гороха (влажность – 82 %) в зависимости от содержания подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве

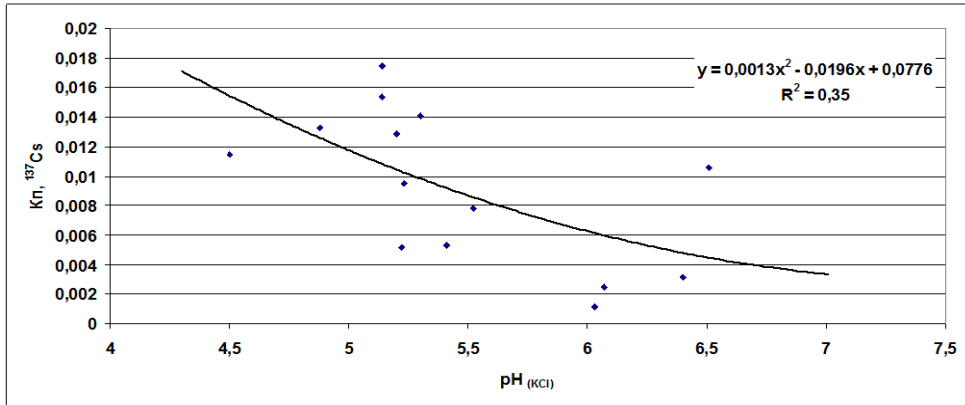


Рис. 2. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в зеленую массу гороха (влажность – 82 %) в зависимости от pH дерново-подзолистой супесчаной почвы

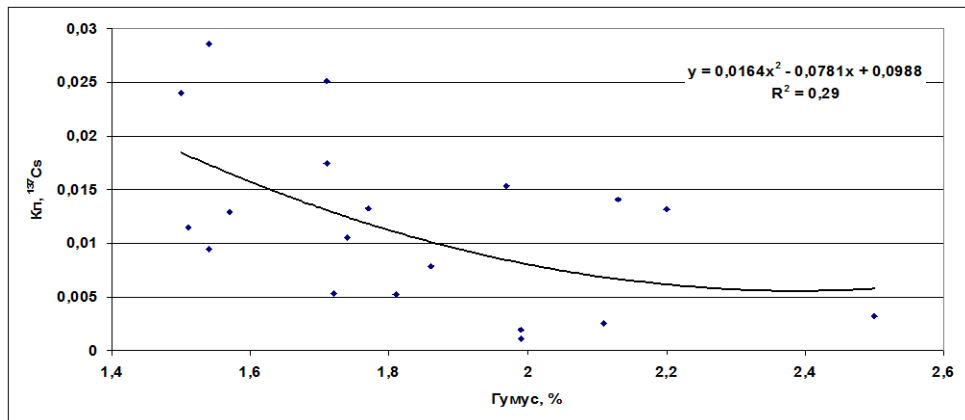


Рис. 3. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в зеленую массу гороха (влажность – 82 %) в зависимости от содержания гумуса дерново-подзолистой супесчаной почвы

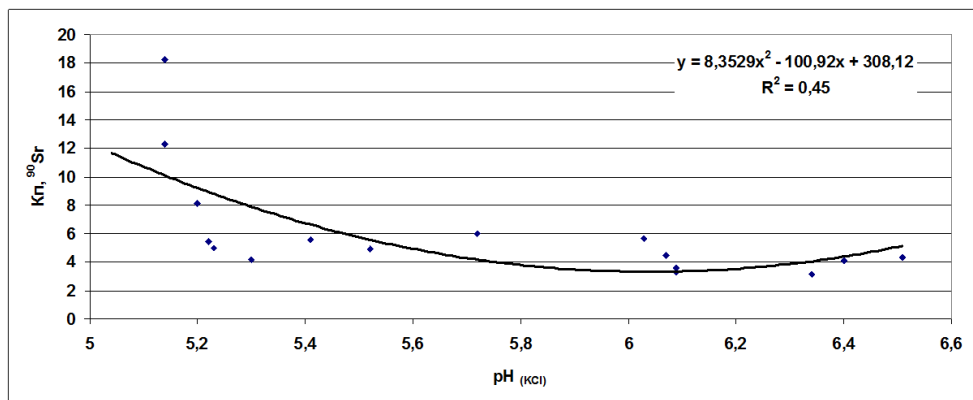


Рис. 4. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в зеленую массу гороха (влажность – 82 %) в зависимости от pH дерново-подзолистой супесчаной почвы

Содержание подвижного фосфора, при котором отмечено минимальное накопление ^{90}Sr зеленой массой гороха находится в пределах 210–240 мг/кг, обменного CaO – 950–1050 мг/кг (рис. 5, 6).

Прогноз загрязнения радионуклидами продукции растениеводства позволяет заблаговременно планировать набор культур для возделывания на загрязненных радионуклидами землях, размещение их по полям севооборотов и отдельным участкам с учетом различного использования получаемой продукции (продукты питания, фураж, промышленная переработка и др.). Прогноз удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственной продукции строится на основе плотности загрязнения сельскохозяйственных земель ^{137}Cs и ^{90}Sr , типа почвы и ее гранулометрического состава, актуальной величины обменной кислотности и содержания подвижного калия, коэффициентов перехода (Бк/кг):(кБк/м²) радионуклидов в основную и побочную продукцию сельскохозяйственных культур [9].

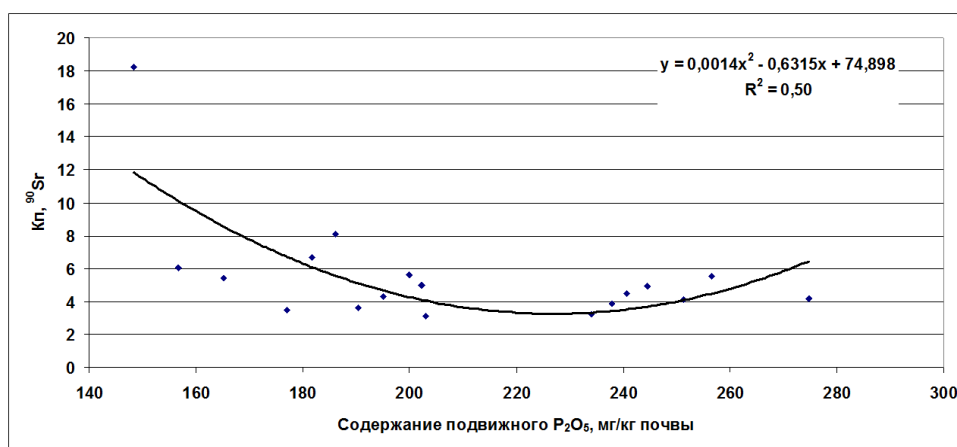


Рис. 5. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в зеленую массу гороха (влажность – 82 %) в зависимости от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой супесчаной почве

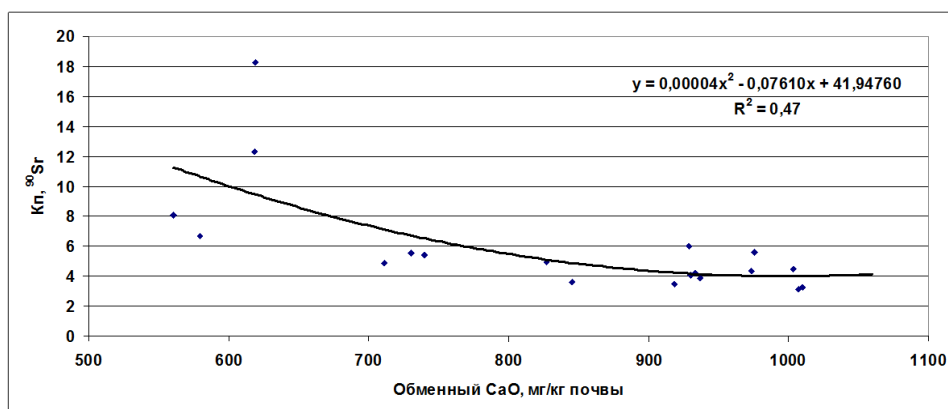


Рис. 6. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в зеленую массу гороха (влажность – 82 %) в зависимости от содержания обменного кальция в дерново-подзолистой супесчаной почве

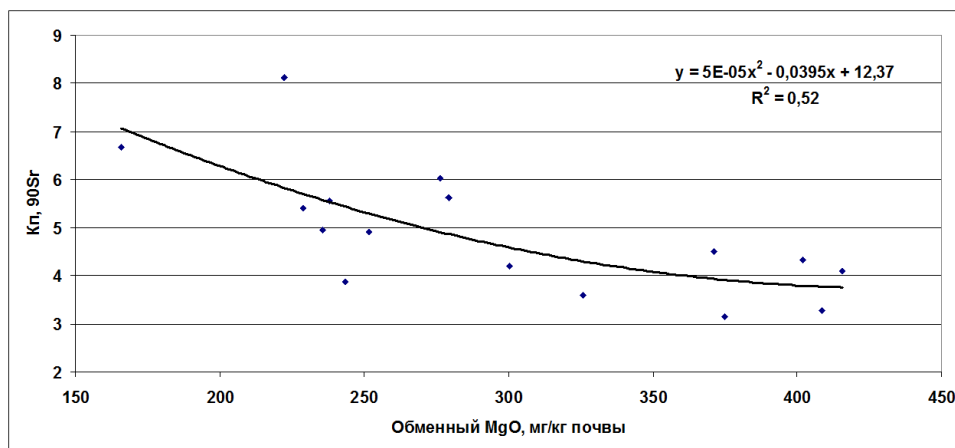


Рис. 7. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в зеленую массу гороха (влажность – 82 %) в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой супесчаной почве

В связи с тем, что доступность радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr для растений может меняться с течением времени и вводом новых сортов культур в севообороты, необходимо на периодической основе проводить уточнение коэффициентов перехода радионуклидов в продукцию. По результатам анализа данных отбора сопряженных образцов почвы и растений рассчитаны коэффициенты перехода ^{137}Cs в зеленую массу гороха в зависимости от обеспеченности почвы подвижным калием и $\text{Кп } ^{90}\text{Sr}$ в зависимости от обменной кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы (табл. 2, 3).

Таблица 2

Коэффициенты перехода ^{137}Cs в зеленую массу гороха (влажность – 82 %) в зависимости от содержания подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве

Показатель	Подвижный калий, K_2O , мг/кг почвы				
	<80	81–140	141–200	201–300	>300
Коэффициенты перехода ^{137}Cs (Кп)	0,0219	0,0204	0,0173	0,0133	0,0107

Таблица 3

Коэффициенты перехода ^{90}Sr в зеленую массу гороха (влажность – 82 %) в зависимости от pH дерново-подзолистой супесчаной почвы

Показатель	Кислотность, $\text{pH}_{(\text{КС})}$					
	<4,5	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–7,0	>7,0
Коэффициенты перехода ^{90}Sr (Кп)	11,67	10,29	8,02	5,74	3,66	2,33

На дерново-подзолистых супесчаных почвах использование зеленой массы гороха для получения цельного молока уровнем загрязнения почвы ^{137}Cs не лимитируется (до 40 $\text{ки}/\text{км}^2$) на землях, где разрешено ведение сельскохозяйственного производства (табл. 4).

Таблица 4

Предельно допустимые уровни загрязнения (Ки/км²) дерново-подзолистых супесчаных почв цезием-137 при возделывании гороха на зеленую массу (влажность – 82 %) для производства молока согласно РДУ-99

Продукция	Подвижный калий, K ₂ O, мг/кг почвы				
	<80	81–140	141–200	201–300	>300
Молоко цельное	≤40	≤40	≤40	≤40	≤40
Молоко-сырье	≤40	≤40	≤40	≤40	≤40

Использование зеленой массы гороха существенно ограничивается плотностью загрязнения почвы ⁹⁰Sr. На дерново-подзолистых супесчаных почвах при оптимальных агрохимических показателях для получения цельного молока предельная плотность загрязнения ⁹⁰Sr при возделывании зеленой массы гороха составляет 0,17–0,27 Ки/км² (табл. 5).

Таблица 5

Предельно допустимые уровни загрязнения дерново-подзолистых супесчаных почв стронция-90 при возделывании гороха на зеленую массу (влажность – 82 %) для производства молока согласно РДУ-99

Продукция	Кислотность, pH _(КС)					
	<4,5	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–7,0	>7,0
Молоко цельное	0,09	0,10	0,12	0,17	0,27	0,43
Молоко сырье	0,43	0,49	0,62	0,87	1,37	2,15

ВЫВОДЫ

Прогноз загрязнения радионуклидами продукции растениеводства позволяет заблаговременно планировать набор культур для возделывания на загрязненных радионуклидами землях, размещение их по полям севооборотов и отдельным участкам с учетом различного использования получаемой продукции (продукты питания, фураж, промышленная переработка и др.). Прогноз удельной активности ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в сельскохозяйственной продукции строится на основе плотности загрязнения сельскохозяйственных земель ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr, типа почвы и ее гранулометрического состава, актуальной величины обменной кислотности и содержания подвижного калия, коэффициентов перехода (Бк/кг:кБк/м²) радионуклидов в основную и побочную продукцию сельскохозяйственных культур. В связи с тем, что доступность радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr для растений может меняться с течением времени и вводом новых сортов культур в севообороты, необходимо на периодической основе проводить уточнение коэффициентов перехода радионуклидов в продукцию.

Корреляционный анализ показал достаточно тесную отрицательную взаимосвязь (*r*) между pH, содержанием подвижных форм фосфора и калия дерново-подзолистой супесчаной почвы и коэффициентами перехода (Кп) ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в зеленую массу гороха. Содержание подвижного калия, при котором отмечено минимальное накопление ¹³⁷Cs зеленой массой гороха находится в пределах 350–379 мг/кг, гумуса – 2,3–2,5 % и ⁹⁰Sr при pH 5,7–6,3. Содержание подвижного фосфора, при котором отмечено минимальное накопление ⁹⁰Sr зеленой массой гороха находится в пределах 210–240 мг/кг, обменного CaO – 950–1050 мг/кг.

На дерново-подзолистых супесчаных почвах использование зеленой массы гороха для получения цельного молока уровнем загрязнения почвы ^{137}Cs не лимитируется на землях, где разрешено ведение сельскохозяйственного производства (до 40 Ки/км²). Использование зеленой массы гороха существенно ограничивается плотностью загрязнения почвы ^{90}Sr . На дерново-подзолистых супесчаных почвах при оптимальных агрохимических показателях для получения цельного молока предельная плотность загрязнения ^{90}Sr при возделывании зеленой массы гороха составляет 0,17–0,27 Ки/км².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Никончик, П. И.* Агроэкономические основы систем использования земли / П. И. Никончик. – Минск: Бел. навука, 2007. – 532 с.
2. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск, 2017. – 275 с.
3. *Путятин Ю. В.* Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию / Ю. В. Путятин. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 255 с.
4. *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. / НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – 2-е изд., доп. и перераб. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – С. 179–190.
5. Зернобобовые культуры / Д. Шпаар [и др.]. – Минск: ФУ Аинформ, 2000. – 264 с.
6. Растениеводство: учебное пособие для студентов учреждений, обеспечивающих получение высшего образования по специальности «Агрономия» / К. В. Коледа [и др.]; под ред. К. В. Коледы, А. А. Дудука. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 480 с.
7. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: метод. указания / И. М. Богдевич [и др.]; под ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 48 с.
8. International Atomic Energy Agency. Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency; IAEA-TECDOC-1092. – Vienna, 1999. – 307 p.
9. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / под ред. И. М. Богдевича. – Минск, 2003. – 72 с.

INFLUENCE OF AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOD-PODZOLIC SANDY SOIL ON ^{137}Cs AND ^{90}Sr ACCUMULATION BY GREEN MASS OF PEAS

Yu. V. Putyatin

Summary

Correlation analysis showed enough close negative relationship (r) between the pH, the content of mobile forms of phosphorus and potassium in sod-podzolic loamy sand soils and the transfer coefficients of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the green mass of peas. The con-

tent of mobile potassium, at which there is a minimum accumulation of ^{137}Cs by green mass of peas is in the range of 350–379 mg/kg, humus – 2,3–2,5 % and ^{90}Sr at pH of 5,7–6,3. The content of mobile phosphorus, at which there is a minimum accumulation of ^{90}Sr with green mass of peas is in the range of 210–240 mg/kg, the exchangeable CaO of 950–1050 mg/kg.

Поступила 05.05.2020

УДК 632.118.3:631.445.2:633.318

ВЛИЯНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs КЛЕВЕРОМ ЛУГОВЫМ

Ю. В. Путятин

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

ВВЕДЕНИЕ

В Беларуси достаточно остро стоит проблема обеспечения животноводства растительным белком, что имеет первостепенное значение в вопросах производства конкурентоспособной животноводческой продукции. По различным оценкам дефицит переваримого протеина составляет в среднем 280–300 тыс. т. в год, в связи с чем себестоимость животноводческой продукции возрастает в 1,5 раза, а перерасход кормов – на 25–30 % [1].

Наиболее окупаемым и менее затратным способом получения растительного белка является возделывание однолетних и многолетних бобовых трав на пашне. Так, 1 к. ед. обходится в 4 раза, а 1 ц протеина – в 5 раз дешевле, чем их получение из других источников, например, зерна. Поэтому наиболее важным источником по выходу белка на перспективу являются зернобобовые культуры, а по себестоимости – травяные корма на основе бобовых трав. На дерново-подзолистых почвах в условиях Беларуси как основу полевого травосеяния можно использовать клевер луговой, который без применения азотных удобрений способен показывать высокую продуктивность, экономическую и энергетическую эффективность по сравнению со злаковыми и бобово-злаковыми травосмесями. Клевер оказывает большое влияние на повышение почвенного плодородия, обогащая почву азотом. В современном мире во всех высокоразвитых странах проблема биологического азота стоит довольно остро как в области сельскохозяйственных, так и биологических исследований. Несмотря на увеличение объемов производства азотных удобрений, в мире наблюдается их недостаток. В тоже время ресурсосберегающий биологический азот позволяет получить продукцию, богатую полноценным белком, а также обогащает почву азотом и не наносит вред окружающей среде. Клевер луговой способствует саморегулированию плодородия почвы, снижает применение азотных удобрений, чем оказывает благоприятное воздействие на

окружающую среду и финансовую стабильность сельскохозяйственных предприятий [2–7].

Питательная ценность корма на основе зернобобовых культур заключается не только в высоком содержании белка, но и в более сбалансированном составе основных незаменимых аминокислот, которых в 1,5–3 раза больше, чем в белке злаковых культур, а также в возможности улучшить использование животными кормов других низкобелковых культур, например, однолетних и многолетних злаковых трав. Клевер луговой наиболее подходит для включения в состав травосмесей на хорошо известкованных дерново-подзолистых почвах суходольных лугов и хорошо осушенных низинных лугов с дерново-глееватыми почвами, а клевер гибридный – для сенокосов на более увлажненных дерново-глеевых почвах [8].

Наиболее существенное влияние на поступление ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения из дерново-подзолистых почв оказывает содержание обменных катионов калия, кальция, магния и содержание гумуса, которые, в свою очередь, определяют емкость катионного обмена и степень кислотности почв [9–13].

Цель исследований заключалась в установлении количественных параметров зависимости накопления ^{137}Cs в зеленой массе клевера лугового от агрохимических свойств дерново-подзолистых супесчаных почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Маршрутные исследования в 2012–2013 гг. проводили путем отбора проб зеленой массы клевера в фазу массового цветения и сопряженных образцов почв в производственных посевах Хойникского и Брагинского районов Гомельской области методом учетных площадок на дерново-подзолистых супесчаных почвах. Почвенные образцы отбирали из пахотного слоя (0–20 см).

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

Измерения удельной активности ^{137}Cs в растительных и почвенных образцах проводили в соответствии с методами испытаний МИ 2143-91 «Государственная система обеспечения единства измерений. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре», утвержденные 28.12.1990 г. Линия гамма-излучения ^{137}Cs соответствовала 661,66 кэВ. Ошибка измерений не превышала 5–7 %. Для измерений использовался гамма-спектрометр ORTEC с германиевым детектором GEM-C5970P4 и разрешением на линии 1332 кэВ – 1,79 кэВ. Геометрия измерений – сосуд Маринелли емкостью 1 литр. Статистическая погрешность измерений не превышала 15 % [14].

Коэффициенты перехода (K_p) радионуклида из почвы в растения рассчитывали по формуле

$$K_p = \frac{A_p}{A_s},$$

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 радионуклидов, рассчитывали 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.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Высокие урожаи сена и семян клевера можно получать только на нейтральных и слабокислых почвах. Оптимальная кислотность почвы для клевера – $pH_{(KCl)}$ 6–7. На кислых почвах с $pH_{(KCl)}$ ниже 5,5 клевер развивается слабо, дает низкие урожаи и уже в год посева сильно изреживается [15, 16]. Результаты двухлетних полевых и лабораторных исследований показывают (рис. 1), что минимальное накопление ^{137}Cs растениями клевера отмечается при $pH_{(KCl)}$ в интервале 6,1–6,7 ($R^2 = 0,42$).

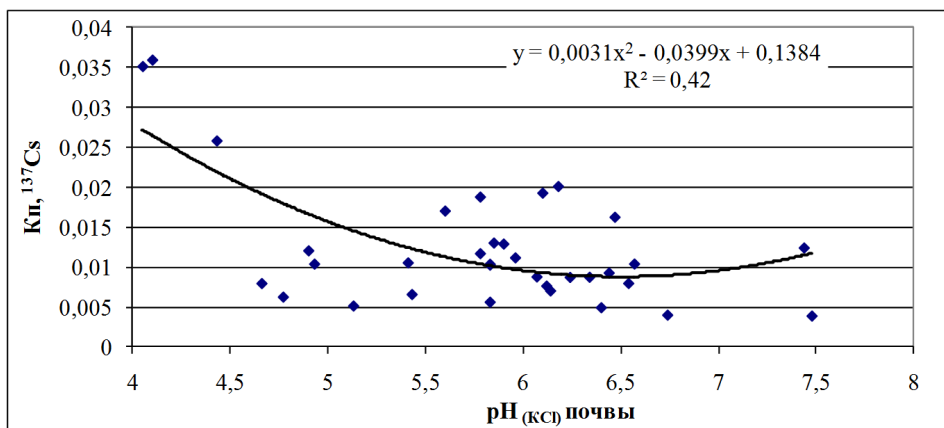


Рис. 1. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в сухое вещество зеленой массы клевера в зависимости от кислотности дерново-подзолистых супесчаных почв

Эффект от применения калийных удобрений как средства, ограничивающего поступление ^{137}Cs из почвы в растения, заметнее проявляется на почвах с низкой концентрацией обменного калия. С увеличением степени обеспеченности почв калием эффективность этого защитного мероприятия снижается. Применение повышенных доз калийных удобрений на дерново-подзолистых супесчаных почвах со средней обеспеченностью калием позволяет сократить поступление в сельскохозяйственные культуры ^{137}Cs до 70 %. Наиболее рациональным в условиях производства на загрязненных территориях для поддержания высокого уровня калия в почвенном растворе является применение дифференцированных доз калийных удобрений в зависимости от обеспеченности почвы калием. Внесение удобрений с учетом исходного содержания калия в почве способствует увеличению концентрации подвижных форм данного элемента в пахотном горизонте в вегетационный период и более полному усвоению его растениями [17–21].

Минимальное накопление ^{137}Cs растениями клевера отмечается при содержании подвижного калия – 480–530 мг/кг почвы (рис. 2). Более интенсивно идет снижение накопления ^{137}Cs клевером ($R^2 = 0,71$) при увеличении содержания подвижного калия в почве до уровня 300 мг/кг K_2O , дальнейшее повышение подвижного калия в почве менее эффективно. При содержании калия в почве выше названных концентраций экономически целесообразно вносить дозы калийных удобрений, рассчитанные на вынос элемента с урожаем.

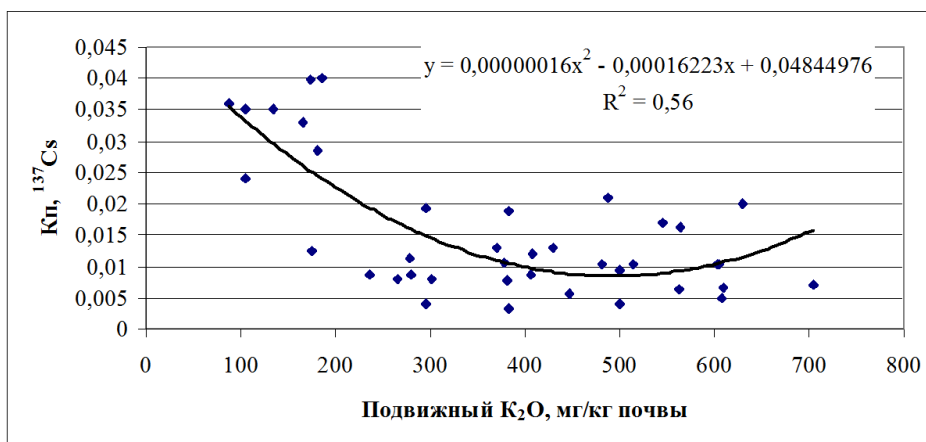


Рис. 2. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в сухое вещество зеленой массы клевера в зависимости от содержания подвижного калия в дерново-подзолистых супесчаных почвах

На радиоактивно загрязненных территориях оптимальные уровни содержания калия определяются не только с агрономической, но и радиологической точки зрения. При этом в ряде случаев, при повышенной требовательности возделываемых культур к почвенному плодородию и разной степени подвижности ^{137}Cs в почве, эти параметры могут не совпадать по своим значениям, что определяет необходимость устанавливать в разных случаях минимально значимые агрохимические или радиологические параметры. В настоящее время по отношению к большинству сельскохозяйственных культур достижение минимального содержания ^{137}Cs в растениеводческой продукции не имеет экономического смысла и следует ориентироваться на оптимальный диапазон содержания подвижных форм калия для получения высокой урожайности культур – агрохимические оптимумы [22].

Органическая часть гумуса – гуминовые кислоты, которые 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 [23].

Достаточно тесная и достоверная связь установлена между K_p ^{137}Cs и содержанием гумуса в почве ($R^2 = 0,61$). Минимальные K_p по ^{137}Cs регистрируются при содержании гумуса – 2,7–3,1 % (рис. 3).

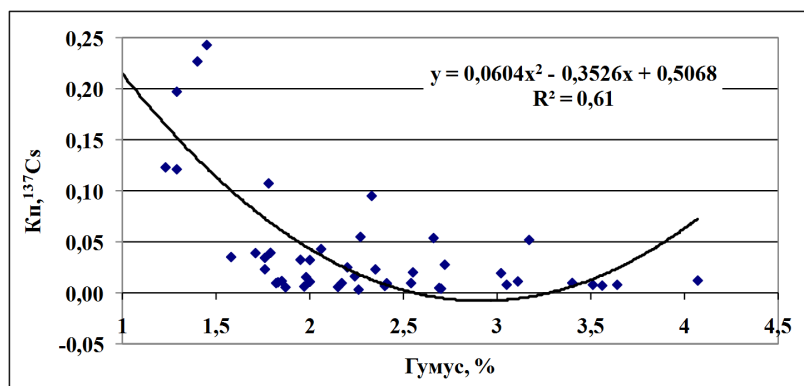


Рис. 3. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в сухое вещество зеленой массы клевера в зависимости от содержания гумуса в дерново-подзолистых супесчаных почвах

Согласно градации по содержанию гумуса в минеральных почвах Беларуси подразделяют на: очень низкое (менее 1 %), низкое (1,01–1,50 %), среднее (1,51–2,00 %), повышенное (2,01–2,50 %), высокое (2,51–3,00 %) и очень высокое (более 3,00 %). Интервалы оптимальных параметров гумуса в почвах Беларуси для связносупесчаных и рыхлосупесчаных почв определены в интервале 2,2–2,8 % [24, 25]. Рассчитанный показатель содержания гумуса в почве, при котором отмечается минимальное накопление радионуклидов ^{137}Cs клевером луговым, соответствует градациям: высокое и очень высокое содержание.

Согласно градации по содержанию обменного кальция в пересчете на элемент минеральные почвы Беларуси подразделяются на очень низкообеспеченные (менее 285 мг/кг), низкообеспеченные (286–570 мг/кг), среднеобеспеченные (571–850 мг/кг), с повышенным содержанием (851–1140 мг/кг), высокообеспеченные (1141–1420 мг/кг) и очень высокообеспеченные (более 1420 мг/кг) [24, 25].

При величине достоверности аппроксимации 0,47 минимальные переходы ^{137}Cs в клевер отмечаются при очень высокой обеспеченности содержания обменного кальция – 1430–1580 мг/кг и повышенной обеспеченности содержания обменного магния – 138–155 мг/кг (рис. 4, 5).

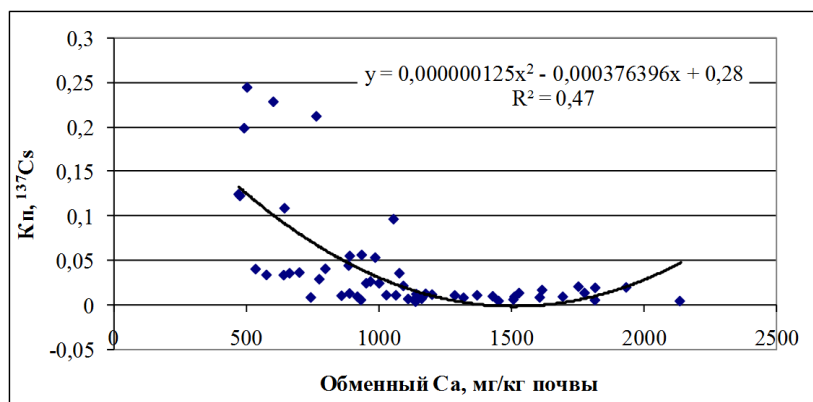


Рис. 4. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в сухое вещество зеленой массы клевера в зависимости от содержания обменного кальция в дерново-подзолистых супесчаных почвах

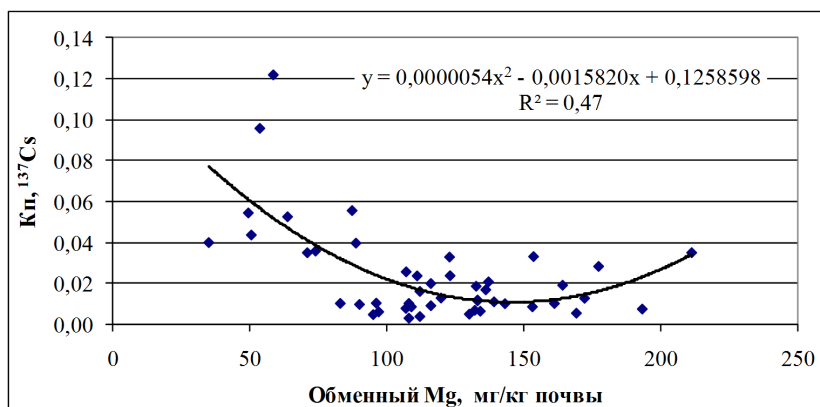


Рис. 5. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в сухое вещество зеленой массы клевера в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистых супесчаных почвах

Тесной взаимосвязи между K_p ^{137}Cs и содержанием подвижного фосфора в двухлетних экспериментах установлено не было.

ВЫВОДЫ

1. Исследования, проведенные в 2012–2013 гг. на дерново-подзолистых супесчаных почвах, показывают, что минимальное накопление ^{137}Cs растениями клевера отмечается при $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ в интервале 6,1–6,7. При величине достоверности аппроксимации 0,47 минимальные переходы ^{137}Cs в клевер отмечаются при содержании обменных кальция – 1430–1580 мг/кг и магния – 138–155 мг/кг почвы.

2. Минимальное накопление ^{137}Cs растениями клевера отмечается при содержании подвижного калия – 480–530 мг/кг почвы. Более интенсивно идет снижение накопления ^{137}Cs клевером при увеличении содержания подвижного калия в почве до уровня 300 мг/кг K_2O , дальнейшее повышение подвижного калия в почве менее эффективно. При содержании калия в почве выше названных концентраций экономически целесообразно вносить дозы калийных удобрений, рассчитанные на вынос элемента с урожаем.

3. Компоненты гумуса выступают как эффективный геохимический барьер, ограничивающий подвижность ионов радионуклидов, что подтверждает достаточно тесная и достоверная связь, установленная между K_p ^{137}Cs и содержанием гумуса в почве. Минимальные K_p по ^{137}Cs регистрируются при содержании гумуса в интервале от 2,7 до 3,1 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жданович, В. П. Перспективы использования зернобобовых культур в условиях радиоактивного загрязнения / В. П. Жданович, С. А. Исаченко, Л. И. Козлова // Проблемы радиологии загрязненных территорий. – Минск, 2001. – С. 64–74.
2. Кулаковская, Т. Н. Основные направления исследований по увеличению использования элементов питания из удобрений / Т. Н. Кулаковская // Приемы

повышения коэффициентов использования и предотвращения их потерь из почвы. – Минск, 1988. – С. 3–6.

3. Методика расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. – 26 с.

4. Нормативы выноса и коэффициентов использования питательных веществ сельскохозяйственными культурами из минеральных удобрений и почвы. – М., 1989. – 110 с.

5. Продуктивность и качество клевера лугового при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве. / В. В. Лапа [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 2(47). – С. 78–87.

6. 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.

7. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Белорусская наука, 2007. – 390 с.

8. Подоляк, А. Г. Травосмеси на основе клевера в зоне радиоактивного загрязнения / А. Г. Подоляк, Л. Е. Одинцова // Белорусское сельское хозяйство. – 2005. – № 6. – С. 36–38.

9. Юдинцева, Е. В. Свойства почв и накопление цезия-137 в урожае растений / Е. В. Юдинцева, Л. И. Павленко, А. Г. Зюликова // Агрохимия. – 1981. – № 9. – С. 119–125.

10. Бондарь, П. Ф. Накопление цезия-137 в урожае сельскохозяйственных культур в зависимости от агрохимических свойств почв / П. Ф. Бондарь, А. Г. Озорнов, А. И. Дутов // Проблемы ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в агропромышленном производстве – пять лет спустя: итоги проблемы и перспективы: тез. докл. Всесоюз. конф. / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т с.-х. радиологии. – Обнинск, 1991. – Т. 1. – С. 15–16.

11. Влияние агрохимических и агрометеорологических факторов на накопление цезия-137 в сельскохозяйственных культурах / В. И. Дугинов [и др.] // Геохимические пути миграции искусственных радионуклидов в биосфере: тез. докл. IV конф. науч. совета при ГЕОХИ АН СССР по программе «№ АЭС-ВО». – Гомель, 1990. – С. 85.

12. Juo, A. S. R. The retention of Sr by soils as influenced by pH, organic matter and saturation cations / A. S. R. Juo, S. A. Barber // Soil Sci. – 1970. – Vol. 109. – P. 143–148.

13. Van Bergeijk, K. E. Influence of pH, soil type and soil organic matter content on soil-to-plant transfer of radiocaesium and strontium as analysed by a nonparametric method / K. E. Van Bergeijk, H. Noordijk, J. Lembrechts // J. Environ. – Radioactivity. – 1992. – Vol. 15. – P. 265–276.

14. International Atomic Energy Agency. Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency. IAEA-TECDOC-1092. – Vienna, 1999. – 307 p.

15. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сб. отраслевых регламентов. – Минск: Белорусская наука, 2005. – 304 с.

16. Новоселова, А. С. Селекция и семеноводство клевера / А. С. Новоселова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 199 с.

17. *Путятин, Ю. В.* Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию: монография / Ю. В. Путятин. – Минск: РУП «Институт почвоведения и агрохимии», 2008. – 255 с.

18. *Путятин Ю. В.* Влияние калийных удобрений и кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы на урожайность и накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr ячменем / Ю. В. Путятин, Т. М. Серая, А. И. Соколик // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 2(35). – С. 213–220.

19. *Путятин, Ю. В.* Влияние калийного питания и кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы на урожай и накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr яровым рапсом и картофелем / Ю. В. Путятин, Т. М. Серая, А. И. Соколик // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2006. – № 3. – С. 47–53.

20. Влияние калийных удобрений и кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы на урожайность и накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr люпином / Ю.В. Путятин [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 2(37). – С. 167–176.

21. 20 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление. Национальный доклад / под ред. В. Е. Шевчука, В. Л. Гурачевского. – Минск: Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете министров Республики Беларусь, 2006. – 112 с.

22. *Путятин, Ю. В.* Подвижный калий почвы и накопление ^{137}Cs сельскохозяйственными культурами / Ю. В. Путятин // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 196–203.

23. *Смагин, А. И.* Экология водоемов зоны техногенной радиационной аномалии на Южном Урале / А. И. Смагин. – Пермь, 2008. – 51 с.

24. Методика крупномасштабного агрохимического и радиационного обследования почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич [и др.] – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2020. – 37 с.

25. 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, 2017. – 275 с.

INFLUENCE OF AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOD-PODZOLIC LOAMY SAND SOIL ON ^{137}Cs ACCUMULATION BY MEADOW CLOVER

Yu. V. Putyatin

Summary

In studies conducted in 2012–2013 on Luvisol loamy sand soils, it was found that the minimum accumulation of ^{137}Cs by clover plants is observed at exchangeable pH in the range of 6,1–6,7. The minimum transfer of ^{137}Cs to clover are observed at the content of exchange calcium – 1430–1580 mg/kg and magnesium – 138–155 mg/kg of soil. The minimum accumulation of ^{137}Cs by clover plants is observed when the content of mobile potassium is 480–530 mg/kg of soil. The accumulation of ^{137}Cs by clover decreases more intensively with an increase in the content of mobile potassium in the soil to the level of 300 mg/kg K_2O , further increase of mobile potassium in the soil is less effective. A fairly close and reliable relationship has been established between the transfer factor of ^{137}Cs and the humus content in the soil. The minimum transfer factor for ^{137}Cs is recorded at humus content in the range from 2,7 to 3,1 %.

Поступила 06.05.2020

ПОТРЕБЛЕНИЕ И ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЯМИ ПОДСОЛНЕЧНИКА

М. В. Зимина

*Гродненский государственный аграрный университет,
г. Гродно, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

На урожай сельскохозяйственных культур влияют не только условия минерального питания, но и содержание, соотношение питательных элементов в растениях. Сведения о химическом составе растений имеет важное практическое значение, они позволяют судить об обеспеченности растений питательными веществами, а также рассчитывать хозяйственный вынос и дозы удобрений [3]. Оптимальное содержание элементов в растении в той или иной фазе способствует получению высокого и качественного урожая, полученного в результате создания оптимальных условий питания [4].

Потребление элементов питания является сложным физиологическим процессом, который зависит от биологических особенностей растения и условий окружающей среды. Направленность обмена веществ в растениях, развитие продукционного процесса, образование органического вещества, устойчивость к неблагоприятным условиям внешней среды, а в конечном итоге величина урожайности и качество продукции определяется активностью процесса поступления питательных элементов в растительный организм. Изучение обмена веществ в отдельные периоды роста и развития растений дает возможность обосновать необходимый уровень и соотношение основных элементов минерального питания, при которых формируется высокий урожай культуры [1].

Подсолнечник является культурой интенсивного минерального питания. Несмотря на хорошо развитую корневую систему, предъявляет довольно высокие требования к условиям минерального питания. Из почвы он выносит большое количество элементов питания: азота и фосфора – в 1,6–2 раза больше, а калия – в 6–10 раз, по сравнению с зерновыми культурами [7].

Подсолнечник потребляет азот, фосфор и калий на протяжении всего периода вегетации. Наиболее интенсивное потребление азота, фосфора подсолнечником происходит от фазы образования корзинки до налива семян, а калия – от начала налива семян до начала созревания. Поэтому потребность подсолнечника в отдельных элементах питания в определенные фазы роста и развития различна, в зависимости от этого различна и интенсивность их поглощения растением [8, 9]. Установлено, что внесение минеральных удобрений способствует повышению содержания азота, фосфора и калия в растениях подсолнечника, особенно при внесении полного минерального удобрения [5].

В практических целях чаще всего потребность растений в питательных веществах характеризуют их выносом. Величина выноса азота, фосфора и калия на формирование единицы основной продукции и соответствующего количества

побочной позволяет установить оптимальные дозы удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур с учетом их потребности и почвенно-климатических условий. Поэтому цель исследований – определить влияние различных доз минеральных удобрений и регуляторов роста на потребление и вынос основных элементов питания растениями подсолнечника.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2009–2011гг. в ЗАО «Гудевичи» Мостовского района Гродненской области. Почва опытного участка – дерново-подзолистая связносупесчаная. Агрохимическая характеристика почвы опытного участка характеризовалась следующими показателями: содержание гумуса – 1,8–1,9 %, pH_{KCl} 6,1–6,3, содержание подвижного фосфора – 115–140 мг/кг и калия – 150–175 мг/кг, обеспеченность почвы бором средняя – 0,41–0,57 мг/кг почвы. Для посева использовали гибрид подсолнечника Флавия фирмы «KWS SAAT AG» (Германия), районированный по Гродненской области. Гибрид является среднеранним. Общая площадь делянки составила 84 м², учетная площадь – 54,6 м². Повторность опыта четырехкратная.

Схема опыта предусматривала изучение возрастающих доз NPK (1 – $N_{60}P_{60}K_{120}$, 2 – $N_{90}P_{80}K_{150}$, 3 – $N_{120}P_{100}K_{180}$) и на их фоне различных доз, форм и сроков применения борных удобрений. На максимальном фоне NPK с применением борных удобрений изучалась эффективность регуляторов роста Экосил и Терра-Сорб фолиар.

Минеральные удобрения (азотные, фосфорные и калийные) вносили поделочно вручную под культивацию и предпосевную обработку почвы согласно схеме опыта.

В качестве азотных удобрений применяли мочевину (карбамид). В качестве фосфорных удобрений – аммофос. Хлористый калий применяли в качестве калийных. Схема опыта предусматривала изучение различных форм борных удобрений. В опыте применяли борную кислоту и Эколист моно Бор.

Борные удобрения вносили в некорневую подкормку в фазу листообразования в дозе 0,5 кг/га и 0,25 кг/га и начало цветения в вариантах, где предусматривали внесение удобрений в два срока, в дозе 0,25 кг/га. В фазу начало цветения вносились и регуляторы роста.

В исследованиях использовалась интенсивная технология возделывания культуры [6].

В ходе проведения исследований отбирались растительные образцы с целью определения содержания азота, фосфора и калия. Отбор растительных образцов проводили в следующие фазы роста и развития растений подсолнечника: первый отбор – в июне в фазу листообразования (18 стадия ВВСН), второй – в июле в фазу интенсивного роста (54 стадия ВВСН), третий – в августе в фазу формирования и роста семян (69 стадия ВВСН), четвертый отбор – в сентябре во время уборки (89 стадия ВВСН).

В растительных пробах после мокрого озоления определяли азот и фосфор на фотоэлектроколориметре, калий – на пламенном фотометре.

Закладку полевых исследований, учеты и наблюдения, математическую обработку результатов проводили по общепринятой методике Б. А. Доспехова [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдение за динамикой потребления азота, фосфора и калия показало, что минеральные удобрения положительно влияют на процесс накопления основных элементов питания, о чем свидетельствуют полученные результаты (рис. 1–3). Накопление азота и калия растениями подсолнечника в среднем по всем вариантам проходило на протяжении всего периода роста и развития и только к уборке снижалось, а фосфора – продолжалось на протяжении всего периода вегетации. Поступление основных элементов минерального питания в растения подсолнечника связано с интенсивностью образования биомассы.

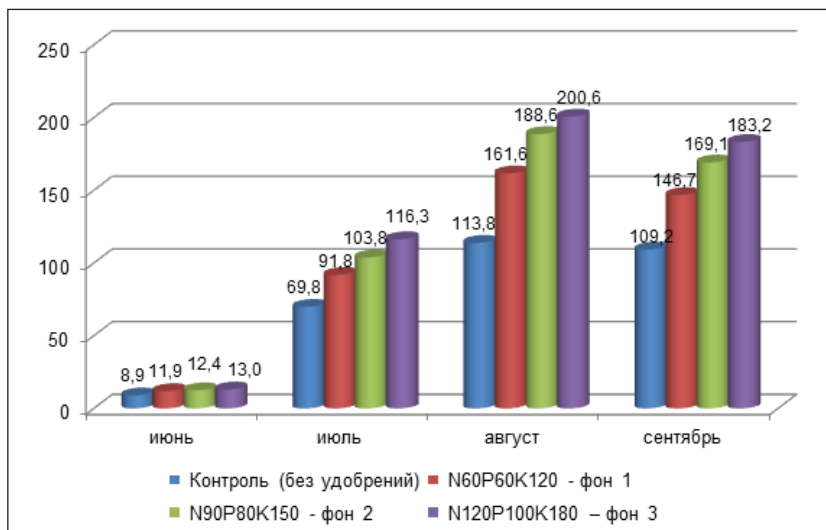


Рис. 1. Динамика накопления азота растениями подсолнечника, кг/га (в среднем за 2009–2011 гг.)

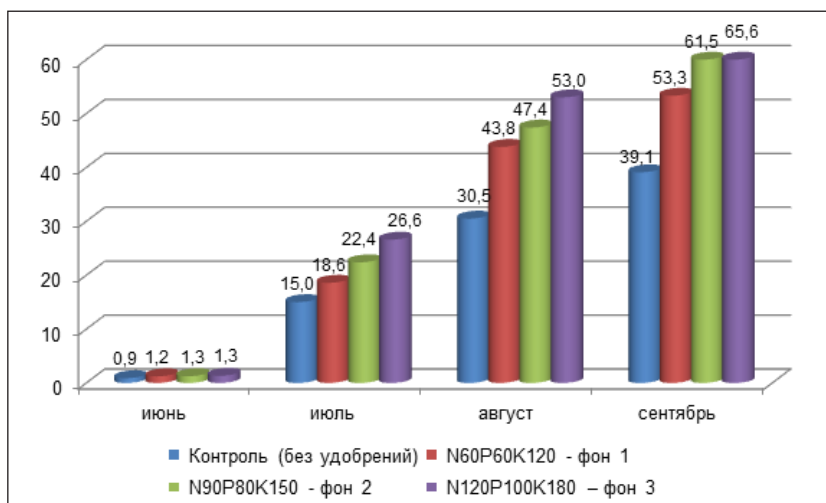


Рис. 2. Динамика накопления фосфора растениями подсолнечника, кг/га (в среднем за 2009–2011 гг.)

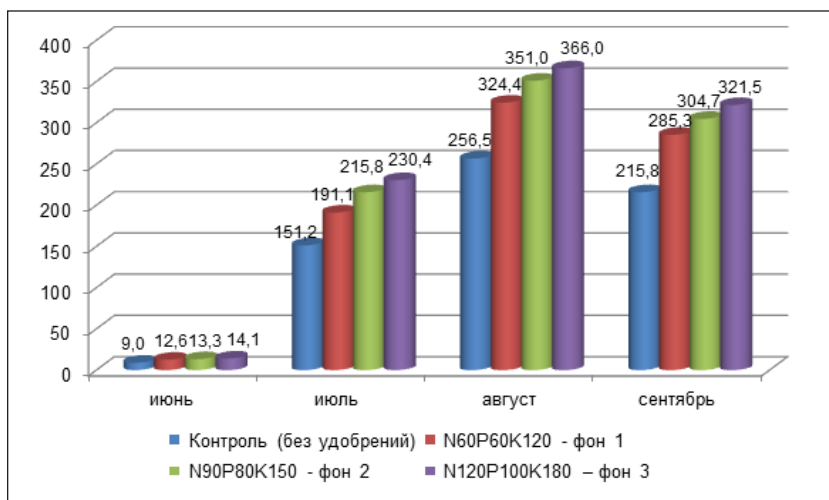


Рис. 3. Динамика накопления калия растениями подсолнечника, кг/га (в среднем за 2009–2011 гг.)

Подсолнечник потребляет больше азота и калия, а фосфора меньше. По содержанию в растениях подсолнечника основные элементы минерального питания располагались в следующем порядке: $K > N > P$.

На протяжении вегетации наблюдалось неравномерное потребление элементов минерального питания. Минимальное накопление азота, фосфора и калия растениями подсолнечника отмечалось в начале роста и развития (18 стадия ВВСН) и в среднем за годы исследований накопление в этот период азота составило 8,9–13,0 кг/га, фосфора – 0,9–1,3 кг/га, а калия – 9,0–14,1 кг/га. По мере роста и развития потребление азота, фосфора и калия растениями подсолнечника увеличивалось и наибольшее количество азота и калия подсолнечником накапливалось к фазе формирования и роста семян (69 стадия ВВСН) – 113,8–200,6 кг/га и 256,5–366,0 кг/га соответственно, а максимальное потребление фосфора – 39,1–65,6 кг/га к концу вегетации (89 стадия ВВСН).

Внесение минеральных удобрений в различных дозах способствовало увеличению накопления азота, фосфора и калия в растениях подсолнечника. В контрольном варианте потребление элементов питания подсолнечником было минимальным во все периоды роста и развития растений. Так, внесение удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{120}$ позволило увеличить потребление азота растениями по фазам роста на 3,0–47,8 кг/га, фосфора – на 0,3–14,2 кг/га, а калия – на 3,6–69,5 кг/га. При дозе $N_{90}P_{80}K_{150}$ накопление азота увеличилось на 3,5–74,8 кг/га, фосфора – на 0,4–22,4 кг/га и калия – на 4,3–94,5 кг/га, а при дозе $N_{120}P_{100}K_{180}$ – на 4,1–86,8, на 0,4–26,5 и на 5,1–109,5 кг/га соответственно. При этом следует отметить, что увеличение дозы удобрений способствовало увеличению потребления элементов питания. К фазе интенсивного роста при внесении удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{120}$ накопление азота составило 91,8 кг/га, при внесении $N_{90}P_{80}K_{150}$ – 103,8 кг/га, а при $N_{120}P_{100}K_{180}$ – 116,3 кг/га. Такая же закономерность наблюдалась при потреблении фосфора и калия. Накопление фосфора в фазу интенсивного роста в варианте с внесением $N_{60}P_{60}K_{120}$ составило 18,6 кг/га, а в варианте, где доза удобрений составила $N_{120}P_{100}K_{180}$ – на 8,0 кг/га больше. Максимальное накопле-

ние азота, фосфора и калия отмечено в варианте, где доза удобрений составила $N_{120}P_{100}K_{180}$. Это связано с приростом органического вещества и повышением содержания элементов питания в растениях подсолнечника.

Количество питательных элементов, находящихся в растениях на единице площади, определяется показателем общего выноса элементов питания. Данный показатель служит важной характеристикой при анализе процессов потребления минеральных веществ и формирования возможной урожайности культуры. Как известно, вынос питательных элементов зависит главным образом от величины урожая семян и вегетативной биомассы растений подсолнечника.

Изучаемые дозы минеральных удобрений способствовали увеличению выноса элементов питания растениями подсолнечника (табл.).

Таблица

Влияние удобрений и регуляторов роста на хозяйственный вынос элементов питания растениями подсолнечника, 2009–2011 гг.

Варианты	Хозяйственный вынос, кг/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Контроль (без удобрений)	109,2	39,1	215,8
2. $N_{60}P_{60}K_{120}$ – фон 1	146,7	53,3	285,3
3. Фон 1 + В _{0,5} (Борная кислота)	148,5	54,9	286,6
4. Фон 1 + В _{0,25 + 0,25} (Борная кислота)	150,9	55,3	285,8
5. Фон 1 + В _{0,5} (Эколист моно Бор)	151,7	56,1	287,6
6. Фон 1 + В _{0,25 + 0,25} (Эколист моно Бор)	152,2	56,2	288,5
7. $N_{90}P_{80}K_{150}$ – фон 2	169,1	61,5	304,7
8. Фон 2 + В _{0,5} (Борная кислота)	172,4	61,9	305,7
9. Фон 2 + В _{0,25 + 0,25} (Борная кислота)	173,2	61,9	306,5
10. Фон 2 + В _{0,5} (Эколист моно Бор)	173,9	62,5	307,0
11. Фон 2 + В _{0,25 + 0,25} (Эколист моно Бор)	174,3	62,2	307,5
12. $N_{120}P_{100}K_{180}$ – фон 3	183,2	65,6	321,5
13. Фон 3 + В _{0,5} (Борная кислота)	187,2	66,1	321,7
14. Фон 3 + В _{0,25 + 0,25} (Борная кислота)	192,2	66,8	322,1
15. Фон 3 + В _{0,5} (Эколист моно Бор)	193,7	66,9	323,1
16. Фон 3 + В _{0,25 + 0,25} (Эколист моно Бор)	192,6	67,1	322,3
17. Фон 3 + В _{0,25 + 0,25} (Борная кислота) + Экосил (0,2л/га)	192,0	66,9	322,9
18. Фон 3 + В _{0,25 + 0,25} (Борная кислота) + Терра-Сорб фолиар (2л/га)	194,2	67,7	323,1
19. Фон 3 + В _{0,25 + 0,25} (Эколист моно Бор) + Экосил (0,2л/га)	193,4	67,4	323,3
20. Фон 3 + В _{0,25 + 0,25} (Эколист моно Бор) + Терра-Сорб фолиар (2л/га)	196,5	68,0	324,1

В среднем за годы исследований по вариантам опыта вынос основных элементов питания растениями подсолнечника составил: азота – 109,2–196,5 кг/га, фосфора – 39,1–68,0 кг/га, калия – 215,8–324,1 кг/га. Относительно контрольного

варианта вынос азота возрастал на 37,5–87,3 кг/га, фосфора – на 14,2–28,9 кг/га, калия – на 69,5–108,3 кг/га. Повышение хозяйственного выноса в основном происходило за счет роста урожайности и повышения содержания питательных элементов в растениях под действием минеральных удобрений и регуляторов роста.

Под действием минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{120}$; $N_{90}P_{80}K_{150}$; $N_{120}P_{100}K_{180}$ хозяйственный вынос азота возрастал на 37,5; 59,9 и 74,0 кг/га, фосфора – на 14,2; 22,4 и 26,5 кг/га и калия – на 69,5; 88,9 и 105,7 кг/га соответственно. Внесение борных микроудобрений на фоне внесения различных доз минеральных удобрений увеличивало данный показатель. Так, внесение борных удобрений на фоне $N_{60}P_{60}K_{120}$ увеличило вынос азота на 1,8–5,5 кг/га, фосфора – на 1,6–2,9 кг/га и калия – на 1,3–3,2 кг/га, а на фоне внесения $N_{90}P_{80}K_{150}$ вынос азота увеличился на 3,3–5,2 кг/га, фосфора – на 0,4–1,0 кг/га, калия – 1,0–2,8 кг/га относительно фонового варианта. На максимальном фоне внесения удобрений $N_{120}P_{100}K_{180}$ применение борных микроудобрений также увеличило вынос основных элементов питания. Данный показатель увеличился и от применения регуляторов роста.

ВЫВОДЫ

Изучение динамики потребления элементов питания подсолнечником показало, что потребление зависит от фазы развития растений и применения удобрений. Максимальное накопление азота (113,8–200,6 кг/га) и калия (256,5–366,0 кг/га) в среднем за годы исследований отмечено в фазу формирования и роста семян (69 стадия ВВСН), а фосфора (39,1–65,6 кг/га) – в фазу полной спелости (89 стадия ВВСН). При этом в варианте, где доза удобрений составила $N_{120}P_{100}K_{180}$, отмечено наибольшее потребление элементов минерального питания.

Применение удобрений и регуляторов роста оказало положительное влияние на увеличение выноса азота, фосфора и калия, что прежде всего связано с увеличением урожайности подсолнечника. Вынос элементов минерального питания возрастал по азоту и фосфору в 1,3–1,8, а по калию – в 1,3–1,5 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Громова, Л. И. Влияние минеральных удобрений на урожайность семян подсолнечника, возделываемого на черноземе выщелоченном / Л. И. Громова // Тр. Кубан. гос. аграр. ун-та. – 2009. – Вып. 1. – С. 143–149.
2. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
3. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 120 с.
4. Лапа, В. В. Минеральные удобрения и пути повышения их эффективности / В. В. Лапа, В. Н. Босак; Белорус. НИИ почвоведения и агрохимии. – Минск, 2002. – 184 с.
5. Лисовой, Н. В. Динамика содержания азота, фосфора и калия в листьях подсолнечника (*HELIANTHUS ANNUUS*) по фазам развития растений в условиях Южной Степи Украины / Н. В. Лисовой, Г. А. Капустина // Проблемы агрохимии и экологии. – 2014. – № 2. – С. 34–37.

6. Отраслевой регламент. Возделывание подсолнечника на маслосемена. Типовые технологические процессы / В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2009. – 32 с.

7. Подсолнечник / под общ. ред. В. С. Пустовойта; Всесоюз. НИИ масличных культур. – М.: Колос, 1975. – 591 с.

8. *Тишков, Н. М.* Влияние способов применения удобрений на продуктивность подсолнечника и потребление элементов питания на черноземе выщелоченном / Н. М. Тишков, Р. В. Пихтярев // Масличные культуры: науч.-техн. бюл. / Всерос. НИИ масличных культур. – Краснодар, 2019. – № 2(178). – С. 61–68.

9. Яровые масличные культуры: монография / Д. Шпаар [и др.]. – Минск: ФУаниформ, 1999. – 284 с.

CONSUMPTION AND REMOVAL OF ELEMENTS OF MINERAL NUTRITION BY SUNFLOWER PLANTS

M. V. Zimina

Summary

The results of studies on the effect of fertilizers on the consumption of nutrients by sunflower plants by the phases of growth and development are presented. In the course of research, the observation of the dynamic accumulation of nitrogen, phosphorus, and potassium is due to the fact that mineral fertilizers and growth regulators have a positive effect on the level of the content of plant components of sunflower.

Поступила 03.04.2020

УДК 633.412:631.8:631.445.24

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ ФОРМ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ СТОЛОВОЙ СВЕКЛЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

И. Р. Вильдфлуш¹, Г. В. Пироговская², Н. Э. Хизанейшвили¹

¹*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
г. Горки, Беларусь*

²*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

На дерново-подзолистых почвах, которые имеют наибольшее распространение в Республике Беларусь и характеризуются низким естественным плодородием, невысоким содержанием органического вещества и элементов питания, получить высокий урожай с хорошим качеством сельскохозяйственной продук-

ции невозможно без применения удобрений. Кроме этого, применение удобрений способствуют повышению устойчивости растений к неблагоприятным погодным условиям [1].

Недостаток элементов питания при возделывании сельскохозяйственных культур приводит к снижению урожайности и падению качества получаемой продукции. Особенно важно присутствие питательных веществ в критические периоды развития. В это время уровень потребления элементов питания растениями находится на невысоком уровне, но их наличие и баланс в питательной среде очень важны, поскольку у растений появляется одинаково высокая чувствительность как к недостатку, так и к избытку элементов питания. Исходя из того, что растения нуждаются в сбалансированном питании, особенно в критические периоды роста, а также сложности в усвоении макро- и микроэлементов корневой системой даже при их наличии в почве, инструментом в корректировке режима питания являются водорастворимые комплексные азотно-фосфорно-калийные удобрения с добавками микроэлементов [2].

Современные комплексные удобрения выпускаются в твердой форме для основного внесения в почву и некорневых подкормок, а также в жидком виде (ЖКУ) [3].

В настоящее время широко известен перечень различных марок комплексных удобрений, производимых фирмами Yara international, Kemira, «Сумыхимпром», «Буйский химический завод», «Гомельский химический завод» и многие другие.

Применение комплексных удобрений способствует более сбалансированному питанию растений, снижению технологических затрат на их внесение и хранение. За счет входящих в состав комплексных удобрений макроэлементов в оптимальном соотношении, а также микроэлементов значительно повышается продуктивность и качество сельскохозяйственных культур [4].

Цель исследований – изучение влияния новых форм комплексных удобрений марки 13:12:19 с бором и марганцем для основного внесения в почву, французского комплексного удобрения с микроэлементами Лифдрип и российского жидкого комплексного удобрения с микроэлементами Агрикола Аква Вегета для некорневых подкормок на урожайность и качество корнеплодов столовой свеклы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научные исследования со столовой свеклой сорта Гаспадыня проводили в 2018–2019 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.

Гаспадыня – среднеспелый сорт, одноростковый, выведен в РУП «Институт овощеводства». Вегетационный период – 85–115 дней. Потенциальная урожайность – более 60 т/га. Товарность – 95 %. Корнеплоды округлые и округло-плоские, массой 220–420 г, окраска поверхности корнеплода бордовая, кольцеватость слабовыраженная. Вкусовые качества высокие, сорт среднеустойчив к поражению церкоспорозом и пероноспорозом. Предназначен для потребления в свежем виде, переработки и хранения. Лежкость – 82–86 %, сорт включен в Госреестр Республики Беларусь по всем областям с 2010 г.

В опытах применяли удобрения: карбамид – 46 % N, суперфосфат аммонизированный – 42 % P₂O₅, 10 % N), хлорид калия – 60 % K₂O, комплексное удобрение с микроэлементами марки 13:12:19 с 0,15 % B, 0,10 % Mn (разработано в РУП «Институт почвоведения и агрохимии»), водорастворимое комплексное удобрение с микроэлементами Лифдрип – 20 % N, 8 % P₂O₅, 42 % K₂O, 1 % MgO, 3 % SO₃, 0,025 % Fe, 0,035 % Mn, 0,015 % Zn, 0,003 % Cu, 0,015 % B, 0,003 % Mo (производитель – фирма Frapimrex, Франция), жидкое комплексное удобрение Агрикола Аква Вегета – 1,8 % N, 1,2 % P₂O₅, 1,2 % K₂O, 0,2 % гуматов (производитель – ЗАО «ТПК Техноэкспорт», Россия).

Минеральные удобрения (карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлорид калия), а также комплексное удобрение марки 13:12:19 с 0,15 % B, 0,10 % Mn вносили до посева в один прием.

Комплексное удобрение Лифдрип вносили путем некорневой подкормки двукратно в дозе по

5 кг/га в фазу 2–3 листьев и в период формирования корнеплода. ЖКУ Агрикола Аква Вегета вносили трижды: 3 л/га через месяц после всходов, по 3 л/га через 15 дней после 1-й подкормки и через 15 дней после второй обработки. Эти удобрения вносили на фоне стандартных удобрений N₉₀P₈₀K₁₃₀.

Определение сухого вещества проводили методом высушивания до постоянной массы по ГОСТ 28561-90, содержание сахаров – по Бертрану, ГОСТ 8756,13-87, нитратов – количественным ионометрическим методом по ГОСТ 29270-95. Площадь листьев определяли по методике Н. Ф. Коняева. Учет урожая корнеплодов проводился сплошным поделяночным методом путем взвешивания корнеплодов. Статистическую обработку полученных результатов опыта проводили по методике Б. А. Доспехова и М. Ф. Дембицкого [6, 7].

По агрохимическим показателям почва характеризовалась низким и средним содержанием гумуса (1,2–1,7 %), от кислой до близкой к нейтральной реакцией почвенной среды (рН_{KCl} = 5,5–6,1), повышенным и высоким содержанием подвижных форм фосфора (208,7–265,5 мг/кг почвы) и повышенным содержанием калия (293,5–295,0 мг/кг почвы), средним – подвижных форм меди (1,54–1,71 мг/кг почвы), низким и средним – цинка (1,53–3,75 мг/кг почвы).

Общая площадь делянки – 14,4 м², учетная – 10,8 м², повторность опыта четырехкратная. Предшественник – картофель. Посев однострочный, на ровной поверхности с междурядьем 45 см, норма высева – 12 кг/га. Срок посева – 1 декада мая. Агротехника возделывания – общепринятая для Беларуси.

Система защиты посевов столовой свеклы от болезней, вредителей и сорняков включала в себя следующие мероприятия:

- 1-я химпрополка – Пирамин турбо (2 л/га) через 3 дня после посева;
- 2-я химпрополка – Пирамин турбо (1,5 л/га) + Белведер форте (0,7 л/га) через 10 дней после первой обработки;
- 3-я химпрополка – Пирамин турбо (1 л/га) + Белведер форте (0,7 л/га) при появлении семядолей сорняков;
- 4-я химпрополка – Бельведер форте (0,7 л/га) при появлении семядолей сорняков.

Против злаковых сорняков применяли граминицид Фюзилад форте (1 л/га) однократно при появлении всходов проса куриного независимо от фазы развития

свеклы. Против вредителей (свекловичные блошки) и церкоспороза применяли инсектицид Фаскорд (0,1 л/га) в смеси с фунгицидом Прозаро (0,6 л/га) в фазу 4–6 листьев.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В начальный период роста площадь листовой поверхности у растений свеклы существенно не отличалась по вариантам кроме контроля, где этот показатель был самым низким и составил 53,3 см² (табл. 1).

Таблица 1

Динамика площади листовой поверхности растений столовой свеклы в зависимости от применяемых комплексных удобрений, среднее за 2018–2019 гг.

Вариант опыта	Площадь листовой поверхности одного растения, см ²			
	3–4 листа	Начало формирования корнеплода	Техническая спелость	Уборка
1. Контроль (без удобрений)	53,3	598,1	705,2	675,9
2. N ₇₀ P ₆₀ K ₁₀₀	73,9	659,9	797,5	764,7
3. N ₉₀ P ₈₀ K ₁₃₀ – фон	73,0	679,1	1062,9	995,6
4. N ₉₀ P ₈₀ K ₁₃₀ с В, Мп	74,1	686,4	1158,7	1051,7
5. Фон + Агрикола Аква Вегета	73,4	683,5	1089,0	1015,6
6. Фон + Лифдрип	75,0	684,8	1235,0	1077,7
НСР ₀₅	3,05	20,92	41,98	34,54

В фазу начала формирования корнеплода в вариантах с минеральными удобрениями соответственно возрастала площадь листовой поверхности растений. В вариантах с применением минеральных удобрений площадь листовой поверхности растений свеклы была больше на 61,8–88,3 см², чем в варианте без удобрений.

К фазе технической спелости происходило увеличение площади листовой поверхности у растений свеклы столовой. На фоне N₉₀P₈₀K₁₃₀ трехкратная обработка посевов ЖКУ Агрикола Аква Вегета не увеличивала площадь листьев у растений свеклы. Комплексное удобрение с микроэлементами Лифдрип на фоне N₉₀P₈₀K₁₃₀ увеличивало площадь листовой поверхности столовой свеклы на 172,1 см², а комплексное удобрение с бором и марганцем, которое вносили в дозе N₉₀P₈₀K₁₃₀ по сравнению с вариантом, где применялись в такой же дозе по действующему веществу карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлорид калия, способствовало увеличению площади листьев у растений свеклы на 95,8 см². К моменту уборки во всех вариантах опыта отмечено уменьшение площади листовой поверхности у растений свеклы, что связано с отмиранием листьев и оттоком из них питательных веществ.

За 2018–2019 гг. исследований средняя урожайность корнеплодов столовой свеклы в варианте без удобрений была наименьшей и составила 20,3 т/га (табл. 2). Применение минеральных удобрений в дозе N₇₀P₆₀K₁₀₀ и N₉₀P₈₀K₁₃₀ обеспечивало прибавку урожайности корнеплодов – 18,8 и 24,4 т/га соответственно по отношению к контролю. Окупаемость 1 кг NPK в этих вариантах составила 82 и 81 кг корнеплодов соответственно.

Таблица 2

Влияние удобрений на урожайность корнеплодов столовой свеклы, т/га

Вариант опыта	Урожайность, т/га			Прибавка к контролю, т/га	Прибавка к фону, т/га	Окупаемость 1 кг NPK 1 кг корнеплодов
	2018 г.	2019 г.	Среднее			
1. Контроль (без удобрений)	17,4	23,3	20,3	–	–	–
2. N ₇₀ P ₆₀ K ₁₀₀	37,7	40,5	39,1	18,8	–	82
3. N ₉₀ P ₈₀ K ₁₃₀ – фон	42,6	46,9	44,7	24,4	–	81
4. N ₉₀ P ₈₀ K ₁₃₀ с В, Мп	51,1	56,9	54,0	33,7	–	112
5. Фон + Агрикола Аква Вегета	45,7	52,4	49,0	28,7	4,3	96
6. Фон + Лифдрип	48,1	54,4	51,2	30,9	6,5	103
НСР ₀₅	1,94	2,30	1,50	–	–	–

Комплексное азотно-фосфорно-калийное удобрение марки 13:12:19 с бором и марганцем в эквивалентной дозе (N₉₀P₈₀K₁₃₀) с вариантом 3 повышало урожайность корнеплодов свеклы на 9,3 т/га, а окупаемость 1 кг NPK была максимальной в опыте и составила 112 кг корнеплодов.

Прибавка урожайности корнеплодов от применения жидкого комплексного удобрения с микроэлементами Агрикола Аква Вегета на фоне N₉₀P₈₀K₁₃₀ составила 4,3 т/га со значением окупаемости 1 кг NPK 96 кг корнеплодов.

Обработка посевов комплексным удобрением с микроэлементами Лифдрип на фоне N₉₀P₈₀K₁₃₀ повышала урожайность корнеплодов на 6,5 т/га с окупаемостью 1 кг NPK 103 кг корнеплодов.

Минимальная доля товарных корнеплодов была отмечена в варианте без удобрений – 66,0 % (табл. 3). Применение минеральных удобрений, некорневые подкормки Лифдрип и использование комплексного удобрения с микроэлементами для основного внесения способствовало значительному повышению выхода товарных корнеплодов в доле урожая.

Таблица 3

Влияние удобрений на показатели качества корнеплодов столовой свеклы, среднее за 2018–2019 гг.

Вариант опыта	Товарность, %	Средняя масса корнеплода, г	Сухое вещество, %	Сахара, %	Нитраты, мг/кг сырой массы		
					2018 г.	2019 г.	Среднее
1. Контроль (без удобрений)	66,0	102	14,7	10,7	882	645	764
2. N ₇₀ P ₆₀ K ₁₀₀	84,2	161	13,7	11,3	1078	870	974
3. N ₉₀ P ₈₀ K ₁₃₀ – фон	88,4	204	15,3	12,1	1341	1025	1183
4. N ₉₀ P ₈₀ K ₁₃₀ с В, Мп	96,4	241	17,0	14,0	1203	808	1006
5. Фон + Агрикола Аква Вегета	88,0	217	15,8	13,1	1125	836	981
6. Фон + Лифдрип	95,6	261	17,1	15,4	1231	820	1026
НСР ₀₅	2,49	8,5	0,53	0,57	57,8	38,9	34,8

Так, по сравнению с контролем, где доля товарного урожая составила 66,0 %, внесение минеральных удобрений в дозах N₇₀P₆₀K₁₀₀ и N₉₀P₈₀K₁₃₀ увеличивало выход товарных корнеплодов на 18,2 и 22,4 % до 84,2 и 88,4 % соответственно.

Наибольшая доля товарных корнеплодов была отмечена в вариантах: с комплексным удобрением с В, Мп, которое вносили в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$, эквивалентной варианту, где применяли мочевины, аммонизированный суперфосфат и хлорид калия – 96,4 %, и в $N_{90}P_{80}K_{130}$ + Лифдрип, что выше, чем в варианте 3, на 8 и 7,2 % соответственно.

В варианте с трехкратным применением жидкого комплексного удобрения с микроэлементами Агрикола Аква Вегета на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ не было отмечено увеличения товарности корнеплодов столовой свеклы.

В контрольном варианте средняя масса корнеплода столовой свеклы составила 102 г. Применение минеральных удобрений в дозах $N_{70}P_{60}K_{100}$ и $N_{90}P_{80}K_{130}$ способствовало увеличению средней массы корнеплода на 59 и 102 г соответственно. От применения комплексного удобрения с микроэлементами в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$ средняя масса корнеплода свеклы повышалась на 37 г по сравнению с вариантом, где в таких же дозах применяли стандартные удобрения. Двукратная некорневая подкормка столовой свеклы микроудобрением с микроэлементами Лифдрип на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ увеличивала среднюю массу корнеплода на 57 г. В результате трехкратной обработки посевов ЖКУ Агрикола Аква Вегета на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ прирост средней массы корнеплода составил 13 г и был выше НСР.

В среднем за 2018–2019 гг. исследований содержание сухого вещества в корнеплодах столовой свеклы по вариантам опыта составляло от 13,7 до 17,1 %. В варианте без удобрений этот показатель находился на уровне 14,7 %. При внесении $N_{70}P_{60}K_{100}$ отмечено снижение содержания сухого вещества в корнеплодах на 1,0 % до 13,7 %. При повышении уровня минерального питания до $N_{90}P_{80}K_{130}$ процент сухого вещества возрастал на 0,6 % до 15,3 % (табл. 3).

При внесении комплексного удобрения с микроэлементами содержание сухого вещества в корнеплодах возрастало в среднем за 2 года на 1,7 % относительно фонового варианта.

В вариантах с трехкратным применением жидкого комплексного удобрения с микроэлементами Агрикола Аква Вегета и двукратной некорневой подкормкой комплексным удобрением с микроэлементами Лифдрип на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ повышалось содержание сухого вещества на 0,5 и 1,8 % соответственно. Максимальное содержание сухого вещества отмечено в вариантах с применением комплексных удобрений с микроэлементами для основного внесения (NPK с бором и марганцем) и некорневых подкормок (Лифдрип) на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$, которое составило 17,0 и 17,1 % соответственно.

Содержание сахаров в корнеплодах свеклы в контрольном варианте было самым низким в опыте – 10,7 %. Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{70}P_{60}K_{100}$ увеличивало содержание сахаров на 0,6 %, а дальнейшее повышение уровня минерального питания до $N_{90}P_{80}K_{130}$ – на 1,4 % до 12,1 %.

Комплексное NPK удобрение с бором и марганцем, которое вносили в дозе, эквивалентной варианту 3, повышало содержание сахаров на 1,9 %, с 12,1 до 14,0 %.

Подкормки посевов свеклы российским жидким комплексным удобрением с микроэлементами Агрикола Аква Вегета и французским комплексным удобрением с микроэлементами Лифдрип на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ увеличивали содержание сахаров в корнеплодах на 1,0 и 3,3 % соответственно (табл. 3).

За период исследований в 2018–2019 гг. уровень содержания нитратов в корнеплодах не превышал ПДК, значение которого для столовой свеклы составляет 1400 мг/кг сырой массы.

В 2018 г. содержание нитратов в корнеплодах было выше, чем в 2019 г. В среднем за годы исследований минимальное содержание нитратов в корнеплодах было отмечено в варианте без удобрений – 764 мг/кг сырой массы. Применение минеральных удобрений в дозах $N_{70}P_{60}K_{100}$ и $N_{90}P_{80}K_{130}$ повышало содержание нитратов по отношению к контролю на 196 и 459 мг/кг в 2018 г. и на 225 и 380 мг/кг в 2019 г.

По сравнению со стандартными формами минеральных удобрений (карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлорид калия), которые вносили в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$, применение в эквивалентной дозе комплексного удобрения с микроэлементами способствовало снижению концентрации нитратов в корнеплодах на 138 мг/кг в 2018 г. и 217 мг/кг сырой массы в 2019 г.

Применение ЖКУ Агрикола Аква Вегета и комплексного удобрения с микроэлементами Лифдрил на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ снижало содержание нитратов в корнеплодах в 2018 г. на 110–216 мг/кг и в 2019 г. на 189–205 мг/кг сырой массы.

Содержание азота, фосфора и калия в корнеплодах свеклы в среднем за годы исследований по вариантам опыта составило 1,01–1,52; 0,60–0,75 и 3,20–3,88 % соответственно (табл. 4).

Таблица 4

Влияние удобрений на содержание в корнеплодах столовой свеклы элементов питания и их вынос, среднее за 2018–2019 гг.

Вариант опыта	Содержание элементов питания, процент на сухое вещество			Вынос элементов питания корнеплодами, кг/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Контроль (без удобрений)	1,01	0,69	3,26	30,0	20,8	99,4
2. $N_{70}P_{60}K_{100}$	1,19	0,60	3,20	63,6	32,1	171,3
3. $N_{90}P_{80}K_{130}$ – фон	1,25	0,61	3,45	85,5	41,5	237,7
4. $N_{90}P_{80}K_{130}$ с В, Мп	1,52	0,75	3,88	139,2	68,6	357,5
5. Фон + Агрикола Аква Вегета	1,47	0,60	3,37	115,2	46,7	265,2
6. Фон + Лифдрил	1,21	0,65	3,48	105,5	56,2	302,2
НСП ₀₅	0,133	0,057	0,331	–	–	–

В варианте с применением комплексного удобрения с бором и марганцем в корнеплодах столовой свеклы отмечено наибольшее содержание азота, фосфора и калия – 1,52, 0,75 и 3,88 % соответственно. Применение удобрений повышало вынос элементов питания корнеплодами столовой свеклы по вариантам опыта: азота – на 33,6–109,2; фосфора – на 11,3–47,8, калия – на 71,9–258,1 кг/га. В варианте с применением комплексного удобрения с бором и марганцем значения выноса элементов питания корнеплодами были максимальными и составили: азот – 139,2, фосфор – 68,6, калий – 357,5 кг/га (табл. 4).

Урожайность ботвы столовой свеклы в варианте без удобрений составила 9,0 т/га (табл. 5). Внесение минеральных удобрений в дозах $N_{70}P_{60}K_{100}$ и $N_{90}P_{80}K_{130}$ повышало урожайность ботвы на 6,6 и 8,9 т/га. Комплексное удобрение с микро-

элементами в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$ по сравнению с простыми формами минеральных удобрений (карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлорид калия), которое вносили в такой же дозе по д. в., повышало урожайность ботвы на 1,3 т/га. На фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ применение ЖКУ Агрикола Аква Вегета увеличивало урожайность ботвы на 1,7 т/га, а комплексное удобрение с микроэлементами Лифдрип на этом же фоне не оказывало влияния на урожайность ботвы.

Таблица 5

Влияние удобрений на урожайность ботвы, содержание в ней элементов питания и их вынос, среднее за 2018–2019 гг.

Вариант опыта	Урожайность ботвы, т/га	Содержание элементов питания, процент на сухое вещество			Вынос элементов питания ботвой, кг/га		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Контроль (без удобрений)	9,0	2,11	0,97	5,50	28,5	13,0	75,4
2. $N_{70}P_{60}K_{100}$	15,6	2,47	1,00	4,29	53,3	21,1	92,6
3. $N_{90}P_{80}K_{130}$ – фон	17,9	2,93	1,10	3,60	81,2	30,3	98,8
4. $N_{90}P_{80}K_{130}$ с В, Мп	19,2	1,79	1,38	4,46	58,2	45,3	146,0
5. Фон + Агрикола Аква Вегета	19,6	2,71	1,07	5,55	85,0	33,4	174,9
6. Фон + Лифдрип	17,7	2,46	1,17	5,42	74,6	35,8	166,0
НСП ₀₅	0,71	0,200	0,290	0,599	–	–	–

Содержание азота, фосфора и калия в ботве столовой свеклы в среднем за годы исследований по вариантам опыта составило 1,79–2,93; 0,97–1,38; 3,60–5,55 % соответственно. Максимальное содержание азота в ботве свеклы (2,93 %) отмечено в варианте с применением минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$, фосфора – в варианте с допосевным внесением комплексного удобрения с микроэлементами (1,38 %), калия – в варианте с применением ЖКУ Агрикола Аква Вегета (5,55 %). Применение удобрений по сравнению с неудобренным вариантом повышало вынос элементов питания ботвой: азота – на 24,8–56,5, фосфора – на 8,1–32,3, калия – на 17,2–99,5 кг/га.

Таблица 6

Влияние удобрений на хозяйственный и удельный вынос элементов питания, среднее за 2018–2019 гг.

Вариант опыта	Хозяйственный вынос, кг/га			Удельный вынос, кг/т основной продукции с учетом побочной		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Контроль (без удобрений)	58,4	33,8	174,8	2,9	1,7	8,6
2. $N_{70}P_{60}K_{100}$	116,9	53,5	263,9	3,0	1,4	6,8
3. $N_{90}P_{80}K_{130}$ – фон	166,7	71,8	336,6	3,7	1,6	7,5
4. $N_{90}P_{80}K_{130}$ с В, Мп	197,4	113,9	503,5	3,7	2,1	9,3
5. Фон + Агрикола Аква Вегета	200,2	80,1	440,1	4,1	1,6	9,0
6. Фон + Лифдрип	180,0	92,1	468,2	3,5	1,8	9,1

Применение удобрений способствовало увеличению урожайности основной и побочной продукции столовой свеклы, и, соответственно, хозяйственного выноса

элементов питания (табл. 6). В варианте без удобрений хозяйственный вынос азота, фосфора и калия составил 58,4; 33,8 и 174,8 кг/га соответственно. Наибольший хозяйственный вынос азота, фосфора и калия отмечен в варианте с применением комплексного удобрения с микроэлементами. Значения удельного выноса во всех вариантах опыта составили: азот – 2,9–4,1, фосфор – 1,4–2,1, калий – 7,5–9,1 кг/т.

Установлено, что применение минеральных удобрений, в том числе комплексных для основного внесения и некорневых подкормок по сравнению с контрольным вариантом увеличивали удельный вынос азота на 0,1–1,2 кг/т. Удельный вынос фосфора и калия по сравнению с вариантом без удобрений снижался в вариантах с внесением минеральных удобрений в дозах $N_{70}P_{60}K_{100}$ и $N_{90}P_{80}K_{130}$ на 0,1–0,3 и 1,1–1,8 кг/т, а в вариантах с применением комплексных удобрений для основного внесения и некорневых подкормок повышался на 0,1–0,4 и 0,4–0,7 кг/т соответственно.

ВЫВОДЫ

1. Применение комплексных удобрений для основного внесения и некорневых подкормок способствовало увеличению площади листовой поверхности растений столовой свеклы, урожайности корнеплодов и повышению их качества.

2. На фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ двукратная некорневая подкормка комплексным удобрением с микроэлементами Лифдрип увеличивала площадь листовой поверхности свеклы до 1235 см² в фазу технической спелости. При внесении NPK с бором и марганцем в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$ по сравнению со стандартными формами удобрений (карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлорид калия) в такой же дозе по д. в. площадь листьев одного растения увеличивалась на 95,8 см².

3. Некорневые подкормки ЖКУ Агрикола Аква Вегета и Лифдрип на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ повышали урожайность корнеплодов свеклы на 4,3 и 6,5 т/га. Применение комплексного NPK удобрения с бором и марганцем в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$ обеспечило получение наибольшей урожайности (54,0 т/га) и товарности столовой свеклы (96,4 %).

4. Более высокая окупаемость 1 кг NPK 1 кг корнеплодов была в вариантах с внесением NPK с бором и марганцем (112 кг) и $N_{90}P_{80}K_{130}$ + Лифдрип (103 кг).

5. Наибольшее содержание сухого вещества (17,1 %) и сахаров (15,4 %) отмечено в варианте $N_{90}P_{80}K_{130}$ + Лифдрип.

6. Изучаемые системы удобрения столовой свеклы с применением комплексных удобрений за годы исследований не вызывали увеличения содержания нитратов в корнеплодах выше ПДК.

7. Применение комплексных минеральных удобрений для основного внесения и некорневых подкормок увеличивало урожайность корнеплодов и ботвы столовой свеклы и, соответственно, хозяйственный вынос элементов питания. В изучаемых вариантах удельный вынос азота, фосфора и калия составил 2,9–4,1; 1,4–2,1 и 7,5–9,1 кг/т основной продукции с учетом побочной. Применение комплексных минеральных удобрений для основного внесения и некорневых подкормок по сравнению с контрольным вариантом увеличивало удельный вынос азота на 0,1–1,2 кг/т. Удельный вынос фосфора и калия по сравнению с вариантом без удобрений снижался в вариантах с внесением минеральных удобрений в дозах $N_{70}P_{60}K_{100}$

и $N_{90}P_{80}K_{130}$ на 0,1–0,3 и 1,1–1,8 кг/т, а в вариантах с применением комплексных удобрений для основного внесения и некорневых подкормок повышался на 0,1–0,4 и 0,4–0,7 кг/т соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы. – Минск: Беларус. Наука, 2007. – 390 с.
2. Хорошкин, А. Б. Способы повышения эффективности минерального питания сельскохозяйственных культур / А. Б. Хорошкин. – Краснодар: Агромастер, 2010. – 68 с.
3. Соловьева, Н. Ф. Жидкие удобрения и современные методы их применения / Н. Ф. Соловьева. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 76 с.
4. Комплексные органоминеральные удобрения пролонгированного действия на основе торфа / Т. П. Алексеева [и др.] // Химия растительного сырья. – 1999. – № 4. – С. 53–59.
5. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М., 1985. – 235 с.
6. Дзямбіцкі, М. Ф. Асаблівасці дысперсійнага аналізу вынікаў шматгадовага палявога доследу / М. Ф. Дзямбіцкі // Вес. Нац. акад. аграрных навук Беларусі. – 1994. – № 3. – С. 60–64.

EFFICIENCY OF THE APPLICATION OF NEW FORMS OF COMPLEX FERTILIZERS FOR CULTIVATION OF TABLE BEET ON SOD-PODZOLIC LIGHT-LOAMY SOIL

I. R. Vildflush, G. V. Pirahouskaya, N. E. Hizaneyshvili

Summary

The article presents the results of studies on the use of new forms of complex fertilizers in the cultivation of table beets on sod-podzolic light loamy soil. The influence of the studied fertilizers on the productivity of root crops, their marketability, quality and removal of nutrients was also studied.

The use of complex NPK fertilizer with boron and manganese at a dose of $N_{90}P_{80}K_{130}$ increased the yield of table beets by 9,5 t/ha in comparison with the use of urea, ammoniated superphosphate and potassium chloride in the same dose. The use of complex fertilizers for foliar application Leafdrip and Agricola Aqua Vegeta on the background of $N_{90}P_{80}K_{130}$ increased the yield of root crops by 6,5 and 4,3 t/ha, respectively. Complex NPK fertilizers with boron and manganese at a dose of $N_{90}P_{80}K_{130}$ and $N_{90}P_{80}K_{130}$ + Leafdrip provided the highest content of dry matter (17,0 and 17,1 %), sugars (14,0 and 15,4 %) in beet root crops and marketability of root crops of beet (96,4 and 95,6 %).

Поступила 09.03.2020

ВЛИЯНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КУКУРУЗЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ВЫСОКОКУЛЬТУРЕННОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

М. В. Рак, Е. Н. Пукалова, Н. С. Иванова, Л. Н. Гук, В. А. Муковозчик

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

ВВЕДЕНИЕ

Микроэлементы принимают активное участие во многих жизненных процессах, происходящих в растениях. Основные их функции в растениях связаны с метаболизмом углеводов, протеинов, фосфатов и т. д. Сельскохозяйственные культуры обладают избирательной способностью к разным микроэлементам. Для полноценного роста и развития кукурузы особенно важен цинк, медь, бор, так как эта культура очень чувствительна к их недостатку [1, 2]. Наиболее доступной формой для растений являются микроудобрения в хелатной или органоминеральной форме. Они обладают высокой биологической активностью, поэтому быстрее включаются в физиолого-биохимические процессы в растениях. Хелатные микроудобрения хорошо растворяются в воде и при внесении сочетаются с пестицидами [3, 4]. Так, проведенные в Молдове испытания показали явное преимущество хелатных форм микроэлементов над солевыми растворами при возделывании зерновых, подсолнечника, кукурузы, сои, сахарной свеклы и других культур [5]. В опытах БГСХА применение микроудобрения ЭлеГум-Медь и Адоб Zn повышало урожайность зеленой массы кукурузы в среднем за три года исследований на 79 и 75 ц/га соответственно [6]. Применение микроудобрений способствует также улучшению микроэлементного состава растениеводческой продукции. В опытах А. Н. Кутовой установлено, что внесение микроудобрений РЕАКОМ, содержащих микроэлементы в хелатной форме, увеличивало содержание цинка в зеленой массе кукурузы на 67 %, меди – на 65 % [7].

Возрастающая роль микроэлементов в земледелии определяется дефицитом содержания их подвижных форм в почве, снижением почвенной кислотности и постоянным выносом урожаями. Особенно это актуально для высококультуренных почв, которые отличаются оптимальной кислотностью, высоким содержанием гумуса, фосфора и калия. На таких почвах потребность растений в микроэлементах и роль сбалансированности минерального питания возрастает в условиях интенсивных технологий, направленных на формирование высокопродуктивных посевов. Например, применение меди и бора улучшает поступление в растения азота. Цинк изменяет проницаемость мембран для калия и магния. У растений с дефицитом цинка отмечается повышенная концентрация неорганического фосфора [8]. Поэтому определение эффективности применения микроэлементов в системе удобрения кукурузы в зависимости от почвенно-агрохимических условий актуально и имеет практическую значимость.

Цель исследований – определить влияние некорневых подкормок жидкими микроудобрениями МикроСтим на урожайность и качество кукурузы, возделываемой на дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по определению эффективности некорневых подкормок кукурузы микроэлементами проводились в полевых опытах (2017–2018 гг.) в ОАО «Гастелловское» Минского района на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: рН в КСl 6,03–6,8, гумус – 2,46–2,60 %, P_2O_5 – 555–908 мг/кг почвы, K_2O – 327–405, В – 0,64–1,0, Cu – 3,26–4,94, Zn – 3,14–4,59, $Mn_{обм}$ – 1,18 мг/кг почвы.

Схема с кукурузой (гибрид Палацио) включала варианты с медными, цинковыми и борными удобрениями на двух фонах внесения минеральных удобрений:

фон 1 – дробное внесение азотных удобрений в дозе $N_{150(104 + 46)}$;

фон 2 – внесение азотных удобрений в дозе $N_{150(104 + 46)}$, фосфорных – P_{35} и калийных – K_{70} (35 % выноса фосфора и калия с планируемой урожайностью зеленой массы 550 ц/га). Минеральные удобрения вносились в виде карбамида, аммофоса и хлористого калия. Азотное удобрение в дозе N_{104} (карбамид) – в основное внесение под предпосевную культивацию и N_{46} (карбамид) – в подкормку кукурузы в фазе 4–6-го листа (ДК 14–16).

Некорневая подкормка кукурузы микроудобрениями МикроСтим проведена в фазе 6–8-го листьев (ДК 16–18). Микроэлементы медь, марганец, цинк и бор внесены в форме жидких микроудобрений МикроСтим-Цинк, МикроСтим-Бор, МикроСтим-Медь Л, МикроСтим-Цинк, Бор и МикроСтим-Цинк, Медь в дозе по 0,1 кг/га д. в.

Предшественник – озимая пшеница. Норма высева кукурузы – 1 п. ед./га. Общая площадь делянки – 34,5 м², повторность – трехкратная. Закладка и проведение полевых опытов проводилась в соответствии с методикой полевых опытов. Статистическая обработка полученных результатов выполнена методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [9] с использованием соответствующих программ компьютера. Анализ почвенных и растительных образцов проводили в соответствии с общепринятыми методиками. Экономическая эффективность применения микроудобрений рассчитывалась по методике, разработанной Институтом почвоведения и агрохимии [10].

Погодные условия за годы проведения исследований различались. В 2017 г. вегетационный период характеризовался неравномерностью распределения атмосферных осадков при невысоких температурных показателях воздуха. ГТК за этот период составил 1,92. В 2018 г. погодные условия вегетационного периода были слабозасушливые (ГТК 1,1), что положительно сказалось на развитии кукурузы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты двухлетних исследований показали, что при возделывании кукурузы в полевых опытах за счет плодородия дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почвы урожайность зеленой массы кукурузы составила

358 ц/га (табл. 1). Внесение азотных удобрений в подкормку в дозе N_{150} (фон 1) повышало урожай зеленой массы кукурузы до 552 ц/га, минеральных удобрений $N_{150}P_{35}K_{70}$ (фон 2) – до 565 ц/га.

Таблица 1

Влияние некорневых подкормок кукурузы микроудобрениями МикроСтим на урожайность и содержание цинка в зеленой массе и зерне

Варианты	Урожайность, ц/га			Прибавка к фону, ц/га	Содержание цинка	
	2017 г.	2018 г.	Среднее		мг/кг сухой массы	Повышение, %
<i>Зеленая масса</i>						
Вариант без удобрений	354	362	358	–	9,7	–
N_{150} – фон 1	500	603	552	–	10,4	–
Фон 1 + МикроСтим-Цинк	539	651	595	43	12,7	22,1
Фон 1 + МикроСтим-Бор	535	642	589	37	10,6	1,9
Фон 1 + МикроСтим-Медь	550	638	594	42	10,4	–
Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Бор	552	646	599	47	13,0	25,0
Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Медь	546	649	598	46	11,5	10,6
$N_{150}P_{35}K_{70}$ – фон 2	519	611	565	–	12,9	–
Фон 2 + МикроСтим-Цинк	567	661	614	49	14,9	15,5
Фон 2 + МикроСтим-Бор	565	656	611	46	12,2	–
Фон 2 + МикроСтим-Медь	571	649	610	45	12,8	–
Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Бор	570	661	616	51	14,7	14,0
Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Медь	574	664	619	54	15,2	17,8
$НСР_{05}$	30,0	24,4	29,2		–	–
<i>Зерно</i>						
Вариант без удобрений	52,9	57,2	55,1	–	10,7	–
N_{150} – фон 1	72,9	78,2	75,6	–	11,7	–
Фон 1 + МикроСтим-Цинк	79,2	84,6	81,9	6,3	12,0	2,6
Фон 1 + МикроСтим-Бор	78,9	85,5	82,2	6,6	11,7	–
Фон 1 + МикроСтим-Медь	78,5	82,8	80,7	5,1	11,6	–
Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Бор	80,4	84,2	82,3	6,7	12,1	3,4
Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Медь	79,5	84,8	82,2	6,6	11,5	–
$N_{150}P_{35}K_{70}$ – фон 2	82,6	81,1	81,8	–	12,1	–
Фон 2 + МикроСтим-Цинк	89,9	87,3	88,6	6,8	12,3	1,7
Фон 2 + МикроСтим-Бор	89,6	88,7	89,2	7,4	11,5	–
Фон 2 + МикроСтим-Медь	88,6	87,5	88,1	6,3	12,1	–
Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Бор	91,8	89,7	90,8	9,0	10,9	–
Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Медь	92,5	90,2	91,4	9,6	11,2	–
$НСР_{05}$	5,4	5,0	4,9		–	–

Некорневая подкормка кукурузы микроудобрениями МикроСтим в фазе 6–8 листьев способствовала повышению урожайности зеленой массы. Более высокие прибавки урожая кукурузы отмечаются при внесении микроудобрений МикроСтим, содержащих цинк, медь и бор. Так, на фоне внесения азотных удобрений

в дозе N_{150} наиболее эффективно применение микроудобрений МикроСтим-Цинк, Бор и МикроСтим-Цинк, Медь (прибавки зеленой массы составили 47 и 46 ц/га). Применение этих микроудобрений на фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{35}K_{75}$ увеличивает урожайность зеленой массы на 51 и 54 ц/га. Следует отметить, что применение МикроСтим-Цинк, Бор и МикроСтим-Цинк, Медь способствует повышению содержания сырого белка в зеленой массе на фоне 1 на 0,6–1,2 %, выход сырого белка – на 2,6–3,4 ц/га. На фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{35}K_{75}$ эти показатели были выше и составили 1,7–3,8 % и 6,4–8,5 ц/га соответственно. Отмечается повышение содержания цинка в зеленой массе кукурузы на 10,5–25,0 % (с 10,4 до 11,5–13,0 мг/кг сухой массы) при внесении микроудобрений МикроСтим-Цинк, Бор и МикроСтим-Цинк, Медь на фоне внесения азотных удобрений в дозе N_{150} и на 14,0–17,8 % (с 12,9 до 14,7–15,2 мг/кг сухой массы) на фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{35}K_{70}$.

При возделывании кукурузы на зерно за счет плодородия почвы урожайность составила 55,1 ц/га. При внесении азотных удобрений в дозе N_{150} (фон 1) урожайность увеличивалась до 75,6 ц/га, минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{35}K_{70}$ (фон 2) – до 81,8 ц/га. На фоне внесения азотных удобрений в дозе N_{150} некорневая подкормка кукурузы микроудобрениями МикроСтим-Цинк, Бор и МикроСтим-Цинк, Медь обеспечивала более высокие прибавки урожая зерна, которые составили 6,7 и 6,6 ц/га соответственно. На фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{35}K_{70}$ некорневая подкормка микроудобрениями МикроСтим-Цинк, Бор и МикроСтим-Цинк, Медь кукурузы повышала урожайность зерна на 9,0 и 9,6 ц/га соответственно. Следует отметить, что при внесении различных микроудобрений МикроСтим в некорневую подкормку кукурузы отмечалась тенденция повышения содержания сырого белка и цинка в зерне в сравнении с фоновыми вариантами.

Для оценки экономической эффективности некорневых подкормок в период вегетации кукурузы жидкими микроудобрениями МикроСтим использованы полученные в опытах прибавки урожайности, нормативные данные затрат и цены на продукцию. Расчет экспериментальных данных показал, что применение микроудобрений МикроСтим в некорневые подкормки кукурузы агрономически и экономически целесообразно. Так, при возделывании кукурузы на зеленую массу на фоне азотных удобрений N_{150} наиболее экономически оправданным было применение в некорневую подкормку микроудобрения МикроСтим-Цинк, где условно чистый доход составил 50,3 USD/га при рентабельности 141 %, МикроСтим-Цинк, Медь – 52,9 USD/га и 135 % и МикроСтим-Цинк, Бор – 53,9 USD/га и 134 % соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Экономическая эффективность некорневых подкормок кукурузы микроудобрениями МикроСтим

Варианты	Прибавка урожая, ц/га	Стоимость прибавки, USD/га	Общие затраты, USD/га	Условно чистый доход, USD/га	Рентабельность, %
<i>Зеленая масса</i>					
N_{150} – фон 1	–	–	–	–	–
Фон 1 + МикроСтим-Цинк	43	86,0	35,7	50,3	141

Варианты	Прибавка урожая, ц/га	Стоимость прибавки, USD/га	Общие затраты, USD/га	Условно чистый доход, USD/га	Рентабельность, %
Фон 1 + МикроСтим-Бор	37	74,0	28,6	45,4	159
Фон 1 + МикроСтим-Медь	42	84,0	31,9	52,1	163
Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Бор	47	94,0	40,1	53,9	134
Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Медь	46	92,0	39,1	52,9	135
$N_{150}P_{35}K_{70}$ – фон 2	–	–	–	–	–
Фон 2 + МикроСтим-Цинк	49	98,0	39,5	58,5	148
Фон 2 + МикроСтим-Бор	46	92,0	34,3	57,7	168
Фон 2 + МикроСтим-Медь	45	90,0	33,7	56,3	167
Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Бор	51	102,0	42,6	59,4	139
Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Медь	54	108,0	44,1	63,9	145
<i>Зерно</i>					
N_{150} – фон 1	–	–	–	–	–
Фон 1 + МикроСтим-Цинк	6,3	81,9	29,4	52,5	179
Фон 1 + МикроСтим-Бор	6,6	85,8	27,1	58,7	217
Фон 1 + МикроСтим-Медь	5,1	66,3	22,2	44,1	199
Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Бор	6,7	87,1	32,6	54,5	167
Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Медь	6,6	85,8	31,9	53,9	169
$N_{150}P_{35}K_{70}$ – фон 2	–	–	–	–	–
Фон 2 + МикроСтим-Цинк	6,8	88,4	31,0	57,4	185
Фон 2 + МикроСтим-Бор	7,4	96,2	29,8	66,4	223
Фон 2 + МикроСтим-Медь	6,3	81,9	26,2	55,7	213
Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Бор	9,0	117,0	40,1	76,9	192
Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Медь	9,6	124,8	41,8	83,0	199

На фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{35}K_{70}$ наибольшие прибавки урожая и условно чистый доход обеспечивали некорневые подкормки удобрением МикроСтим-Цинк – 58,5 USD/га при рентабельности 148 %, МикроСтим-Цинк, Медь – 63,9 USD/га и 145 % и МикроСтим-Цинк, Бор – 59,4 USD/га и 139 % соответственно.

При возделывании кукурузы на зерно эффективность этих микроудобрений была выше. Так, на фоне внесения азотных удобрений в дозе N_{150} некорневая подкормка микроудобрением МикроСтим-Цинк позволила получить условно чистый доход 52,5 USD/га при рентабельности 179 %, МикроСтим-Цинк, Медь – 53,9 USD/га и 169 % и МикроСтим-Цинк, Бор – 54,5 USD/га и 167 % соответственно. На фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{35}K_{70}$ более высокий условно чистый доход обеспечивала некорневая подкормка микроудобрением МикроСтим-Цинк – 57,4 USD/га при рентабельности 185 %, МикроСтим-Цинк, Медь – 83,0 USD/га и 199 % и МикроСтим-Цинк, Бор – 76,9 USD/га и 192 %.

ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве при внесении под кукурузу азотных удобрений в дозе N_{150} некорневая подкормка растений в фазе 6–8 листьев микроудобрениями МикроСтим-Цинк, Бор и МикроСтим-Цинк, Медь в дозе 0,1 кг/га д. в. обеспечивает повышение урожайности зеленой массы на 47 и 46 ц/га при чистом доходе 53,9 и 52,9 USD/га, рентабельности 134 и 135 % соответственно. При внесении минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{35}K_{70}$ прибавки урожая зеленой массы от применения в некорневую подкормку микроудобрений МикроСтим-Цинк, Бор и МикроСтим-Цинк, Медь составили 51 и 54 ц/га при чистом доходе 59,4 и 63,9 USD/га, рентабельности 139 и 145 %.

2. При возделывании кукурузы на зерно применение в некорневую подкормку микроудобрений МикроСтим-Цинк, Бор и МикроСтим-Цинк, Медь повышает урожайность на 6,7 и 6,6 ц/га при чистом доходе 54,5 и 53,9 USD/га, рентабельности 167 и 169 %. При внесении минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{35}K_{70}$ прибавки урожайности зерна от применения в некорневую подкормку микроудобрений МикроСтим-Цинк, Бор и МикроСтим-Цинк, Медь выше и составили 9,0 и 9,6 при чистом доходе 76,9 и 83,0, USD/га рентабельности 192 и 199 %.

3. Некорневая подкормка кукурузы микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор повышает содержание цинка в зеленой массе на 25 % (с 10,4 до 13,0 мг/кг сухой массы) на фоне внесения азотных удобрений в дозе N_{150} . Применение в некорневую подкормку кукурузы микроудобрения МикроСтим-Цинк, Медь увеличивает накопление цинка в зеленой массе на 17,8 % (с 12,9 до 15,2 мг/кг сухой массы) на фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{35}K_{75}$. Отмечается повышение содержания сырого белка в зеленой массе кукурузы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анспок, П. И. Микроудобрения: справочник / П. И. Анспок. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 272 с.
2. Школьник, М. Я. Микроэлементы в жизни растений / М. Я. Школьник. – М.: Наука, 1974. – 324 с.
3. Дятлова, Н. М. Комплексоны и комплексонаты металлов / Н. М. Дятлова, В. Я. Темкина, К. И. Попов. – М.: Химия, 1988. – 543 с.
4. Душкин, А. Н. Комплексоны микроэлементов и регуляторы роста в интенсивных технологиях / А. Н. Душкин, Н. С. Беспалова // Химизация сел. хоз-ва. – 1991. – № 6. – С. 68–71.
5. Сургучева, М. П. Комплексоны и комплексонаты микроэлементов и их применение в земледелии / М. П. Сургучева, А. Ю. Киреева, З. К. Благовещенская. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1993. – 46 с.
6. Вильдфлуш, И. Р. Влияние микроудобрений на урожайность и экономическую эффективность возделывания озимой тритикале и кукурузы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / И. Р. Вильдфлуш, Е. М. Мастерова // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1 (52). – С. 284–292.
7. Кутювая, А. Н. Содержание микроэлементов в сельскохозяйственных культурах в зависимости от применения макро- и микроэлементов / А. Н. Кутювая // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 171–176.

8. Интенсификация продукционного процесса растений. Приемы управления / В. Г. Сычев [и др.]. – М.: ВНИИА, 2009. – 520 с.

9. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

10. Методика определения агрономической и экономической эффективности удобрений и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: И-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

THE EFFECT OF MICRONUTRIENT FERTILIZERS ON THE YIELD AND QUALITY OF MAIZE ON SOD-PODZOLIC HIGHLY CULTIVATED LIGHT LOAMY SOIL

M. V. Rak, E. N. Pukalova, N. S. Ivanova, L. N. Guk, V. A. Mukovozchik

Summary

The article presents the results of studies on the effectiveness of using MicroStim liquid micronutrient fertilizers in the cultivation of maize on sod-podzolic highly cultivated light loamy soil. It has been established that non-root top dressing of micronutrient corn during the growing season increases yield, improves product quality and is a cost-effective method.

Поступила 05.05.2020

УДК 631.81.095.337:633.521

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ И ДОЗ МИКРОУДОБРЕНИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ И ВЫНОС МИКРОЭЛЕМЕНТОВ РАСТЕНИЯМИ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

Е. Н. Пукалова

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

ВВЕДЕНИЕ

Лен масличный отличается специфичностью питания, потребляет на формирование урожая больше питательных веществ, чем многие другие сельскохозяйственные культуры, неравномерно поглощая элементы питания в течение вегетации. Такой характер поступления питательных элементов связан с неравномерностью роста растений. Самый ответственный период в формировании урожая – начальный – от всходов до фазы «елочка» и быстрого роста. Обеспеченность питанием в первые две ранние фазы обуславливает рост растения, нормальное образование семян и хороший урожай качественного волокна. В тоже время поступление каждого элемента питания в онтогенезе льна значительно

изменяется в зависимости от погодных условий, содержания их подвижных форм в почве, сортовых особенностей культуры [1, 2, 3].

Интенсивное земледелие предусматривает высокий вынос из почвы элементов питания, возделываемый участок с каждым годом все больше истощается. Наиболее полно и эффективно вещества усваиваются растениями при соблюдении баланса между макро- и микроэлементами. Поскольку на начальном этапе вегетации корневая система растений льна еще слабо развита и имеет низкую способность усваивать элементы питания из почвы, листовая подкормка в период от появления всходов до фазы «елочка» обеспечит растения всеми необходимыми микроэлементами и улучшит усвоение элементов питания из почвы. Некорневая подкормка позволяет уравновесить дисбалансы питательных веществ быстро и целенаправленно, а также является методом быстрой поставки питательных веществ во время наиболее максимальной потребности на некоторых фазах роста растений. Появляются новые сорта, которые все быстрее растут, развиваются, накапливают массу за короткий промежуток времени, значит потребность в микроэлементах возрастает [4].

Лен относится к группе культур, чувствительных к недостатку бора, меди и цинка. На их недостаток лен реагирует слабым развитием и отставанием в росте [5, 6, 7].

Цель наших исследований состояла в изучении накопления и выноса микроэлементов растениями льна масличного в зависимости от формы и дозы внесения микроудобрений в некорневую подкормку.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по эффективности некорневых подкормок льна масличного различными формами и дозами микроудобрений проводились на дерново-подзолистой супесчаной почве в полевом опыте в РУП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района Минской области.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: рН в КСl 5,8–6,0; содержание гумуса – 2,5–2,8 %, P_2O_5 – 200–225 и K_2O – 240–255 мг/кг почвы; подвижных форм меди – 1,6–1,8 и цинка 2,4–3,5 мг/кг, водорастворимого бора – 0,28–0,30 мг/кг почвы.

В опыте возделывался лен масличный Сонечны. Предшественник – озимая пшеница.

Схема опыта включала варианты с применением в некорневую подкормку возрастающих доз и сочетаний цинка, меди и бора. Некорневые подкормки льна масличного в фазу «елочки» в вариантах 2–13 проводились неорганическими солями микроэлементов, в вариантах 14–25 – жидкими микроудобрениями МикроСтим.

Фоновые удобрения $N_{60}P_{60}K_{120}$ внесены под предпосевную культивацию в форме мочевины, аммонизированного суперфосфата, хлористого калия. В форме неорганических солей микроудобрений использовали: сернокислую медь с содержанием меди – 25 %, сернокислый цинк с содержанием цинка – 22,7 %, борную кислоту с содержанием бора – 17 %. В качестве комплексонов микроэлементов применяли жидкое микроудобрение МикроСтим-Медь Л с содержанием меди – 78 г/л, МикроСтим-Цинк с содержанием цинка – 80 г/л, МикроСим-Цинк, Медь с содержанием цинка – 50 г/л и меди – 15 г/л, МикроСтим-Цинк, Бор с содержанием цинка – 46 г/л и бора – 30 г/л.

Схема опыта:

Неорганические соли микроэлементов	Жидкие микроудобрения МикроСтим
1. $N_{60}P_{60}K_{120}$ – фон	
2. Фон + $Cu_{0,05}$	14. Фон + $Cu_{0,05}$
3. Фон + $Cu_{0,075}$	15. Фон + $Cu_{0,075}$
4. Фон + $Cu_{0,1}$	16. Фон + $Cu_{0,1}$
5. Фон + $Zn_{0,1}$	17. Фон + $Zn_{0,1}$
6. Фон + $Zn_{0,2}$	18. Фон + $Zn_{0,2}$
7. Фон + $Zn_{0,3}$	19. Фон + $Zn_{0,3}$
8. Фон + $Zn_{0,1}Cu_{0,03}$	20. Фон + $Zn_{0,1}Cu_{0,03}$
9. Фон + $Zn_{0,2}Cu_{0,065}$	21. Фон + $Zn_{0,2}Cu_{0,065}$
10. Фон + $Zn_{0,3}Cu_{0,1}$	22. Фон + $Zn_{0,3}Cu_{0,1}$
11. Фон + $B_{0,05}Zn_{0,08}$	23. Фон + $B_{0,05}Zn_{0,08}$
12. Фон + $B_{0,1}Zn_{0,16}$	24. Фон + $B_{0,1}Zn_{0,16}$
13. Фон + $B_{0,15}Zn_{0,24}$	25. Фон + $B_{0,15}Zn_{0,24}$

В процессе ухода за посевами льна проведена обработка посевов против вредителей по всходам инсектицидом децис экстра (60 мл/га), против сорняков – гербицидами Секатор (125 г/га) и 2М4Х (0,7 л/га).

Погодные условия вегетационных периодов льна масличного в годы проведения исследований различались как температурой, так и количеством выпавших осадков. Вегетационный период 2006 г. по гидротермическим условиям характеризовался как избыточно увлажненный (ГТК – 1,7), но с равномерным выпадением осадков. Гидротермические условия вегетационного периода 2008 г. были близки к среднемноголетним показателям (ГТК – 1,3) и отличались прежде всего неравномерностью выпадения осадков, наибольшее количество которых приходилось на апрель и недостаточное на июнь. В целом для роста и развития льна масличного погодные условия вегетационных периодов в годы исследований были благоприятными.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно полученным данным применение микроэлементов не всегда приводит к значительному накоплению их в семенах или соломе льна масличного, что может быть связано со сложным процессом реутилизации. Можно отметить тенденцию повышения накопления микроэлементов льна от применения их в составе микроудобрений МикроСтим в сравнении с их неорганическими солями (табл. 1).

В фазу бутонизации концентрация меди в растениях льна масличного повышалась от 3,6 до 4,6 мг/кг (на 0,5–1,5 мг/кг) от применения в некорневую подкормку сульфата меди, и от 3,5 до 5,0 мг/кг (на 0,4–1,9 мг/кг) при внесении элемента в составе удобрений МикроСтим в сравнении с фоновым вариантом (3,1 мг/кг). Содержание цинка в биомассе льна в фоновом варианте была на уровне 15,0 мг/кг. Его концентрация в растениях увеличивалась с 16,5 до 23,5 мг/кг (на 1,5–8,5 мг/кг) при внесении сульфата цинка, и с 16,8 до 30,7 мг/кг (на 1,8–15,7 мг/кг) – от цинка

в составе удобрений МикроСтим. Накопление бора в биомассе льна составило 35,7–37,0 мг/кг под влиянием борной кислоты и 36,5–37,9 мг/кг от удобрения МикроСтим-Цинк, Бор, или на 0,2–1,5 мг/кг и 1,0–2,4 мг/кг при фоновом содержании 35,5 мг/кг (табл. 1).

Внесение возрастающих доз микроудобрений в некорневую подкормку в фазу «елочка» растений льна способствовало достоверному повышению содержания меди в семенах – на 1,5–3,2 мг/кг, цинка – на 3,4–8,0 мг/кг, бора – на 2,0–3,5 мг/кг в сравнении с фоновыми вариантами (табл. 1).

Таблица 1

Содержание микроэлементов в растениях льна в фазу бутонизации, семенах и соломе (среднее 2006, 2008 гг.), мг/кг (сухой массы)

Варианты	Неорганические соли микроэлементов			Жидкие микроудобрения МикроСтим		
	Cu	Zn	B	Cu	Zn	B
<i>Фаза бутонизации</i>						
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	3,1	15,0	35,5	3,1	15,0	35,5
Фон + Cu _{0,05}	4,0	–	–	3,7	–	–
Фон + Cu _{0,075}	4,6	–	–	4,1	–	–
Фон + Cu _{0,1}	4,2	–	–	5,0	–	–
Фон + Zn _{0,1}	–	19,3	–	–	23,1	–
Фон + Zn _{0,2}	–	18,4	–	–	20,3	–
Фон + Zn _{0,3}	–	19,1	–	–	17,8	–
Фон + Zn _{0,1} Cu _{0,03}	4,6	19,4	–	3,5	17,7	–
Фон + Zn _{0,2} Cu _{0,065}	3,7	16,5	–	3,9	16,8	–
Фон + Zn _{0,3} Cu _{0,1}	3,6	16,8	–	4,1	21,9	–
Фон + B _{0,05} Zn _{0,08}	–	18,7	35,7	–	26,4	37,0
Фон + B _{0,1} Zn _{0,16}	–	21,1	36,1	–	23,3	36,5
Фон + B _{0,15} Zn _{0,24}	–	23,5	37,0	–	30,7	37,9
HCP ₀₅	1,2	3,0	2,0	1,2	3,0	2,0
<i>Семена/солома</i>						
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	7,8/2,0	32,0/5,4	6,5/19,5	7,8/2,0	32,0/5,4	6,5/19,5
Фон + Cu _{0,05}	8,6/2,1	–	–	9,5/2,6	–	–
Фон + Cu _{0,075}	8,9/1,8	–	–	9,5/2,6	–	–
Фон + Cu _{0,1}	8,2/2,1	–	–	9,3/2,6	–	–
Фон + Zn _{0,1}	–	36,3/3,5	–	–	37,3/4,5	–
Фон + Zn _{0,2}	–	37,0/5,1	–	–	37,3/5,4	–
Фон + Zn _{0,3}	–	38,3/6,6	–	–	39,4/5,7	–
Фон + Zn _{0,1} Cu _{0,03}	9,6/2,1	36,4/5,4	–	11,0/2,5	40,0/5,2	–
Фон + Zn _{0,2} Cu _{0,065}	9,3/2,0	35,1/5,3	–	10,1/2,5	37,8/6,0	–
Фон + Zn _{0,3} Cu _{0,1}	9,4/2,2	35,4/5,1	–	8,4/2,0	36,3/5,2	–
Фон + B _{0,05} Zn _{0,08}	–	38,1/4,8	8,0/19,8	–	38,3/5,6	8,3/20,5
Фон + B _{0,1} Zn _{0,16}	–	36,2/4,9	8,1/20,5	–	39,9/4,4	9,7/22,6
Фон + B _{0,15} Zn _{0,24}	–	34,5/4,8	8,5/20,1	–	35,3/5,5	10,0/23,0
HCP ₀₅	1,5/0,4	3,4/1,1	1,9/1,7	1,5/0,4	3,4/1,1	1,9/1,7

На содержание меди в семенах наибольшее влияние оказывало совместное применение цинка и меди в любой форме их внесения по сравнению с односторонним внесением этих элементов. В фоновом варианте содержание меди составляло 7,8 мг/кг. При совместном внесении данных элементов содержание меди в семенах по вариантам колебалось в пределах 8,4–11,0 мг/кг, при некорневой подкормке только медью – 8,2–9,5 мг/кг. Максимальное накопление меди в льносеменах (11,0 мг/кг) было отмечено в варианте с внесением удобрения МикроСтим-Цинк, Медь в дозе $Zn_{0,1}Cu_{0,03}$ кг д. в./га, что выше фонового варианта на 41,0 %. Содержание цинка в семенах льна в фоновом варианте составило 32,0 мг/кг. Максимальная концентрация цинка в семенах (39,9 и 40,0 мг/кг) отмечена при совместном внесении удобрения МикроСтим-Цинк, Бор в дозе $B_{0,1}Zn_{0,16}$ и МикроСтим-Цинк, Медь в дозе $Zn_{0,1}Cu_{0,03}$.

Содержание бора в фоновом варианте составляло 6,5 мг/кг. С внесением возрастающих доз бора в некорневую подкормку содержания элемента в семенах возрастало с 8,3 до 10,0 мг/кг при внесении удобрения МикроСтим-Цинк, Бор и с 8,0 до 8,5 мг/кг при совместном применении сульфата цинка и борной кислоты.

Содержание меди в соломе льна в фоновом варианте составило 2,0 мг/кг (табл. 1). Некорневая подкормка льна медью максимально повышала содержание данного элемента в соломе до 2,6 мг/кг сухой массы, при более высоких значениях в вариантах с внесением удобрения МикроСтим-Медь. Содержание цинка в соломе по вариантам опыта колебалось от 3,5 до 6,6 мг/кг, при содержании в фоновом варианте – 5,4 мг/кг. Накопление бора в соломе в вариантах с внесением борной кислоты и сульфата цинка по вариантам опыта составляло 19,8–20,5 мг/кг, с применением бора в составе удобрения МикроСтим-Цинк, Бор – 20,5–23,0 мг/кг, при содержании в фоновом варианте ($N_{60}P_{60}K_{120}$) – 19,5 мг/кг.

Следует отметить, что по распределению микроэлементов между генеративной и вегетативной частями урожая льна медь и цинк больше накапливались в семенах, бор – в соломе (табл. 1).

Оценку обеспеченности питанием растений можно проводить не только по концентрации отдельных элементов, но и по их соотношению, поскольку это несет дополнительную информацию об особенностях питания растений. Следует отметить, что по степени накопления микроэлементов в растении их можно расположить в следующий убывающий ряд $B > Zn > Cu$ (рис. 1).

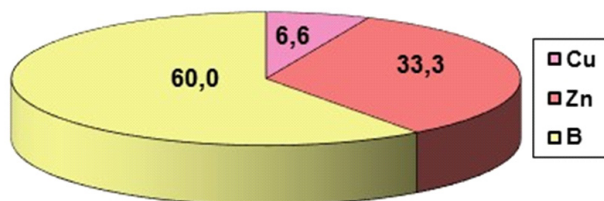


Рис. 1. Соотношение микроэлементов в фазу бутонизации, %

Потребность сельскохозяйственных культур в элементах питания характеризуется выносом их с урожаем основной и побочной продукции.

Проведенные исследования позволили определить вынос элементов питания на единицу площади в зависимости от вида и дозы вносимых микроудобрений и

определить закономерности распределения микроэлементов между генеративной и вегетативной частью урожая льна. В среднем за 2 года исследований применение микроудобрений способствовало возрастанию общего выноса всех элементов питания. Общий вынос микроэлементов урожаем льна был больше в вариантах, где применяли жидкие микроудобрения МикроСтим. Наименьшие значения выноса отмечались в фоновом варианте опыта (табл. 2).

Таблица 2

Общий вынос микроэлементов урожаем льна масличного при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве, г/га (среднее 2006, 2008 гг.)

Варианты	Неорганические соли микроэлементов			Жидкие микроудобрения МикроСтим		
	Cu	Zn	B	Cu	Zn	B
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	21,8	80,7	74,5	21,8	80,7	74,5
Фон + Cu _{0,05}	26,9	–	–	31,3	–	–
Фон + Cu _{0,075}	27,0	–	–	32,5	–	–
Фон + Cu _{0,1}	26,8	–	–	30,6	–	–
Фон + Zn _{0,1}	–	98,5	–	–	110,7	–
Фон + Zn _{0,2}	–	103,6	–	–	114,7	–
Фон + Zn _{0,3}	–	113,3	–	–	113,5	–
Фон + Zn _{0,1} Cu _{0,03}	31,2	109,2	–	37,8	123,4	–
Фон + Zn _{0,2} Cu _{0,065}	31,0	108,5	–	33,6	113,8	–
Фон + Zn _{0,3} Cu _{0,1}	31,2	105,6	–	27,3	106,1	–
Фон + B _{0,05} Zn _{0,08}	–	110,5	89,5	–	112,9	91,6
Фон + B _{0,1} Zn _{0,16}	–	107,0	94,6	–	122,5	108,5
Фон + B _{0,15} Zn _{0,24}	–	100,2	90,6	–	105,7	105,4

Вынос меди соломой и семенами льна масличного на фоновом варианте составил 21,8 г/га. Применение микроудобрений, содержащих медь, обеспечило повышение выноса этого элемента с семенами и соломой льна при внесении сульфата меди до 26,8–31,2 г/га (на 22,9–43,1 %), при некорневой подкормке удобрениями МикроСтим-Медь, МикроСтим-Цинк, Медь – до 27,3–37,8 г/га (на 25,2–73,4 %). При совместном применении меди и цинка в любой форме их внесения, вынос меди урожаем льна характеризовался более высокой величиной по сравнению с вариантами, где вносилась только медь.

Вынос льнопродукцией цинка в 3,8 раза больше, чем меди (фоновый вариант). На фоновом варианте общий вынос элемента составил 80,7 г/га, по вариантам опыта при внесении сульфата цинка значения колебались от 98,5 до 113,3 г/га, при внесении удобрений МикроСтим-Цинк, Медь и МикроСтим-Цинк, Бор – от 105,7 до 123,4 мг/кг. Применение сульфата цинка повышало общий вынос элемента по сравнению с фоновым вариантом на 22,1–40,4 %, в составе удобрений МикроСтим – на 31,0–52,9 %. Наибольший вынос цинка (123,4 г/га) отмечен при внесении удобрения МикроСтим-Цинк, Медь в дозе Zn_{0,1}Cu_{0,03} кг д. в./га и МикроСтим-Цинк, Бор в дозе B_{0,1}Zn_{0,16} кг д. в./га.

Вынос бора урожаем льна в 3,0 раза выше, чем меди и равнозначен цинку (фоновый вариант). На фоновом варианте вынос бора составил 74,5 г/га. Некор-

невое внесение бора увеличило общий вынос элемента на 20,1–27,0 % (до 89,5–94,6 мг/кг) от применения борной кислоты и на 23,0–45,6 % (с 91,6 до 108,5 мг/кг) от применения удобрений МикроСтим-Цинк, Бор. Наибольший вынос бора отмечен при внесении удобрения МикроСтим-Цинк, Бор в дозе $B_{0,1}Zn_{0,16}$ кг д. в./га.

Что касается конечного перераспределения элементов питания между генеративной и вегетативной частью урожая льна, то на формирование урожая семян используется основное количество меди и цинка, а основная доля бора накапливается в вегетативной части (рис. 2).

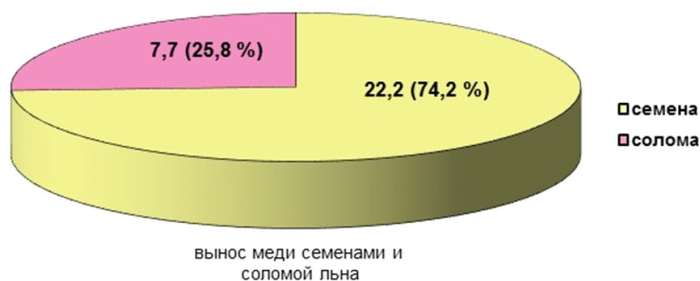


Рис. 2. Вынос микроэлементов с семенами и соломой льна, г/га (среднее за 2006, 2008 гг.)

Причем вынос цинка семенами льна в 4,1 раза больше по сравнению с выносом меди и в 4,4 раза выше выноса бора. Согласно полученным данным соотношение распределения меди между семенами и соломой льна составляет 1:0,35, цинка – 1:0,20, бора – 1:3,60.

Таким образом, основная часть цинка (83,1 %) и меди (74,2 %) выносятся семенами льна масличного, большая часть бора (78,1 %) – соломой льна. При этом применение микроудобрений МикроСтим увеличило общий вынос меди по сравнению с внесением их в неорганической форме на 2,3–30,3 %, цинка – на 8,9–12,5 % (за исключением вариантов с дозой микроэлементов – $Zn_{0,3}Cu_{0,1}$), бора – на 2,8–18,7 %.

По результатам исследований при внесении исследуемых микроудобрений в средних и повышенных дозах вынос их урожаем льна не превышает их поступление, что свидетельствует о компенсации вносимых микроэлементов с некорневой подкормкой (табл.3).

Таблица 3

Соотношение поступления микроэлементов к выносу урожаем льна масличного при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве, г/га (среднее 2006, 2008 гг.)

Варианты	Неорганические соли микроэлементов			Жидкие микроудобрения МикроСтим		
	Cu	Zn	B	Cu	Zn	B
$N_{60}P_{60}K_{120}$ – фон	–	–	–	–	–	–
Фон + $Cu_{0,05}$	1:0,54	–	–	1:0,63	–	–
Фон + $Cu_{0,075}$	1:0,36	–	–	1:0,44	–	–
Фон + $Cu_{0,1}$	1:0,27	–	–	1:0,31	–	–

Варианты	Неорганические соли микроэлементов			Жидкие микроудобрения МикроСтим		
	Cu	Zn	B	Cu	Zn	B
Фон + Zn _{0,1}	–	1:0,99	–	–	1:1,11	–
Фон + Zn _{0,2}	–	1:0,52	–	–	1:0,58	–
Фон + Zn _{0,3}	–	1:0,38	–	–	1:0,38	–
Фон + Zn _{0,1} Cu _{0,03}	1:1,04	1:1,10	–	1:1,26	1:1,24	–
Фон + Zn _{0,2} Cu _{0,065}	1:0,48	1:0,55	–	1:0,52	1:0,57	–
Фон + Zn _{0,3} Cu _{0,1}	1:0,32	1:0,36	–	1:0,28	1:0,36	–
Фон + B _{0,05} Zn _{0,08}	–	1:1,39	1:1,79	–	1:1,42	1:1,84
Фон + B _{0,1} Zn _{0,16}	–	1:0,67	1:0,95	–	1:0,77	1:1,09
Фон + B _{0,15} Zn _{0,24}	–	1:0,42	1:0,61	–	1:0,44	1:0,71

Превышение отмечено только в низких дозах внесения меди (0,03 кг/га), цинка (0,08–0,1 кг/га) и бора (0,05 кг/га).

ВЫВОДЫ

1. При возделывании льна масличного на дерново-подзолистой супесчаной почве установлено положительное влияние меди, цинка и бора на накопление биомассы растениями льна в фазу бутонизации, с преимуществом их внесения в составе жидких микроудобрений МикроСтим. При внесении жидких микроудобрений МикроСтим в некорневые подкормки льна масличного отмечается более интенсивное накопление бора, цинка и меди в семенах и соломе в сравнении с неорганическими солями.

2. Основная часть цинка (83,1 %) и меди (74,2 %) выносятся семенами льна масличного, большая часть бора (78,1 %) – солома льна. Применение микроудобрений МикроСтим увеличило общий вынос меди по сравнению с внесением их в неорганической форме на 2,3–30,3 %, цинка – на 8,9–12,5 % (за исключением вариантов, с дозой микроэлементов Zn_{0,3}Cu_{0,1}), бора – на 2,8–18,7 %.

3. При возделывании льна масличного на дерново-подзолистой супесчаной почве с низкой обеспеченностью микроэлементами на фоне минеральных удобрений (N₆₀P₆₀K₁₂₀) внесение во некорневую подкормку исследуемых микроудобрений способствовало компенсации их выноса с урожаем продукции по мере повышения дозы их внесения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Церлинг, В. В.* Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник / В. В. Церлинг. – М., 1990. – 235 с.
2. *Дьяков, А. Б.* Физиология и экология льна / А. Б. Дьяков. – ВНИИМК. – Краснодар, 2006. – 214 с.
3. *Куркаев, В. Т.* Агрохимия / В. Т. Кукарев, А. Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИГШ «Адыгея», 2000. – 252 с.
4. *Маковский, Н.* Что необходимо для выращивания масличного льна / Н. Маковский, В. П. Самсонов // Агроекономика. – 2004. – № 9. – С. 44–45.

5. *Бекбутаев, М. Б.* Лен масличный в Узбекистане / М. Б. Бекбутаев // Масличные культуры. – 2005. – № 3. – С. 81–96.

6. *Цыганов, А. Р.* Микроэлементы и микроудобрения: учеб. пособие / А. Р. Цыганов, Т. Ф. Персикова, С. Ф. Реуцкая. – Минск, 1998. – 122 с.

7. *Дридигер, В. К.* Лен масличный на Ставрополье: монография / В. К. Дридигер, А. Н. Есаулко, Г. Р. Дорожко. – Ставрополь: Параграф, 2013. – 148 с.

INFLUENCE OF VARIOUS FORMS AND DOSES OF MICROFERTILIZERS ON THE ACCUMULATION AND REMOVAL OF MICROELEMENTS BY PLANTSOIL FLAX

E. N. Pukalova

Summary

The article presents the results of field experiments on the accumulation and removal of micronutrients by oil flax plants in foliar top dressing in the form of inorganic salts and the new liquid microfertilizer Mi-croStim. Application of microfertilizer MicroStim contributed to a more intensive accumulation of boron, zinc and copper in seeds and straw of flax in comparison with inorganic salts, increased the total removal of copper by 2,3–30,3 %, zinc – by 8,9–12,5 % (for except for with a dose $Zn_{0,3} Cu_{0,1}$), boron – 2,8–18,7 %.

Поступила 08.05.2020

УДК 631.825:633.521

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ С ДОБАВКАМИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПОСТУПЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА В ПОЧВУ И РАСТЕНИЯ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО, УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЕМЯН

Г. В. Пироговская, Ю. Г. Милоста

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

ВВЕДЕНИЕ

Содержание железа в земной коре достигает 5,1 %. Оно занимает четвертое место после кислорода (49,4 %), кремния (28,6 %), и алюминия (8,32 %), присутствует почти во всех горных породах и составляет в кислых породах 2–3 % (граниты), в основных – от 7–8 до 12–14 % (базальт, габбро, диабаз и др.). В почве железо присутствует в виде Fe^{+2} и Fe^{+3} , что обусловлено почвенными режимами и кислотностью почвы. В аэробных условиях оно трехвалентно, а в анаэробных – двухвалентно. Fe_2O_3 – окисел, практически не растворимый в почвенных водах, а FeO – наиболее растворимое и подвижное соединение [1, 2].

Железо является обязательным компонентом всех живых организмов, необходимым для кислородного обмена и окислительных процессов. Известно, что железо признано одним из важных элементов в жизнедеятельности растений. Существуют различные мнения относительно потребления растениями соединений железа. Если в почвенных процессах железо играет роль важнейшего макроэлемента, то для растений оно является микроэлементом. Существует гипотеза, что растения поглощают водорастворимое и обменное железо. Реакция растений как на токсическое действие железа, так и на его недостаточность весьма изменчива и зависит от их генотипа и вида. При избыточных концентрациях Fe образует хелатоподобные комплексы с обычными метаболитами, нарушая нормальный обмен веществ, взаимодействует с клеточными мембранами, изменяя их проницаемость и вызывая разрыв. На поглощение и перенос железа в растительных органах влияет ряд факторов, из которых наибольшее значение имеют pH, содержание кальция и фосфора, а также соотношение некоторых тяжелых металлов. Растения, хорошо обеспеченные питательными веществами, в частности, кальцием и кремнием, могут выдерживать воздействие очень высоких концентраций железа. Установлено, что содержание железа в растениях исчисляется тысячами мг/кг сухого вещества, причем в многолетних частях растений аккумулируется большая часть элемента. Органами-концентраторами железа можно назвать корни и кору [3, 4].

Установлено, что хлороз растений связан с карбонатностью почв, вследствие снижения поступления железа в растения, однако развитие хлороза обусловлено целым комплексом факторов и прежде всего взаимодействием железа с другими макро- и микроэлементами, реакцией почвенной среды. Отдельными исследователями установлено, что избыток фосфора, меди, цинка, молибдена вызывает осаждение железа и снижает его поступление в растение [5, 6]. Низкие концентрации в почвах меди, магния, калия благоприятно сказываются на поступлении железа в растение и даже стимулируют его, а повышенные снижают [7].

Одни исследователи считают, что железо поступает в растение только в 2-валентной форме, при этом корни растений способствуют переводу в прикорневой зоне окисного железа в закисное, другие пришли к выводу, что при недостатке железа в питательной среде у растения наступает стрессовое состояние, начинают выделяться продукты кислой природы, способствующие переходу окисных форм железа в закисное [8].

Железо в обменной форме поглощается растениями и предохраняет их от хлороза. Железо-органические комплексы снижают необратимое связывание фосфора и обеспечивают лучшее фосфорное питание растений. Наиболее доступны для растений гумусо-железистые соединения, находящиеся в виде хелатов [9, 10]. Например, К. В. Дьяконова установила, что железо гумусовых соединений теряет положительный заряд, происходит его осаждение в виде гидроокисей [9]. Другие считают, что хелаты поглощаются растениями без предварительного расщепления [10].

Известно применение различных железосодержащих соединений на 6 хозяйственно-ценных сортах льна, их влияние на степень проявления хлороза, подкисление среды, на дефицит Fe и поглощение Fe из растворов с разной концентрацией (питательная смесь Стейнберга с добавлением микроэлементов по Хоглэнду-Арнону, pH 6,0). Установлено, что степень проявления хлороза и на-

копление железа корнями растений льна зависит от сорта и содержания железа в водном растворе [11].

Имеются сведения о необходимости изучения соотношений между железом и марганцем у растений льна. В вегетационных условиях с сортами льна (*Linum usitatissimum* L.): Clark (I) и Culbert (II) на карбонатной почве (Calciaquolls: pH 8,1–8,4, 1,7–1,8 % органического C, с содержанием ДТРА-растворимых Fe и Mn – 6,2–6,4 и 4,7–6,6 мг/кг почвы соответственно) изучали влияние внесения Fe – ЭДДГА на поступление в растения Fe и Mn и их распределение по органам растений, влияние температуры почвы на рост растений и поглощение ими Fe и Mn. Установлено, что без внесения Fe признаки хлороза отмечались через 30 дней после посева у сорта II, но при температуре 15°C отсутствовали. У сорта II накапливалось Mn меньше, а железа больше, особенно в листьях в молодом возрасте, и это различие усиливалось при внесении Fe. При выращивании льна в вегетационных опытах с внесением в почву Fe в дозе 0 (контроль), 0,5 и 2,0 мг/кг почвы в форме Fe – ЭДДГА в надземной части льна значительно повышалось содержание Mn, незначительно снижалось содержание Zn и эндогенного Fe [12].

Имеются данные, что для мобилизации Mn и Fe из почв разного уровня кислотности двудольные растения используют в основном механизм химического восстановления, а однодольные (менее зависимые от pH) – органическое комплексообразование Mn (II)-Fe (III). Обнаружена положительная корреляция между фракциями растворимых Mn и Fe в ризосфере, как и между скоростями их поглощения, так как механизм мобилизации обоих элементов растениями близок [13].

Приведенные данные свидетельствуют о том, что физиологические функции железа в растениях объясняются двумя важными свойствами: способностью образовывать хелатные комплексы и способностью изменять валентность. Железо поглощается растениями как в Fe^{+2} , в виде ионов (Fe), так и в виде хелатных форм.

Однако в научной литературе до настоящего времени недостаточно информации о роли железа в питании растений, механизма его потребления различными сельскохозяйственными культурами, дефиците и токсичности его для растений, а также его влиянии на урожайность и качество продукции, заболеваемость растений. Класс опасности железа на здоровье человека и состояние экосистем не предусмотрен, также лимитирующий показатель вредности не определен.

Таким образом, цель исследований – изучить влияние комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений на поступление железа в почву и растения льна масличного, определение их влияния на урожайность, масличность и заболеваемость растений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследований – сорт льна масличного Солнечный, который возделывался в полевых опытах (2006–2008 гг.) на дерново-подзолистой супесчаной, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,5 м моренным суглинком, почве (опытное поле УО «ГГАУ» (д. Зарица») Гродненского района Гродненской области).

Предмет исследований: удобрения для льна масличного – комплексные (NPK) с добавками микроэлементов (B и Zn) – базовый вариант; NPK с B, Zn, Fe (в форме

сульфата железа); NPK с В, Zn, Fe (в форме хелатов – X¹, X², X³); NPK с В, Zn, Fe (X²) и регуляторами роста растений.

Все модифицирующие добавки (В, Zn, Fe, регуляторы роста растений) включены в состав гранулированных комплексных NPK. Удобрения предназначенные для основного внесения в почву.

В качестве железосодержащих соединений применяли:

- сульфат железа – неорганическое химическое соединение, соль Fe₂(SO₄)₃, растворяется в воде и этаноле (Fe = 27,9 %);
- хелат железа 1 (X¹) – водорастворимое соединение, состоящее из водорастворимого комплекса Fe – DTPA (Fe = 11,0 %);
- хелат железа 2 (X²) – водорастворимое соединение, состоящее из водорастворимого комплекса D-FE (Fe = 13,0 %);
- хелат железа 3 (X³) (Fertika) – водорастворимое соединение, состоящее из водорастворимого комплекса EDT (Fe = 11,0 %).

Марки комплексных удобрений с модифицирующими добавками следующие: NPK = 13:11,5:21 и NPK = 12:12,5:19. Изучение влияния железосодержащих соединений на некоторые показатели льна масличного проводили (2006–2008 гг.) по следующей схеме:

1. Контроль без удобрений
2. N₆₀P₅₂K₉₆ с В и Zn – базовый вариант
3. N₆₀P₅₂K₉₆ с В, Zn, Fe – 0,10 %) – сульфат железа
4. N₆₀P₅₂K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат¹ – 0,05 %)
5. N₆₀P₅₂K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат¹ – 0,10 %)
6. N₆₀P₅₂K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат¹ – 0,15 %)
7. N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат² – 0,035 %)
8. N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат² – 0,07 %)
9. N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат² – 0,07 %), Эпином
10. N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат² – 0,07 %), Гидрогуматом
11. N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат³, – 0,10 %)
12. N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат³ – 0,15 %)

Площадь делянок в полевом опыте составляла – 48 (2006), учетная площадь делянок – 35 м² и 42 м² (2007–2008 гг.), учетная площадь делянок – 30 м², повторность вариантов – 4-кратная.

Агрохимические показатели пахотного слоя дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы перед закладкой полевых опытов в 2006–2008 гг. приведены в табл. 1.

Таблица 1

Агрохимическая характеристика пахотного горизонта дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы перед закладкой полевых опытов (среднее по вариантам), 2006–2008 гг.

Год исследований	рН	Гумус, %	Содержание элементов, мг/кг почвы								
			P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Fe _{общ}	Mn
2006	6,0	1,67	165	195	700	125	1,2	2,1	0,69	71,4	1,8
2007	5,8	1,51	158	143	717	109	0,8	1,7	0,68	46,0	1,6
2008	6,1	1,70	181	197	1213	237	1,2	1,9	0,60	43,0	1,6

Данные, приведенные в табл. 1, свидетельствуют о том, что исследования по агрохимической эффективности комплексных удобрений с модифицирующими добавками при возделывании льна масличного проводили на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве со слабокислой и близкой к нейтральной реакцией почвенной среды, с повышенным содержанием подвижного P_2O_5 и средним содержанием K_2O , низким и повышенным содержанием обменного кальция, средним и повышенным содержанием магния обменного, низким содержанием подвижной меди и подвижного цинка, средним содержанием бора, низким содержанием подвижного марганца, подвижного железа, со средним содержанием гумуса [14].

Уход за посевами льна масличного в технологии его возделывания был следующий: семена льна перед посевом обрабатывали витаваксом 200 ФФ, 34 % в. к. с. (2,0 л/т); сев был проведен сеялкой СПУ-Л с междурядьями 10 см; в фазе «елочка» проведена химическая прополка льна против однолетних сорняков гербицидами – агритокс (1,0 л/га) + лонтрел – 0,2 л/га); через 5 дней – против злаковых сорняков гербицидом фюзилад в дозе 0,9 л/га и против льняной блошки – препаратом БИ-58 – 0,75 л/га).

Уборка льна масличного осуществлялась: 2006 г. (слабозасушливый вегетационный период) – 26 июля; 2007 г. (оптимальный) – 4 августа и 2008 г. (влажный) – 5 сентября.

Аналитическая обработка экспериментальных данных, полученных в опыте, выполнялась по общепринятым методикам.

Почвенные образцы анализировали в соответствии с общепринятыми методиками:

- рН в КСl суспензии – ЦИНАО ГОСТ 26483-85;
- подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову, в модификации ЦИНАО ГОСТ 26207-91;
- обменные катионы (Ca^{++} , Mg^{++}) – по ЦИНАО ГОСТ 26487-85;
- содержание гумуса – по методу ЦИНАО ГОСТ 26213-91;
- подвижного бора – по Бергеру и Труогу в модификации ЦИНАО, ГОСТ Р 50688-94; (водная вытяжка)
- Си – «Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства»; 2-е издание МСХ РФ, ЦИНАО (утв. 10.03.1992 г.). (вытяжка 1,0 М НСl);
- цинк – «Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства»; 2-е издание (переработанное и дополненное) Министерство сельского хозяйства РФ. ЦИНАО. Утв. 10.03.1992 г. (вытяжка 1,0 М НСl);
- марганец – по методу ЦИНАО ГОСТ 26486-85 (в вытяжке 1 М КСl);
- содержание подвижных соединений двух-, трехвалентного железа в почвах – ГОСТ 27395-87 «Метод определения подвижных соединений двух-, трехвалентного железа по Веригиной-Аринушкиной»; (вытяжка 0,1 н H_2SO_4);
- содержание железа в растительных пробах – ГОСТ 27998-88 «Корма растительные»;
- технология возделывания льна масличного осуществлялась в соответствии с отраслевыми регламентами «Возделывание льна масличного на семена» [15].

Статистическая обработка результатов исследований проведена по Б. А. Доспехову [16] с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на ПЭВМ, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы по годам и блокам.

Расчет средней НСР за два-три года исследований производился по М. Ф. Дембицкому [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика погодных условий в период возделывания льна масличного (2006–2008 гг.) приведена в табл. 2.

Таблица 2

Сумма положительных температур воздуха, количество атмосферных осадков и гидротермический коэффициент за период май–сентябрь 2006–2008 гг. (УО «ГТАУ» (д. Зарица) Гродненского района Гродненской области)

Год	Показатель	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	За 4–8 месяц
2006	Осадки, мм	22,0	37,0	51,0	11,0	155,0	254,0
	Температура, °С	7,2	13,1	16,5	21,4	17,7	17,2
	Сумма температур >10 °С	–	406,1	495,0	663,4	548,7	2113,2
	ГТК	–	0,91	1,03	0,17	2,82	1,20
2007	Осадки, мм	19,0	52,0	74,0	13,0	25,0	282,0
	Температура, °С	7,5	14,1	18,2	17,8	18,8	17,2
	Сумма температур >10 °С	–	437,1	546,0	551,8	582,8	2117,7
	ГТК	–	1,19	1,36	2,37	0,43	1,33
2008	Осадки, мм	38,0	87,0	45,0	108,0	66,0	306,0
	Температура, °С	8,9	12,0	16,7	17,9	17,9	16,1
	Сумма температур >10 °С	–	372,0	501,0	554,9	554,9	1982,8
	ГТК	–	2,34	0,9	1,95	1,19	1,54
Средне-годовалое	Осадки, мм	40,0	51,0	76,0	77,0	66,4	310,0
	Температура, °С	6,3	12,9	16,2	17,8	16,7	15,9
	Сумма температур >10 °С	–	399,9	486,0	551,8	517,7	1955,4
	ГТК	–	1,28	1,34	1,40	1,28	1,59

Данные распределения атмосферных осадков за вегетационный период в 2006 г. показывают, что осадки были распределены неравномерно, их количество при возделывании льна масличного изменялось по месяцам в широких пределах: от 11,0 мм (июль) до 155,0 мм (август). Температура воздуха во все месяцы наблюдений была выше среднегодовой, при этом была максимальной в июле – 21,4 °С, что в 1,2 раза выше среднегодового значения. За вегетационный период с мая по август ГТК по месяцам изменялся в пределах от 0,17 (июль) до 2,82 (август), а в среднем за вегетационный период (5–8-й месяц) ГТК составил 1,20 при среднегодовом – 1,59. Вегетационный период возделывания льна масличного в 2006 г. считался как слабозасушливый.

Что касается выпадения атмосферных осадков и температуры воздуха по месяцам в период возделывания льна масличного в 2007 г., то эти показатели также отличались от среднемноголетних значений. Минимальное количество атмосферных осадков выпадало в июле (13,0 мм), максимальное – в мае (52,0 мм). За период май–август сумма осадков составила 282,0 мм, при среднемноголетних 310,0 мм. ГТК по месяцам изменялся в пределах от 0,43 (август) до 2,37 (июль), а за 5–8-й месяц составил 1,33 и вегетационный период по влагообеспеченности льна масличного характеризовался как оптимальный.

При возделывании льна масличного в 2008 г. погодные условия отличались от среднемноголетних показателей: атмосферных осадков выпало в мае – в 1,7 раза больше, июне – в 1,7 раза меньше, в июле – в 1,4 раза больше, а в августе – примерно на одном уровне. Сумма осадков за период май–август составила 310,0 мм. Все месяцы, кроме мая и июня, были теплее среднемноголетних. ГТК по месяцам изменялся в пределах от 0,90 (июнь) до 2,34 (май), за 5–8-й месяц составил 1,54. Вегетационный период возделывания льна масличного в 2008 г. был влажным.

В табл. 3 представлены данные по содержанию общего и 2-валентного железа (Fe^{+2}) в пахотном горизонте дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы перед закладкой опытов и перед уборкой льна масличного. Установлено, что в 2006 г. перед закладкой полевого опыта со льном масличным содержание общего железа в пахотном горизонте исследуемой почвы находилось в пределах от 63,7 до 77,2 мг/кг почвы, а процент 2-валентного железа, которое доступно для растений, составлял, в зависимости от вариантов опыта, от 7,9 до 16,3 %, в 2007 г. – от 33,3 до 64,0 мг/кг почвы, или 10,2–33,0 %, в 2008 г. – от 33,8 до 59,8 мг/кг почвы, или 10,1–30,0 %.

Таблица 3

Содержание общего и 2-валентного железа в пахотном горизонте дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы, 2006–2008 гг.

Вариант опыта	Содержание общего железа в пахотном горизонте почвы, мг / кг почвы								
	2006 г.			2007 г.			2008 г.		
	перед посе- вом	перед убор- кой	+,- к исх.	перед посе- вом	перед убор- кой	+,- к исх.	перед посе- вом	перед убор- кой	+,- к исх.
А пах									
Контроль без удоб- рений	<u>69,6*</u> 7,2**	<u>72,4</u> 7,8	<u>2,8</u> 0,6	<u>60,7</u> 7,8	<u>71,2</u> 7,2	<u>10,5</u> -0,6	<u>44,6</u> 7,9	<u>70,3</u> 7,3	<u>25,7</u> -0,6
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В и Zn базовый вариант	<u>67,3</u> 6,5	<u>68,1</u> 8,6	<u>0,8</u> 2,1	<u>40,2</u> 6,5	<u>65,3</u> 8,6	<u>25,1</u> 2,1	<u>33,8</u> 6,6	<u>46,7</u> 8,6	<u>12,9</u> 2,0
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe 0,10 %) сульфат железа	<u>63,7</u> 6,5	<u>74,5</u> 6,7	<u>10,8</u> 0,2	<u>64,0</u> 6,5	<u>75,0</u> 6,2	<u>11,0</u> -0,3	<u>43,5</u> 6,6	<u>74,1</u> 7,3	<u>30,6</u> 0,7
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат1 0,05 %)	<u>77,2</u> 6,1	<u>84,2</u> 7,4	<u>7,0</u> 1,3	<u>33,3</u> 6,1	<u>48,3</u> 7,5	<u>15,0</u> 1,4	<u>59,2</u> 6,0	<u>60,4</u> 7,3	<u>1,2</u> 1,3
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат1 0,10 %)	<u>72,1</u> 9,7	<u>87,4</u> 6,1	<u>15,3</u> -3,6	<u>58,7</u> 9,7	<u>59,2</u> 6,2	<u>0,5</u> -3,5	<u>44,6</u> 9,8	<u>67,1</u> 6,0	<u>22,5</u> -3,8
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат1 0,15 %)	<u>74,5</u> 7,7	<u>89,3</u> 9,1	<u>14,8</u> 1,4	<u>44,1</u> 7,8	<u>67,5</u> 9,0	<u>23,4</u> 1,2	<u>59,8</u> 7,7	<u>53,8</u> 9,2	<u>-6,0</u> 1,5
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат2 0,035 %)	<u>76,4</u> 9,7	<u>85,1</u> 6,5	<u>8,7</u> -3,2	<u>59,3</u> 9,7	<u>54,2</u> 6,4	<u>-5,1</u> -3,3	<u>42,8</u> 9,8	<u>61,2</u> 6,6	<u>18,4</u> -3,2

Вариант опыта	Содержание общего железа в пахотном горизонте почвы, мг / кг почвы								
	2006 г.			2007 г.			2008 г.		
	перед посе- вом	перед убор- кой	+,- к исх.	перед посе- вом	перед убор- кой	+,-к исх.	перед посе- вом	перед убор- кой	+,-к исх.
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² 0,07 %)	<u>72.2</u> 9,1	<u>82.5</u> 7,5	<u>10.3</u> -1,6	<u>42.3</u> 9,1	<u>62.2</u> 7,8	<u>19.9</u> -1,3	<u>34.4</u> 9,2	<u>42.4</u> 7,3	<u>8.0</u> -1,9
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² 0,07 %), Эпином	<u>65.3</u> 6,5	<u>78.4</u> 6,0	<u>13.1</u> -0,5	<u>43.2</u> 6,4	<u>65.3</u> 6,0	<u>22.0</u> -0,4	<u>33.8</u> 6,6	<u>72.9</u> 6,0	<u>39.1</u> -0,6
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² 0,07 %), Гидрогуматом	<u>72.4</u> 7,8	<u>84.8</u> 7,8	<u>12.4</u> 0	<u>33.3</u> 7,8	<u>71.2</u> 7,8	<u>37.7</u> 0	<u>36.4</u> 7,9	<u>51.0</u> 7,9	<u>13.7</u> 0
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ³ , 0,10 %)	<u>70.7</u> 11,5	<u>78.3</u> 5,8	<u>7.6</u> -5,7	<u>33.9</u> 11,2	<u>43.4</u> 6,2	<u>9.1</u> -5,0	<u>39.3</u> 11,8	<u>47.7</u> -5,4	<u>8.4</u> -6,4
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ³ 0,15 %)	<u>75.4</u> 6,2	<u>92.1</u> 3,8	<u>16.7</u> -24	<u>38.8</u> 6,5	<u>38.3</u> 4,2	<u>-0.5</u> -2,3	<u>43.5</u> 6,0	<u>69.3</u> 3,4	<u>25.0</u> -2,6
НСР ₀₅	<u>11.9</u> 0,35	<u>14.7</u> 0,46	-	<u>11.4</u> 0,22	<u>13.5</u> 0,61	-	<u>11.5</u> 0,21	<u>12.5</u> 0,60	-

* В числителе – содержание общего железа.

** В знаменателе – двухвалентного (Fe⁺²).

Перед уборкой льна масличного в условиях слабозасушливого периода 2006 г. содержание Fe⁺² составляло от 4,1 до 12,6 % от общего железа, в 2007 г. при оптимальных условиях – от 8,3 до 15,5 %, в 2008 г. в условиях влажного периода – от 4,9 до 18,4 %.

Выявлена также закономерность, что в варианте с внесением комплексного удобрения N₆₀P₅₂K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат¹, 0,10 %), а также комплексного N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат², 0,07 %), в том числе и с регуляторами роста растений (Гидрогуматом и Эпином) перед уборкой содержание двухвалентного железа снижалось в большей степени, чем с включением железа в удобрение в минимальных и максимальных количествах. Это, по-видимому, связано с максимальным потреблением железа растениями, так как в этих вариантах получена и более высокая урожайность семян льна масличного (табл. 4).

Таблица 4

Влияние комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений на урожайность льна масличного на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, 2006–2008 гг.

Вариант опыта	Урожайность семян льна масличного, ц/га					
	2006 г.	2007 г.	2008 г.	Среднее, за 2006–2008 гг.	Прибавка к контролю	+,- от Fe
Контроль без удобрений	4,8	5,4	5,6	5,3	-	-
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В и Zn – базовый вариант	9,3	9,4	13,4	10,7	5,4	-
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe – 0,10 %) – сульфат железа	9,3	9,4	14,8	11,2	5,9	0,5
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,05 %)	9,6	9,5	14,5	11,2	5,9	0,5

Вариант опыта	Урожайность семян льна масличного, ц/га					
	2006 г.	2007 г.	2008 г.	Среднее, за 2006–2008 гг.	Прибавка к контролю	+,- от Fe
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,10 %)	10,6	10,2	15,6	12,1	6,8	1,4
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,15 %)	10,1	9,6	14,2	11,3	6,0	0,6
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,035 %)	9,1	11,5	16,1	12,2	6,9	1,5
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,07 %)	10,0	12,5	17,8	13,4	8,1	2,7
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,07 %), Эпином	9,4	16,5	21,2	15,7	10,4	5,0* 2,3
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,07 %), Гидрогуматом	8,4	19,0	22,8	16,7	11,4	6,0** 3,3
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ³ , – 0,10 %)	10,0	12,5	18,5	13,7	8,4	3,0
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ³ – 0,15 %)	8,2	10,7	14,6	11,2	5,9	0,5
Среднее по вариантам	9,1	11,4	15,8	12,1	7,4	2,2
НСП ₀₅	0,92	1,05	1,31	0,64	–	–

* В числителе – прибавка от железа и регулятора роста растений Эпин, в знаменателе – от Эпина, включенных в состав комплексного удобрения NPK с В, Zn, Fe (хелат², 0,07 %).

** От железа и регулятора роста растений Гидрогумат и от Гидрогумата соответственно.

Данные, приведенные в табл. 4, свидетельствуют о том, что внесение N₆₀P₅₂K₉₆ с В, Zn, содержащих соединения железа (хелат¹) в количествах от 0,05 до 0,15 % от массы удобрения, способствовало увеличению урожайности семян льна масличного на 0,5–1,4 ц/га по сравнению с аналогичным комплексным удобрением без железа (базовый вариант). При этом достоверное повышение урожайности (1,4 ц/га) отмечено только с NPK, содержащим железосодержащие соединения в количестве 0,10 % от массы удобрения.

При включении Fe (хелат²) в комплексное удобрение N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn в количестве 0,035 и 0,07 % от массы удобрения урожайность семян повысилась на 1,5–2,7 ц/га. Но наиболее эффективными комплексными удобрениями были N₆₀P₆₃K₉₆ с добавками В, Zn, Fe (хелат² с регуляторами роста растений – Эпин и Гидрогумат), обеспечившими максимальную прибавку семян в размере 5,0–6,0 ц/га по сравнению с базовым вариантом. Прибавка семян льна масличного от регуляторов роста растений, включенных в состав комплексного удобрения с В, Zn, Fe, составила 2,3 (от Эпина), 3,3 (от Гидрогумата).

Что касается эффективности комплексного N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn и Fe (хелат³), содержащим железо в количестве 0,10–0,15 % от массы удобрения, то более эффективным оказалось удобрение с 0,10 % железа, обеспечившим повышение урожайности семян на 3,0 ц/га по сравнению с базовым вариантом.

Содержание масла в семенах льна масличного приведено в табл. 5.

Не установлено четкой зависимости изменения содержания масла в семенах в различные по степени увлажнения годы: среднее содержание масла в семенах по вариантам опыта составило в 2006 г. – 48,4 %, в 2007 г. – 48,0 % и в 2008 г. – 48,6 %, а в среднем за три года – 48,3 %. Однако следует отметить, что прибавка содержания масла в семенах отмечена как по отношению к контролю

(от 4,3 до 9,3 %), так и от комплексных удобрений, содержащих соединения железа по сравнению с базовым вариантом (комплексным удобрением без железа).

Таблица 5

Влияние комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений на содержание масла в семенах льна масличного на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, 2006–2008 гг.

Вариант опыта	Масличность, %					
	2006 г.	2007 г.	2008 г.	Среднее, за 2006–2008 гг.	+ к контролю	+,- от Fe
Контроль без удобрений	40,0	42,0	43,0	41,7	–	–
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В и Zn – базовый вариант	48,0	45,0	45,0	46,0	4,3	–
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe – 0,10 %) – сульфат железа	50,0	49,0	50,0	49,0	7,3	3,0
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,05 %)	49,0	47,0	49,0	48,3	6,6	2,3
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,10 %)	49,0	48,0	49,0	48,7	7,0	2,7
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,15 %)	50,0	51,0	52,0	51,0	9,3	5,0
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,035 %)	50,0	49,0	50,0	49,7	8,0	3,7
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,07 %)	47,0	48,0	48,0	47,7	6,0	1,7
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,07 %), Эпином	48,0	48,0	48,0	48,0	6,3	2,0
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,07 %), Гидрогуматом	49,0	48,0	49,0	48,7	7,0	2,7
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ³ , – 0,10 %)	52,0	51,0	50,0	51,0	9,3	5,0
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ³ – 0,15 %)	49,0	50,0	50,0	49,7	8,0	3,7
НСП ₀₅	1,02	1,08	1,07	0,61	–	–

Содержание общего железа в растениях льна масличного определялось в фазу «елочка» (в стеблях) и цветения (в стеблях, соцветиях, корнях), табл. 6.

Известно, что наличие железа в растениях является обязательным как для нормального их роста и развития, так и для правильного питания человека и животных. Накопление железа растениями различно и зависит от почвенных и климатических условий, а также от фазы роста и развития. Имеются данные по его содержанию в растениях: природное его содержание – от 18 до 1000 мг/кг сухой массы, в травах оно может быть в пределах от 2127 до 3580 мг/кг сухой массы, в овощах – от 29 до 130 мг/кг сухой массы, в золе различных растений – от 220 до 1200 мг/кг сухой массы [19].

В наших исследованиях среднее содержание железа (за 2006–2008 г., по всем вариантам) в растениях льна масличного в фазу «елочка» находилось в пределах от 214 до 392 мг/кг сухого вещества, в том числе на контрольном варианте без удобрений – 214, в вариантах при дозе внесения N₆₀P₅₂K₉₆ комплексных удобрений без железа (базовый вариант) – 287, а с комплексными с бором, цинком и железом (в форме сульфатов и хелатов с различным содержанием железа) при дозах N₆₀P₅₂K₉₆ и N₆₀P₆₃K₉₆ – от 168 до 392 мг/кг сухого вещества, при среднем содержании его по всем вариантам 279,9 мг/кг сухого вещества.

В фазу цветения в *стеблях льна масличного* содержание железа уменьшилось и составило в среднем по всем вариантам 126,5 мг/кг сухого вещества. На контрольном варианте без удобрений его содержание было 98 мг/кг сухого вещества, в базовом варианте – 137, с комплексными удобрениями с бором, цинком и железом (в зависимости от варианта) – 85–174 мг/кг сухого вещества; соответственно в *соцветиях* – в среднем по всем вариантам 110,4 мг/кг сухого вещества, на контрольном варианте без удобрений – 123 мг/кг сухого вещества, в базовом варианте – 58 и с комплексными удобрениями с бором, цинком и железом – от 75 до 151 мг/кг сухого вещества. Следует отметить, что максимальное количество железа в фазу цветения отмечалось в *корнях льна масличного*. Этот показатель на контрольном варианте составил 759 мг/кг сухого вещества, в базовом варианте – 818, с комплексными удобрениями с бором, цинком и железом – 349–1342 мг/кг сухого вещества.

Что касается различий в содержании железа в различные фазы и в разных частях растения в зависимости от условий вегетационного периода льна масличного, то наблюдалось следующее: в 2006 г. при слабозасушливых условиях содержание железа несколько ниже, чем при оптимальном (2007 г.) и влажном (2008 г.) периодах. Различий в значениях этого показателя в 2007 и 2008 гг. не выявлено.

Полученные экспериментальные данные по содержанию железа в растениях льна масличного показывают, что трудно выявить закономерности поступления железа в растение в зависимости от формы применяемых удобрений. Однако в целом можно отметить, что при внесении комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений изменяется содержание железа в разных частях растения льна масличного в зависимости от количества вводимого железа в состав удобрения во все фазы роста и развития растения. Если сравнивать содержание железа в среднем по всем вариантам опыта в фазу цветения, то больше всего железа накапливалось в корнях (872,3 мг/кг сухого вещества), далее в стеблях – 126,5 и соцветиях – 110,4 мг/кг сухого вещества.

В табл. 7 приведены данные по поражаемости растений льна масличного различными болезнями перед уборкой, а также количество проросших семян в лучших вариантах опыта, где получена прибавка семян от внесения комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений.

Таблица 7

Влияние комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений на поражаемость растений льна масличного различными болезнями, 2006–2008 гг.

Вариант	Поражено болезнями, %					Всего, %		Всхожесть семян	
	Фуза-Риоз	Альтерна-риоз	Крапчатость	Бактериоз	Плесневение	%	+,- к базовому	%	+,- к базовому
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В и Zn – базовый вариант	2,0	12,0	12,0	8,0	1,5	35,5	–	69,5	–
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe – 0,10 %) – сульфат железа	1,0	9,0	12,0	8,0	0,5	30,5	–5,0	79,0	9,5
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,10 %)	2,0	8,0	4,0	3,5	1,5	19,0	–16,5	80,0	10,5
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,07 %)	1,0	9,0	5,0	7,0	0,5	22,5	–13,0	79,6	10,1

Вариант	Поражено болезнями, %					Всего, %		Всхожесть семян	
	Фуза-Риоз	Аль-терна-риоз	Крап-чатость	Бак-те-Риоз	Плес-невение	%	+,- к базовому	%	+,- к базовому
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ³ , – 0,10 %)	2,0	10,5	5,5	8,5	1,5	28,0	–7,5	75,0	5,5
НСР ₀₅	0,088	0,661	0,616	0,427	0,061	–	–	–	–

Экспериментальные данные показывают, что в вариантах с комплексными удобрениями NPK с В и Zn с дополнительным включением в их состав железо-содержащих соединений в форме хелатов – 0,07–0,10 % от массы удобрения, или сульфатов снижается заболеваемость растений льна различными болезнями (5,0–16,5 %), повышается всхожесть семян (на 5,5–10,5 %) по сравнению с применением комплексных удобрений с добавками только В и Zn, без включения железа (базовый вариант).

ВЫВОДЫ

1. Содержание общего железа в пахотном горизонте дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы перед закладкой полевых опытов со льном масличным, в зависимости от вариантов опыта, находилось в пределах: в 2006 г. – от 63,7 до 77,2 мг/кг почвы, процент 2-валентного железа, доступного для растений – от 7,9 до 16,3 %, в 2007 г. – от 33,3 до 64,0 мг/кг почвы (10,2–33,0 %), в 2008 г. – от 33,8 до 59,8 мг/кг почвы (10,1–30,0 %). Перед уборкой в условиях слабозасушливого периода 2006 г. содержание Fe⁺² составляло от 4,1 до 12,6 % от общего железа, в 2007 г. при оптимальных условиях вегетационного периода – от 8,3 до 15,5 %, в 2008 г. в условиях влажного периода – от 4,9 до 18,4 %.

2. В вариантах с внесением комплексных удобрений с хелатом¹ – 0,10 % от массы удобрения, и с хелатом² – 0,07 % от массы удобрения, в том числе и с регуляторами роста растений, перед уборкой льна масличного содержание двухвалентного железа в почве снижалось в большей степени, чем с комплексными удобрениями с содержанием железа в минимальных и максимальных количествах, что связано с более высоким потреблением железа растениями.

3. Применение под лен масличный комплексных удобрений с В, Zn, Fe (хелат¹ – 0,10 %) в дозе N₆₀P₅₂K₉₆ достоверно повышало урожайность семян на 1,4 ц/га; комплексных удобрений с В, Zn, Fe (хелат² – 0,07 %) в N₆₀P₆₃K₉₆ – на 2,7 ц/га, этих же удобрений с регуляторами роста растений (Эпин и Гидрогумат) – 5,0–6,0 ц/га; от комплексных удобрений с В, Zn, Fe (хелат³ – 0,10 %) в N₆₀P₆₃K₉₆ – на 3,0 ц/га по сравнению с базовым вариантом (комплексным удобрением без железа). Прибавка семян льна масличного от регуляторов роста растений, включенных в состав комплексного удобрения с В, Zn, Fe составляла от 2,3 (от Эпина) до 3,3 (от Гидрогумата) ц/га.

4. Не установлено четкой зависимости изменения содержания масла в семенах в зависимости от форм, применяемых удобрений и степени увлажнения года: среднее содержание масла в семенах по вариантам опыта составляло:

в 2006 г. – 48,4 %, в 2007 г. – 48,0 % и в 2008 г. – 48,6 %, а в среднем за три года – 48,3 %. При этом выявлено повышение содержания масла в семенах в вариантах с применением удобрений как по отношению к контролю, так и от комплексных удобрений, содержащих соединения железа по сравнению с комплексным удобрением без железа.

5. Содержание железа в растениях льна масличного изменяется в большей степени от фазы развития культуры, в меньшей степени от условий увлажнения года и форм применяемых удобрений. Однако в целом можно отметить, что при внесении комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений изменяется содержание железа в разных частях растения льна масличного в зависимости от количества вводимого железа в состав удобрения во все фазы роста и развития. Содержание железа (в среднем по всем вариантам опыта) в фазу цветения максимальное в корнях (872,3 мг/кг сухого вещества), далее в стеблях – 126,5 и соцветиях – 110,4 мг/кг сухого вещества.

6. Применение комплексных удобрений с добавками В, Zn и Fe – 0,07–0,10 % от массы удобрения, в форме сульфатов или хелатов) обеспечивает снижение заболеваемости растений льна масличного (фузариоз, альтернариоз, крапчатость, бактериоз, плесневение) на 5,0–16,5 %, повышение всхожести семян – на 5,5–10,5 % по сравнению с применением комплексных удобрений с добавками только В и Zn, без включения железа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Goldschmidt, V. M.* The principles of distribution of chemical elements in minerals and rocks / V. M. Goldschmidt // J. of the Chemical Society. – 1937. – P. 655–673.
2. *Зонн, С. В.* Железо в почвах (генетические и географические аспекты) / С. В. Зонн; ред. В. А. Ковда. – М.: Наука, 1982. – 209 с.
3. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас; пер с англ.: Д. В. Гричук, Е. П. Янин; ред. Ю. Е. Саев. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
4. *Кашин, В. К.* Железо в растениях Забайкалья / В. К. Кашин, Г. М. Иванов // Агрехимия. – 2007. – № 12. – С. 36–43.
5. *Rediske, J. H.* The absorption and translocation of iron / J. H. Rediske, O. Bidulph // Plant Physiology. – 1953. – Vol. 28, № 4. – P. 576–593.
6. *Хрускова, С. Г.* Влияние подвижных фосфатов на питание растений железом / С. Г. Хрускова // Агрехимия. – 1965. – № 8. – С. 65–69.
7. *Lingle, J. C.* Iron uptake-transport of soybeans as influenced by other cations / J. C. Lingle, L. O. Tiffin, J. C. Brown // Plant Physiology. – 1963. – Vol. 38, № 1. – P. 71–76.
8. *Brown, J. C.* Iron-stress response in tomato (*Lycopersicon esculentum*) 1. Sites of Fe reduction, absorption and transport / J. C. Brown, J. E. Ambler // Physiologia Plantarum. – 1974. – Vol. 31, № 3. – P. 221–224.
9. *Дьяконова, К. В.* Железо-гумусовые комплексы и их роль в питании растений / К. В. Дьяконова // Почвоведение. – 1962. – № 7. – С. 19–25.
10. *Wallace, A.* Resistance of rough lemon and trifoliolate orange seedlings to high levels of iron chelates / A. Wallace, R. T. Mueller // Hortscience. – 1972. – Vol. 7, № 2. – P. 121–122.

11. *Kannan, S.* Iron-deficiency stress response in crop plants: An examination in linseed cultivars / S. Kannan, S. Ramani // *J. of Plant Nutrition.* – 1988. – Vol. 11, № 6/11. – P. 755–762.

12. *Wikoff, L.* Different iron-manganese relationships in two flax cultivars / L. Wikoff, J. T. Moraghan // *J. of Plant Nutrition.* – 1986. – Vol. 9, № 3/7. – P. 839–849.

13. *Warden, B. T.* Manganese-iron interactions in the plant-soil system / B. T. Warden, H. M. Reisenauer // *J. of Plant Nutrition.* – 1991. – Vol. 14, № 1. – P. 7–30.

14. 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.

15. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч. практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 469 с.

16. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

17. *Дзямбіцкі, М. Ф.* Асаблівасці дысперсійнага аналізу вынікаў шматгадовага палявога доследу / М. Ф. Дзямбіцкі // *Весці Акадэміі аграрных навук Беларусі.* – 1994. – № 3. – С. 60–64

18. *Aaby, B.* Changes in biotic conditions and metal deposition in the last millennium as reflected in ombrotrophic peat in Draved Moses / B. Aaby, J. Jacobsen // *Denmark, Geol. – Serv. Denmark, Yearb.* 1978. 5.2. – Abd-Elfattan A., Wada K.

THE EFFECT OF COMPLEX FERTILIZERS WITH THE ADDITION OF IRON-CONTAINING COMPOUNDS ON THE INTAKE OF IRON IN THE SOIL AND OIL FLAX PLANTS

G. V. Pirahouskaya, Yu. G. Milosta

Summary

The article presents data on the effect of new forms of complex fertilizers with the addition of iron-containing compounds (in the form of sulfates or chelates) on the entry of iron into the soil (arable horizon), seed yield, oil content, iron intake in oil flax plant in the «herringbone» and flowering phase (stem, inflorescences and roots), plant affection by various diseases when cultivated on sod-podzolic loose sandy soils.

It was found that the inclusion of iron-containing compounds in doses (0,07–0,10 % by weight of fertilizer and, mainly iron-containing compounds in complex with plant growth regulators (Epin, Hydrohumate) has a positive effect on seed yield, oil content with a one-time reduction in the incidence of plant growth by various diseases.

Поступила 11.05.2020

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ, МАКРО-, МИКРОУДОБРЕНИЙ И РЕГУЛЯТОРА РОСТА НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОСЕВОВ, УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КУКУРУЗЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НА СИЛОС НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

И. Р. Вильдфлуш¹, С. С. Мосур¹, Г. В. Пироговская²

*¹Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
г. Горки, Беларусь*

*²Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Кукуруза (*Zea mays* L.) – одна из важнейших сельскохозяйственных культур в мире [1]. При возделывании кукурузы рекомендуется полное органоминеральное удобрение, которое обеспечивает максимальные показатели агроэкономической эффективности, а также сохранение и повышение почвенного плодородия [2–3]. Важнейшими качественными показателями зеленой массы кукурузы является содержание сырого белка и основных элементов питания [4, 5].

Кукуруза хорошо отзывается на внесение органических и минеральных удобрений, а для формирования высокого урожая необходима достаточная обеспеченность элементами питания.

Важнейшими качественными показателями зеленой массы кукурузы является содержание сырого белка и основных элементов питания [6].

Эффективность удобрений находится в сильной зависимости от климатических и погодных условий во время вегетации. В разные по увлажнению годы степень влияния удобрений на развитие и продуктивность растений кукурузы различна. Для получения стабильных высоких и качественных урожаев кукурузы необходимо теоретически и практически обосновать применение минеральных удобрений с учетом плодородия почв, климатических условий возделывания, биологических и генетических особенностей гибридов [7].

Установлено, что наиболее существенное влияние на увеличение площади листовой поверхности для максимальной фотосинтетической деятельности кукурузы и показатели качества зеленой массы оказывают азотные удобрения. Азот для растений является лимитирующим элементом. Потребность в нем растения испытывают с момента прорастания семян, образования корешка и ростка. Азот необходим растениям кукурузы на протяжении всего периода роста и особенно в моменты развития вегетативных и репродуктивных органов [8, 9].

Поглощение фосфора происходит более длительное время. Фосфорные удобрения, внесенные до посева кукурузы, способствуют мощному развитию корневой системы, более раннему образованию початков. Максимум потребления фосфора приходится на фазу молочной спелости, независимо от доз минеральных удобрений [10, 11].

Калий необходим для нормального течения всех важных физиологических процессов и непосредственно влияет на скорость роста и урожай культуры. Содержание экстрактивного калия в листьях заметно влияет на фотосинтез. Наибольшая эффективность калийных удобрений достигается при оптимальном соотношении их с азотными и фосфорными удобрениями [12].

Кукуруза хорошо отзывается на внесение микроэлементов, в частности цинка, бора и меди [13]. Цинк входит в состав ферментов, таких как карбоангидразы, которые катализируют расщепление угольной кислоты на воду и углекислый газ, принимают участие в окислительно-восстановительных процессах, в обмене углеводов, липоидов, фосфора и серы, в синтезе аминокислот и хлорофилла [14, 15]. Бор содержится в растениях в незначительном количестве – 1 мг на 1 кг сухого вещества. При недостатке бора замедляется рост растений, отмирают точки роста побегов и корней, органы растений приобретают неправильную форму. Признаки недостатка этого микроэлемента у разных растений свои [15].

В последние годы в мировой практике все шире применяют под сельскохозяйственные культуры физиологически активные вещества, с помощью которых можно искусственно регулировать рост и развитие растения и, как следствие, повышать урожайность. Известно также, что стимуляторы роста повышают росторегулирующую активность, морозостойкость, засухоустойчивость, увеличивают полевую всхожесть семян; стимулируют иммунную систему растений; улучшают технологические показатели зерна. Регуляторы роста обладают широким спектром физиологического действия – ростовой, эстрогенной, мутагенной, антимутагенной, фунгицидной и бактерицидной активностями [16, 17].

Цель исследований – изучить влияние органических и минеральных макро-, микро-, комплексных удобрений и регулятора роста на фотосинтетическую деятельность посевов, урожайность и качество кукурузы при возделывании на силос на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на опытном поле «Тушково» УНЦ «Опытные поля БГСХА» в 2018–2019 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на легком лессовидном суглинке, подстилаемой с глубины около 1 м моренным суглинком.

Почва опытного участка имела в среднем кислую (2019 г.) и слабокислую (2018 г.) реакцию почвенной среды, низкую обеспеченность гумусом, среднюю обеспеченность подвижными формами меди и цинка, повышенное содержание подвижных форм фосфора, повышенное (2018 г.) и высокое (2019 г.) содержание подвижных форм калия (по методу Кирсанова) (табл. 1).

Таблица 1

Агрохимические показатели почвы опытного участка (средние по всему опытному полю)

Год исследования	рН _{KCl}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cu	Zn	Гумус, %
		мг/ кг почвы				
2018	5,60	238	291	3,47	4,44	1,2–1,7
2019	5,24	217	316	2,57	4,00	1,2–1,7

Объектом исследований являлся гибрид кукурузы Ладога ФАО 240. Среднеранний, трехлинейный. Тип зерна – промежуточный. Включен в государственный реестр сортов Беларуси в 2012 г. Регистрационный номер – 2009262. Vegetационный период – 106–109 дней.

В опытах применяли удобрения:

– мочевины (46 % N); аммонизированный суперфосфат (30 % P_2O_5 , 9 % N); хлористый калий (60 % K_2O); комплексное удобрение для кукурузы, марка 15–12–19 с 0,2 % Zn и 0,1 % B, разработанное в Институте почвоведения и агрохимии НАН Беларуси;

– органические удобрения – навоз КРС (влажность 78–79 %, органическое вещество – 21–22 %, N – 0,50–0,52 %, P_2O_5 – 0,21–0,22 % и K_2O – 0,55–0,57 %);

– микроудобрения: Адоб-Цинк (6,2 % Zn, 9 % N и 3 % Mg); МикроСтим-Цинк (6–8 % Zn, 9–11 % N), МикроСтим-Медь (6–10 % N; 4,5–5,5 % Cu), МикроСтим-Цинк, Бор (4,6 % Zn; 9,3 % N; 3,0 % B; гуминовые вещества – 0,48–6,0 г/л);

– комплексное удобрение Кристалон (N – 18 %; P_2O_5 – 18,0 %; K_2O – 18,0 %; MgO – 3 %; SO_3 – 5 %; B – 0,025 %; Cu (ЭДТА) – 0,01 %; Fe (ЭДТА) – 0,07 %; Mn (ЭДТА) – 0,04 %; Mo – 0,004 %; Zn (ЭДТА) – 0,025 %.);

– регулятор роста растений Экосил – 5-процентная водная эмульсия тритерпеновых кислот.

Обработку растений кукурузы проводили в фазу 6–8 листьев регулятором роста растений Экосил (50 мл/га), микроудобрением Адоб-Цинк (1,5 л/га), комплексными микроудобрениями с регулятором роста МикроСтим-Цинк (1,5 л/га) + МикроСтим-Медь (1 л/га), МикроСтим-Цинк, Бор (1,65 л/га), комплексным удобрением Кристалон (2 л/га).

Общая площадь делянки – 25,2 м², учетная – 16,8 м². Повторность – четырехкратная.

Опыт с кукурузой заложен по следующей схеме:

1. Контроль;
2. $N_{60}P_{60}K_{90}$;
3. $N_{90}P_{70}K_{120}$ (стандартные);
4. $N_{90}P_{70}K_{120}$ (с Zn и B);
5. $N_{90}P_{70}K_{120}$ + N_{30} – фон;
6. $N_{120}P_{80}K_{130}$ + N_{30} + МикроСтим-Цинк (75 г/га Zn);
7. Фон + МикроСтим-Цинк (75 г/га Zn);
8. Фон + Адоб-Цинк (75 г/га Zn);
9. Фон + МикроСтим-Цинк, Медь (75 г/га Zn + 75 г/га Cu);
10. Фон + Кристалон;
11. Фон + Экосил;
12. Фон + МикроСтим-Цинк, Бор (75 г/га Zn + 50 г/га B);
13. Навоз 60 т/га + фон ($N_{90}P_{70}K_{120}$ + N_{30});
14. Навоз 60 т/га + фон ($N_{90}P_{70}K_{120}$ + N_{30}) + МикроСтим-Цинк (75 г/га Zn).

Посев кукурузы был произведен сеялкой точного высева СТВ–8К в 2018 г. 5 мая, в 2019 г. – 19 апреля.

Учет урожая зеленой массы кукурузы был проведен методом учетных площадок. Агротехника возделывания – общепринятая для Беларуси [18].

Химическую прополку кукурузы проводили после посева по всходам гербицидом Сулкотрек, КС (2 л/га).

В зеленой массе кукурузы определяли: содержание сырого протеина умножением общего азота, определенного индофенольным методом на фотоколориметре после мокрого озоления по методу ЦИНАО (1976), на коэффициент пересчета на белок (6,25); сырую золу по ГОСТ 26226-95; сырой жир по ГОСТ 13496.2-91; сырую клетчатку по ГОСТ 13496.15-97.

Для определения площади листьев применялся метод промеров. Площадь измеренных листьев (S) рассчитывают по формуле

$$S = D_{cp} \cdot Ш_{cp} \cdot 0,7 \cdot n, \quad (1)$$

где D_{cp} – средняя длина листьев, см; $Ш_{cp}$ – средняя ширина листьев, см; n – число измеренных листьев [19].

Фотосинтетический потенциал – это величина, характеризующая возможность использования посевами сельскохозяйственных культур солнечной радиации для фотосинтеза в течение вегетации. Фотосинтетический потенциал определяется по формуле

$$\text{ФП} = \frac{Л_1 + Л_2}{2 \cdot 1000} \cdot T, \quad (2)$$

где ФП – фотосинтетический потенциал за определяемый период развития растений, млн $\text{м}^2 \cdot \text{сут}/\text{га}$; $Л_1$ и $Л_2$ – площадь листовой поверхности в определяемые стадии развития растений, тыс. $\text{м}^2/\text{га}$; T – длительность межфазного периода, дней; 1000 – коэффициент перевода [20].

Чистая продуктивность фотосинтеза – очень важный показатель, определяющий количество сухого вещества в граммах, накопленного 1 м^2 листовой поверхности за 1 сутки.

Чистая продуктивность фотосинтеза определяется по формуле 3:

$$\text{ЧПФ} = \frac{(M_1 - M_2) \cdot 100}{0,5 \cdot (Л_1 + Л_2) \cdot T}, \quad (3)$$

где ЧПФ – чистая продуктивность фотосинтеза, $\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$; M_1 и M_2 – сухая биомасса растений в изучаемые стадии развития, $\text{ц}/\text{га}$; $Л_1$ и $Л_2$ – площадь листовой поверхности в определяемые стадии развития растений, тыс. $\text{м}^2/\text{га}$; 100 – коэффициент перевода [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В фазе 3–4 листьев минимальная площадь листовой поверхности была у варианта без применения удобрений и в среднем составила 0,33 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$ (табл. 2).

Минеральные удобрения в дозе $N_{90}P_{70}K_{120}$ способствовали возрастанию площади листовой поверхности по сравнению с вариантом без применения удобрений в фазе 6–8 листьев на 0,30 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$, в фазе выметывания – на 3,50, в фазе молочно-восковой спелости – на 3,25 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$.

Вариант с применением комплексного удобрения (NPK) с Zn и B в дозе, эквивалентной варианту с применением $N_{90}P_{70}K_{120}$, увеличивал площадь листовой поверхности по сравнению с вариантом без применения удобрений в фазе 6–8 листьев на 0,45 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$, в фазе выметывания – на 4,25 и в фазе молочно-восковой спелости – на 4,25 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$.

Таблица 2

Площадь листовой поверхности кукурузы при возделывании на зеленую массу (в среднем за 2018 и 2019 гг.)

Вариант	Площадь листовой поверхности														
	Фаза 3–4 листа				Фаза 6–8 листьев				Выметывание				Молочно-восковая спелость		
	Тыс. м ² /га	+ к кон-тролю	+ к фону	+ к фону	Тыс. м ² /га	+ к кон-тролю	+ к фону	+ к фону	Тыс. м ² /га	+ к кон-тролю	+ к фону	+ к фону	Тыс. м ² /га	+ к кон-тролю	+ к фону
Контроль	0,33	–	–	–	1,10	–	–	–	28,00	–	–	–	28,25	–	–
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	0,34	+0,01	–	–	1,45	+0,35	–	–	30,25	+2,25	–	–	30,50	2,25	–
N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ (стандартные)	0,34	+0,01	–	–	1,40	+0,30	–	–	31,50	+3,50	–	–	31,50	3,25	–
N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ (с Zn и В)	0,34	+0,01	–	–	1,55	+0,45	–	–	32,25	+4,25	–	–	32,50	4,25	–
N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ + N ₃₀ – ФОН	0,37	+0,04	–	–	1,50	+0,40	–	–	33,70	+5,70	–	–	34,00	5,75	–
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₃₀ + N ₃₀ + Микро-Стим-Цинк	0,34	+0,01	–0,03	+0,20	1,70	+0,60	+0,20	+0,20	38,50	+10,50	+4,80	+4,80	39,25	11,00	+5,25
Фон + МикроСтим-Цинк	0,34	+0,01	–0,03	–0,05	1,45	+0,35	–0,05	–0,05	35,20	+7,20	+1,50	+1,50	35,50	7,25	+1,50
Фон + Адоб-Цинк	0,37	+0,04	0,00	–0,10	1,40	+0,30	–0,10	–0,10	35,75	+7,75	+2,05	+2,05	35,75	7,50	+1,75
Фон + МикроСтим-Цинк, Медь	0,34	+0,01	–0,03	–0,05	1,45	+0,35	–0,05	–0,05	37,25	+9,25	+3,55	+3,55	39,25	11,00	+5,25
Фон + Кристалон	0,34	+0,01	–0,03	+0,10	1,60	+0,50	+0,10	+0,10	39,50	+11,50	+5,80	+5,80	42,50	14,25	+8,50
Фон + Экосил	0,34	+0,01	–0,03	0,00	1,50	+0,40	0,00	0,00	35,75	+7,75	+2,05	+2,05	36,25	8,00	+2,25
Фон + МикроСтим-Цинк, Бор	0,34	+0,01	–0,03	–0,10	1,40	+0,30	–0,10	–0,10	35,75	+7,75	+2,05	+2,05	37,25	9,00	+3,25
Навоз 60 т/га + фон (N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ + N ₃₀)	0,36	+0,03	–0,01	–0,05	1,45	+0,35	–0,05	–0,05	40,00	+12,00	+12,00	+12,00	44,25	16,00	+10,25
Навоз 60 т/га + фон (N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ + N ₃₀) + Микро-Стим-Цинк	0,36	+0,03	–0,01	0,00	1,50	+0,40	0,00	0,00	41,45	+13,45	+13,45	+13,45	46,25	18,00	+12,25
НСР ₀₅	0,010	–	–	–	0,189	–	–	–	1,946	–	–	–	3,244	–	–

В фоновом варианте с применением минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ площадь листовой поверхности возрастала по сравнению с вариантом без применения удобрений в фазе 3–4 листьев на 0,04 тыс м²/га, в фазе 6–8 листьев – на 0,40 тыс. м²/га, в фазе выметывания – на 5,75 и в фазе молочно-восковой спелости – на 5,75 тыс.м²/га.

Применение микроудобрения МикроСтим-Цинк в сочетании с минеральными удобрениями в дозе $N_{120+30}P_{80}K_{130}$ способствовало максимальному увеличению площади листовой поверхности по сравнению с вариантом без применения удобрений в фазе 6–8 листьев на 0,20 (1,70 тыс. м²/га), а в фазе выметывания – на 10,5 и в фазе молочно-восковой спелости – на 11 тыс. м²/га. Площадь листовой поверхности при некорневой подкормке МикроСтим-Цинк с $N_{120}P_{80}K_{130}$ по сравнению с фоновым вариантом возрастала в фазе выметывания на 4,80 тыс. м²/га и в фазе молочно-восковой спелости – на 5,25 тыс м²/га.

В фазе выметывания максимальная площадь листьев кукурузы была в варианте с применением 60 т/га навоза в сочетании с $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ и составила 40,00 тыс. м²/га, в варианте с применением 60 т/га навоза в сочетании с $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ и некорневой подкормки МикроСтим-Цинк – 41,45 тыс. м²/га.

Применение 60 т/га навоза в сочетании с некорневой подкормкой МикроСтим-Цинк и $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ увеличивало площадь листовой поверхности по сравнению с фоном в фазе молочно-восковой спелости на 12,25 тыс. м²/га. В этом варианте опыта была максимальная площадь листовой поверхности, что способствовало более интенсивной фотосинтетической деятельности посевов кукурузы и получению наибольшей урожайности зеленой массы.

Применение удобрений положительно влияло на фотосинтетическую деятельность посевов. Данные приведены в табл. 3.

В период от всходов до фазы 3–4 листьев разницы в показателях фотосинтетического потенциала между всеми применяемыми системами удобрений не установлено – 0,004 м²·сут/га (табл. 3).

В период «3–4 листа – 6–8 листьев» фотосинтетический потенциал в варианте с применением комплексного удобрения с Zn и B в дозе, эквивалентной варианту с применением $N_{90}P_{70}K_{120}$, был выше по сравнению с вариантом без применения удобрений на 0,024 млн м²·сут/га, в период «фаза 6–8 листьев – выметывание» – на 0,094 и в период «выметывание – молочно-восковая спелость» – на 0,138 млн м²·сут/га.

Из всех применяемых в опытах микроудобрений (Адоб-Цинк, МикроСтим-Цинк, МикроСтим-Цинк, Бор, МикроСтим-Цинк, Медь) на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ наибольшее увеличение фотосинтетического потенциала отмечено при некорневой подкормке МикроСтим-Цинк, Медь, которое в период «3–4 листа – 6–8 листьев» составило 0,231 млн м²·сут /га, в период (фаза 6–8 листьев – выметывание) – 0,880 и в период «выметывание – молочно-восковая спелость» – 1,442 млн м²·сут/га.

Применение комплексного удобрения Кристалон на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ повышало фотосинтетический потенциал относительно фона в период «3–4 листа – 6–8 листьев» на 0,056 млн м²·сут/га, в период «6–8 листьев – выметывание» – на 0,200 и в период «выметывание – молочно-восковая спелость» – на 0,402 млн м²·сут/га.

Таблица 3
Фотосинтетический потенциал в зависимости от применяемых систем удобрения кукурузы (в среднем за 2018 и 2019 гг.)

Вариант	Фотосинтетический потенциал в период															
	всходы – 3–4 листа				3–4 листа – 6–8 листьев				6–8 листьев – выметывание				выметывание – молочноросковая спелость			
	м ² -сут/га	± к конт-ролю	± к фону	м ² -сут/га	± к конт-ролю	± к фону	м ² -сут/га	± к конт-ролю	± к фону	м ² -сут/га	± к конт-ролю	± к фону	м ² -сут/га	± к конт-ролю	± к фону	
Контроль	0,004	–	–	0,173	–	–	0,668	–	–	–	–	1,022	–	–	–	
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	0,004	0,000	–	0,182	+0,009	–	0,699	+0,031	–	–	–	1,086	+0,064	–	–	
N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ (стандартные)	0,004	0,000	–	0,182	+0,009	–	0,718	+0,050	–	–	–	1,123	+0,101	–	–	
N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ (с Zn и B)	0,004	0,000	–	0,197	+0,024	–	0,762	+0,094	–	–	–	1,160	+0,138	–	–	
N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ + N ₃₀ – ФОН	0,004	0,000	–	0,204	+0,031	–	0,780	+0,112	–	–	–	1,202	+0,180	–	–	
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₃₀ + N ₃₀ + МикроСтим-Цинк	0,004	0,000	0,000	0,254	+0,081	+0,050	0,955	+0,287	+0,175	+0,044	+0,156	1,438	+0,416	+0,236	–	
фон + МикроСтим-Цинк	0,004	0,000	0,000	0,217	+0,044	+0,013	0,824	+0,156	+0,044	+0,044	+0,156	1,262	+0,240	+0,060	–	
фон + Адоб-Цинк	0,004	0,000	0,000	0,217	+0,044	+0,013	0,830	+0,162	+0,050	+0,050	+0,162	1,266	+0,244	+0,064	–	
фон + МикроСтим-Цинк, Медь	0,004	0,000	0,000	0,231	+0,058	+0,027	0,880	+0,212	+0,100	+0,100	+0,212	1,442	+0,420	+0,240	–	
фон + Кристалон	0,004	0,000	0,000	0,260	+0,087	+0,056	0,980	+0,312	+0,200	+0,200	+0,312	1,604	+0,582	+0,402	–	
фон + Экосил	0,004	0,000	0,000	0,218	+0,045	+0,014	0,812	+0,144	+0,032	+0,032	+0,144	1,281	+0,259	+0,079	–	
фон + МикроСтим-Цинк, Бор	0,004	0,000	0,000	0,217	+0,044	+0,013	0,830	+0,162	+0,050	+0,050	+0,162	1,350	+0,328	+0,148	–	
Навоз 60 т/га + фон (N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ + N ₃₀)	0,004	0,000	0,000	0,267	+0,094	+0,063	0,999	+0,331	+0,219	+0,219	+0,331	1,674	+0,652	+0,472	–	
Навоз 60 т/га + фон (N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ + N ₃₀) + МикроСтим-Цинк	0,004	0,000	0,000	0,267	+0,094	+0,063	1,004	+0,336	+0,224	+0,224	+0,336	1,734	+0,712	+0,532	–	
НСР ₀₅	–	–	–	0,0142	–	–	0,0378	–	–	–	–	0,0571	–	–	–	

Использование навоза 60 т/га на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ увеличивало фотосинтетический потенциал в период «3–4 листа – 6–8 листьев» на 0,063 млн $m^2 \cdot сут/га$, в период «6–8 листьев – выметывание» – на 0,219 и в период «выметывание – молочно-восковая спелость» – на 0,472 млн $m^2 \cdot сут/га$.

Некорневая подкормка МикроСтим-Цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ в сочетании с применением 60 т/га навоза способствовала максимальному увеличению фотосинтетического потенциала: период «3–4 листа – 6–8 листьев» – на 0,063 млн $m^2 \cdot сут/га$, период «6–8 листьев – выметывание» – на 0,224, период «выметывание – молочно-восковая спелость» – на 0,532 млн $m^2 \cdot сут/га$.

Чистая продуктивность фотосинтеза в период от всходов до фазы 3–4 листьев была минимальной у варианта без применения удобрений и в среднем составила 1,52 $г/м^2 \cdot сут$.

В опытах определяли и чистую продуктивность фотосинтеза. Она определялась по формуле 3. Применение удобрений способствовало увеличению данного показателя.

Применение минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{90}$ увеличивало чистую продуктивность фотосинтеза по сравнению с вариантом без применения удобрений на 0,36 $г/м^2 \cdot сут$ (табл. 4).

Минеральные удобрения в дозе $N_{90}P_{70}K_{120}$ способствовали возрастанию чистой продуктивности фотосинтеза по сравнению с вариантом без применения удобрений в период «всходы – фаза 3–4 листьев» – на 0,59 $г/м^2 \cdot сут$, в период «6–8 листьев – выметывание» – на 1,24 и в период «выметывание – молочно-восковая спелость» – на 1,32 $г/м^2 \cdot сут$.

Чистая продуктивность фотосинтеза в варианте с применением комплексного удобрения с Zn и B в дозе, эквивалентной варианту с применением $N_{90}P_{70}K_{120}$, в период «всходы – фаза 3–4 листьев» составила 2,44 $г/м^2 \cdot сут$, в период «3–4 листа – 6–8 листьев» – 4,41, в период «6–8 листьев – выметывание» – 7,45 и в период «выметывание – молочно-восковая спелость» – 7,39 $г/м^2 \cdot сут$.

В варианте с применением Адоб-Цинк на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ чистая продуктивность фотосинтеза увеличивалась по сравнению с фоном в период «всходы – фаза 3–4 листьев» на 0,16 $г/м^2 \cdot сут$ и в период «выметывание – молочно-восковая спелость» – на 0,39 $г/м^2 \cdot сут$.

Применение МикроСтим-Цинк, Медь на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ способствовало увеличению чистой продуктивности фотосинтеза в период «всходы – фаза 3–4-го листа» на 0,54 $г/м^2 \cdot сут$, в период «6–8 листьев – выметывание» – на 0,67 и в период «выметывание – молочно-восковая спелость» – на 1,44 $г/м^2 \cdot сут$.

Существенного увеличения чистой продуктивности фотосинтеза достиг вариант с применением некорневой подкормки комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$. Чистая продуктивность фотосинтеза в данном варианте была выше фонового варианта в период «всходы – 3–4 листа» на 0,57 $г/м^2 \cdot сут$, в период (6–8 листьев – выметывание) – на 0,50 и в период «выметывание – молочно-восковая спелость» – на 1,62 $г/м^2 \cdot сут$.

Применение некорневой подкормки МикроСтим-Цинк, Бор на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ повышало чистую продуктивность фотосинтеза на 0,36 $г/м^2 \cdot сут$ в период «3–4 листа – 6–8 листьев».

Применение 60 т/га навоза на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ увеличивало чистую продуктивность фотосинтеза в период «всходы – 3–4 листа» на 0,53 $г/м^2 \cdot сут$, в период «3–4 листа – 6–8 листьев» – на 0,81, в период «6–8 листьев – выметывание» – на 1,66 и в период «выметывание – молочно-восковая спелость» – на 1,51 $г/м^2 \cdot сут$.

Таблица 4

Влияние удобрений и регуляторов роста на чистую продуктивность фотосинтеза кукурузы (в среднем за 2018 и 2019 гг.)

Вариант	Чистая продуктивность фотосинтеза в периоды														
	всходы –3–4 листа				3–4 листа – 6–8 листьев				6–8 листьев – выметывание				выметывание – молочнo-восковая спелость		
	г/м ² -сут	+ к кон-тролю	+ к фону	г/м ² -сут	+ к кон-тролю	+ к фону	г/м ² -сут	+ к кон-тролю	+ к фону	г/м ² -сут	+ к кон-тролю	+ к фону	г/м ² -сут	+ к кон-тролю	+ к фону
Контроль	1,52	–	–	3,98	–	–	5,95	–	–	–	–	5,71	–	–	–
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	1,88	+0,36	–	4,12	+0,16	–	6,78	+0,83	–	–	–	6,88	+1,17	–	–
N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ (стандартные)	2,11	+0,59	–	4,27	+0,31	–	7,19	+1,24	–	–	–	7,03	+1,32	–	–
N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ (с Zn и B)	2,44	+0,92	–	4,41	+0,45	–	7,45	+1,50	–	–	–	7,39	+1,68	–	–
N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ + N ₃₀ – ФОН	2,40	+0,88	–	4,79	+0,83	–	7,70	+1,75	–	–	–	7,58	+1,87	–	–
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₃₀ + N ₃₀ + МикроСтим-Цинк	2,41	+0,89	+0,01	4,48	+0,52	-0,31	8,30	+2,35	+0,60	–	–	7,98	+2,27	+0,40	–
Фон + МикроСтим-Цинк	2,48	+0,96	+0,08	4,71	+0,75	-0,08	7,83	+1,88	+0,13	–	–	7,47	+1,76	-0,11	–
Фон + Адоб-Цинк	2,56	+1,04	+0,16	4,69	+0,73	-0,10	7,80	+1,85	+0,10	–	–	7,97	+2,26	+0,39	–
Фон + МикроСтим-Цинк, Медь	2,94	+1,42	+0,54	4,65	+0,69	-0,14	8,37	+2,42	+0,67	–	–	9,02	+3,31	+1,44	–
Фон + Кристалон	2,97	+1,45	+0,57	4,61	+0,65	-0,18	8,20	+2,25	+0,50	–	–	9,20	+3,49	+1,62	–
Фон + Экосил	2,53	+1,01	+0,13	4,96	+1,00	+0,17	8,27	+2,32	+0,57	–	–	7,92	+2,21	+0,34	–
Фон + МикроСтим-Цинк, Бор	2,29	+0,77	-0,11	5,15	+1,19	+0,36	7,95	+2,00	+0,25	–	–	7,80	+2,09	+0,22	–
Навоз 60 т/га + фон (N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ + N ₃₀)	2,93	+1,41	+0,53	5,60	+1,64	+0,81	9,36	+3,41	+1,66	–	–	9,09	+3,38	+1,51	–
Навоз 60 т/га + фон (N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ + N ₃₀) + МикроСтим-Цинк	2,57	+1,05	+0,17	5,59	+1,63	+0,80	10,27	+4,32	+2,57	–	–	9,96	+4,25	+2,38	–
НСР ₀₅	0,05	–	–	0,178	–	–	0,435	–	–	–	–	0,285	–	–	–

Максимальных значений по данному показателю достиг вариант с применением 60 т/га навоза в сочетании с некорневой подкормкой МикроСтим-Цинк на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$, который увеличивал чистую продуктивность фотосинтеза по сравнению с фоном в период «всходы – 3–4 листа» – на 0,17 г/м²-сут, в период «3–4 листа – 6–8 листьев» – на 0,80, в период «6–8 листьев – выметывание» – на 2,57 и в период «выметывание – молочно-восковая спелость» – на 2,38 г/м²-сут.

Качество зеленой массы кукурузы зависит от содержания в ней основных макро- и микроэлементов, поэтому в опытах определяли содержание азота, фосфора, калия, меди, цинка в зеленой массе.

Минимальное содержание азота (1,25 %) в зеленой массе кукурузы было в контрольном варианте без применения удобрений (таб. 5).

Таблица 5

Влияние удобрений и регулятора роста на содержание макро- и микроэлементов в зеленой массе кукурузы (в среднем за 2018 и 2019 гг.)

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cu	Zn
	% сухого вещества			мг/кг	
Контроль	1,25	0,52	1,48	1,45	5,30
$N_{60}P_{60}K_{90}$	1,25	0,90	1,67	2,16	8,22
$N_{90}P_{70}K_{120}$ (стандартные)	1,31	0,58	1,75	2,73	8,64
$N_{90}P_{70}K_{120}$ (с Zn и B)	1,49	0,79	1,66	1,84	9,48
$N_{90}P_{70}K_{120}$ + N ₃₀ – ФОН	1,49	1,14	1,85	2,21	8,99
$N_{120}P_{80}K_{130}$ + N ₃₀ + МикроСтим-Цинк	1,56	0,95	1,70	2,29	14,27
Фон + МикроСтим-Цинк	1,55	1,08	1,93	2,22	10,62
Фон + Адоб-Цинк	1,49	0,80	1,80	2,33	14,54
Фон + МикроСтим-Цинк, Медь	1,46	0,84	1,91	4,95	13,42
Фон + Кристалон	1,53	1,07	2,25	3,77	10,53
Фон + Экосил	1,56	0,89	1,90	2,35	11,07
Фон + МикроСтим-Цинк, Бор	1,52	0,86	1,91	2,75	13,01
Навоз 60 т/га + фон ($N_{90}P_{70}K_{120}$ + N ₃₀)	2,04	0,97	1,91	2,72	11,00
Навоз 60 т/га + фон ($N_{90}P_{70}K_{120}$ + N ₃₀) + МикроСтим-Цинк	1,83	0,97	1,77	2,19	14,63
НСР ₀₅	0,282	0,196	0,160	0,635	2,681

Применение различных систем удобрения способствовало возрастанию содержания азота в зеленой массе кукурузы, причем максимальное значение (2,04 %) достигнуто в варианте с применением навоза на фоне $N_{90}P_{70}K_{120}$ + N₃₀, что на 0,55 % больше фонового варианта. Применение минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{90}$ не повлияло на увеличение содержания азота в зеленой массе кукурузы. Это связано с тем, что высокая доза азота увеличивала урожайность зеленой массы в данном варианте с 313 ц/га (на контроле) до 373 ц/га (в варианте с применением $N_{60}P_{60}K_{90}$). Происходило биологическое разбавление урожая. В результате чего сменилось содержание азота. Содержание азота в фоновом варианте с применением минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{70}K_{120}$ + N₃₀ составило 1,49 %.

По содержанию фосфора в зеленой массе кукурузы минимальное значение (0,52 %), так же как и по содержанию азота, имел вариант без применения удобрений. Применение минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ (фон) увеличило количество P_2O_5 до 1,14 %. Это объясняется тем, что в фоновом варианте урожайность зеленой массы была невысокой по сравнению с другими вариантами и фосфор больше накапливался в растении, нежели потреблялся для формирования высокого урожая. Урожайность зеленой массы составила 461 ц/га (табл. 6). В варианте с внесением нового комплексного удобрения с бором и цинком содержание фосфора в зеленой массе кукурузы выросло по сравнению с вариантом, где использовались в эквивалентной дозе минеральные удобрения ($N_{90}P_{70}K_{120}$), на 0,21 %. Во всех остальных вариантах применения удобрений содержание фосфора было практически одинаковым.

По содержанию калия в зеленой массе кукурузы минимальное значение (1,48 %) имел вариант без применения удобрений. Применение минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{70}K_{120}$ увеличивало содержание K_2O в зеленой массе по сравнению с контрольным вариантом на 0,27 %.

В зеленой массе фонового варианта содержалось 1,85 % калия. Применение некорневой подкормки комплексным удобрением Кристалон в дозе 2 л/га в фазе 6–8 листьев на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ привело к максимальному увеличению (на 0,40 %) содержания калия в зеленой массе до 2,25 %.

Содержание меди в зеленой массе в варианте без применения удобрений составило 1,45 мг/кг. В варианте с применением минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{70}K_{120}$ оно было выше по сравнению с неудобренным контрольным вариантом на 1,28 мг/кг. Применение минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ способствовало увеличению содержания меди в зеленой массе до 2,21 мг/кг. Некорневая подкормка МикроСтим-Цинк, Медь на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ способствовала максимальному повышению меди на 2,74–4,95 мг/кг относительно фонового варианта. Некорневая подкормка комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ увеличивала содержание меди в зеленой массе на 1,56 мг/кг.

Наименьшее содержание цинка в зеленой массе кукурузы (5,30 мг/кг) было в варианте без применения удобрений. Использование нового комплексного удобрения с В и Zn в дозе, эквивалентной варианту с применением $N_{90}P_{70}K_{120}$, способствовало увеличению содержания цинка в зеленой массе до 9,48 мг/кг, по сравнению с вариантом без применения удобрений.

В фоновом варианте ($N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$) содержание цинка в зеленой массе составило 8,99 мг/кг, Некорневая подкормка микроудобрением Адоб-Цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ способствовала накоплению цинка на 5,5 мг/кг по сравнению с фоном. Некорневые подкормки МикроСтим-Цинк, Медь + N_{30} и МикроСтим-Цинк, Бор на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ повышали содержание цинка в зеленой массе кукурузы на 4,43 и 4,02 мг/кг соответственно.

Максимальное содержание цинка в зеленой массе кукурузы (14,63 мг/кг) было в варианте с применением навоза в сочетании с некорневой подкормкой МикроСтим-Цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$.

В табл. 6 приведены данные об урожайности зеленой массы кукурузы в зависимости от применяемых удобрений. Также определялась окупаемость 1 кг NPK килограммами зеленой массы, и такие показатели ее качества, как сырой протеин, сырая зола, сырой жир и сырая клетчатка.

Применение $N_{60}P_{60}K_{90}$ повышало урожайность зеленой массы на 60 ц/га, а $N_{90}P_{70}K_{120}$ – на 95 ц/га по сравнению с контрольным вариантом. Некорневая подкормка МикроСтим-Цинк на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ увеличивала урожайность зеленой массы на 61 ц/га по сравнению с фоном (табл. 6).

Таблица 6

Влияние макро-, микроудобрений и регулятора роста на урожайность и качество зеленой массы кукурузы (в среднем за 2018 и 2019 гг.)

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га		Окупаемость 1 кг NPK кг зеленой массы	Сырой протеин, %	Сырая зола, %	Сырой жир, %	Сырая клетчатка, %
		к контролю	к фону					
Контроль	313	–	–	–	7,84	6,55	1,29	23,36
$N_{60}P_{60}K_{90}$	373	60	–	29	7,85	5,83	0,96	22,85
$N_{90}P_{70}K_{120}$ (стандартные)	408	95	–	34	8,18	5,50	1,29	22,46
$N_{90}P_{70}K_{120}$ (с Зп и В)	438	125	–	45	9,32	5,45	1,42	22,20
$N_{90}P_{70}K_{120}$ + N_{30} – фон	461	148	–	53	9,34	6,46	1,49	21,70
$N_{120}P_{80}K_{130}$ + N_{30} + МикроСтим-Цинк	630	317	169	96	9,74	6,49	1,43	21,71
Фон + МикроСтим-Цинк	522	209	61	75	9,72	6,08	1,17	23,62
Фон + Адоб-Цинк	541	228	80	81	9,35	6,04	1,28	22,98
Фон + МикроСтим-Цинк, Медь	592	279	131	100	9,16	5,04	1,32	22,90
Фон + Кристалон	624	311	163	111	9,59	6,53	0,98	22,54
Фон + Экосил	498	185	37	66	9,77	5,96	1,35	21,81
Фон + МикроСтим-Цинк, Бор	576	263	115	94	9,54	6,22	1,28	22,72
Навоз 60 т/га + фон ($N_{90}P_{70}K_{120}$ + N_{30})	691	378	230	–	12,79	6,16	1,26	20,92
Навоз 60 т/га + фон ($N_{90}P_{70}K_{120}$ + N_{30}) + МикроСтим-Цинк	746	433	285	–	11,46	4,99	1,43	21,16
$НСР_{05}$	18,3	–	–	–	1,485	1,032	0,535	1,678

Новое специализированное комплексное удобрение для кукурузы с цинком и бором по сравнению с внесением в эквивалентной дозе ($N_{90}P_{70}K_{120}$) мочевины, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия увеличивало урожайность зеленой массы кукурузы на 30 ц/га.

На фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ некорневые подкормки Адоб-Цинк (Польша), МикроСтим-Цинк, МикроСтим-Цинк, Медь и МикроСтим-Цинк, Бор (Беларусь) повышали урожайность зеленой массы кукурузы на 80, 61, 131 и 115 ц/га по сравнению с фоновым вариантом при окупаемости 1 кг NPK 1 кг зеленой массы – 81, 75, 100 и 94 кг соответственно.

Подкормка комплексным удобрением Кристалон (Нидерланды) на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ увеличивала урожайность зеленой массы на 163 ц/га по сравне-

нию с фоном при высокой окупаемости 1 кг NPK 1 кг зеленой массы кукурузы (111 кг). Более высокая урожайность зеленой массы кукурузы при минеральной системе удобрений была в варианте с применением МикроСтим-Цинк на фоне $N_{120+30}P_{80}K_{130}$, она составила 630 ц/га. Обработка посевов кукурузы регулятором роста Экосил на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ повышала урожайность зеленой массы на 37 ц/га по сравнению с фоном. Сочетание навоза и минеральных удобрений обеспечивало самую высокую урожайность зеленой массы. При внесении 60 т навоза + $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ и 60 т/га навоза + $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ + МикроСтим-Цинк урожайность зеленой массы составила 691 и 746 ц/га, что более чем в 1,5 раза выше по сравнению с фоном и в 2,2–2,4 раза выше, чем на контроле.

Минимальное содержание сырой золы в зеленой массе кукурузы было в варианте с применением некорневой подкормки МикроСтим-Цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ – 6,08 %. В варианте без применения удобрений оно составило 6,55 %.

Применение минеральных макро- и микроудобрений, регуляторов роста и органических удобрений не способствовали увеличению содержания сырой золы по сравнению с контрольным вариантом без удобрений.

По содержанию сырого жира наименьшее значение было в варианте с применением минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{90}$ (0,96 %). В удобренном контрольном варианте содержание сырого жира существенно не отличалось от всех других применяемых систем удобрения в опыте и составило 1,29 %.

Наименьшее содержание сырой клетчатки в зеленой массе кукурузы отмечено в варианте с применением 60 т/га навоза на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ и составило 20,92 %, Максимальные значения были у вариантов без применения удобрений, при некорневой подкормке микроудобрением Адоб-Цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$, МикроСтим-Цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$, содержание клетчатки составляло 22,98 – 23,62 %.

Содержание сырого протеина в варианте без применения удобрений было минимальным и составило 7,84 %. В фоновом варианте ($N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$) оно было на 1,78 % выше по сравнению с контрольным вариантом и составило 9,71 %.

Максимальное содержание сырого протеина в зеленой массе кукурузы было в вариантах с применением 60 т/га навоза на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ и 60 т/га навоза в сочетании с некорневой подкормкой МикроСтим-Цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ и составило 12,79 и 11,46 % соответственно, все остальные применяемые системы удобрения отличались от фонового варианта незначительно.

ВЫВОДЫ

1. Применение макро-, микроудобрений и регулятора роста растений Экосил существенно увеличивало фотосинтетическую деятельность посевов и урожайность зеленой массы кукурузы. Максимальное увеличение площади листовой поверхности в фазе молочно-восковой спелости (46,25 тыс. м²/га), фотосинтетического потенциала в период «выметывание – молочно-восковая спелость» (1,734 млн м².сутки/га) и чистой продуктивности фотосинтеза в период «выметывание – молочно-восковая спелость» (9,96 г/м² сутки) отмечены в варианте навоз 60 т/га + $N_{90}P_{70}K_{120}$ + МикроСтим-Цинк.

2. Применение нового специализированного комплексного удобрения – NPK с Zn (0,20 %) и В (0,10 %) для кукурузы увеличивало урожайность зеленой массы на 30 ц/га по сравнению с внесением в эквивалентной дозе ($N_{90}P_{70}K_{120}$) мочевины, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия.

3. Наибольшая урожайность зеленой массы (691 и 746 ц/га), содержание сырого протеина (12,79 и 11,46 %) было в вариантах с органоминеральной системой удобрения.

4. Максимальное содержание сырого протеина в зеленой массе кукурузы было в вариантах с применением 60 т/га навоза на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ и 60 т/га навоза в сочетании с некорневой подкормкой МикроСтим-Цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ и составило 12,79 и 11,46 % соответственно. Максимальное содержание сырой золы в зеленой массе кукурузы в варианте без применения удобрений составило 6,55 %. Максимальное содержание сырого жира (1,43 %) было в вариантах с некорневой подкормкой МикроСтим-Цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ и применением некорневой подкормки МикроСтим-Цинк в сочетании с $N_{120+30}P_{80}K_{130}$.

5. Применение некорневой подкормки МикроСтим-Цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ способствовало максимальному накоплению сырой клетчатки в зеленой массе кукурузы до 23,62 %.

6. Применение некорневой подкормки комплексным удобрением Кристалон в дозе 2 л/га в фазе 6–8 листьев на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ привело к максимальному увеличению (на 0,40 %) содержания калия в зеленой массе до 2,25 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перспективная ресурсосберегающая технология производства кукурузы на зерно: метод. рекомендации. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 72 с.

2. Босак В. Н. Влияние удобрений на продуктивность зеленой массы кукурузы на дерново-подзолистых рыхлосупесчаной и легкосуглинистой почвах / В. Н. Босак [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 1. – С. 142–150.

3. Урожай зерна кукурузы на дерново-подзолистых легкосуглинистой и рыхлосупесчаной почвах в зависимости от применения минеральных и органических удобрений / В. Н. Босак [и др.] // Земляробства і ахова раслін. – 2008. – № 2. – С. 67–68.

4. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 120 с.

5. Дроздова, В. В. Влияние различных видов минеральных удобрений на урожайность и качество кукурузы на зерно / В. В. Дроздова, И. Н. Захарченко // Энтузиасты аграрной науки. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – Вып. 13 – 86 с.

6. Дроздова, В. В. Влияние различных видов минеральных удобрений на урожайность и качество кукурузы на зерно / В. В. Дроздова, И. Н. Захарченко // Энтузиасты аграрной науки. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – Вып. 13. – С. 86.

7. Багринцева, В. Н. Влияние видов удобрений на урожайность кукурузы / В. Н. Багринцева, Г. Н. Сухоярская // Кукуруза и сорго. – 2010. – № 4. – С. 12–14.

8. Дудук, А. А. Научные исследования в агрономии: учеб. пособие / А. А. Дудук, П. И. Мозоль. – Гродно: ГГАУ, 2009. – 336 с.

9. *Кидин, В. В.* Агрохимия: учебник / В. В. Кидин, С. П. Торшин. – М.: Проспект, 2016. – 603 с.

10. *Еремин, Д. И.* Фосфорный режим кукурузы, выращиваемой по зерновой технологии в лесостепной зоне Зауралья / Д. И. Еремин, Е. А. Демин // Агропродовольственная политика России. – 2017. – № 5 (65). – С. 86–91.

11. *Лапа, В. В.* Динамика формирования биомассы кукурузы в зависимости от применения азотных, цинковых и магниевых удобрений / В. В. Лапа, В. Г. Смольский // Приемы повышения плодородия почв, эффективности удобрений и средств защиты растений: материалы междунар. науч.-практ. конф., Горки, 27–29 мая 2003 г. / Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки, 2003. – Ч. 2. – С. 188–192.

12. *Емельянов, И. Е.* Производство кукурузы / И. Е. Емельянов. – М.: Изд-во иностранной литературы. – 1954. – 231 с.

13. *Анспок, П. И.* Микроудобрения: справочник / П. И. Анспок. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л., 1990. – 272 с.

14. *Власюк, П. А.* Значение цинка в регулировании ростовых процессов у растений / П. А. Власюк // Микроэлементы в обмене веществ растений. – Киев, 1976. – С. 126–150.

15. *Скок, Дж.* Функция бора в растительной клетке / Дж. Скок // Микроэлементы. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1962. – 512 с.

16. *Саскевич, П. А.* Применение биостимуляторов роста новосил, 10 % в. э. и экосил, 5 % в. э. в посевах сельскохозяйственных культур Беларуси: рекомендации / Белорус. гос. с.-х. акад.; сост.: П. А. Саскевич [и др.]. – Горки, 2006. – 28 с.

17. *Холодок, П. Г.* Экосил новый экологобезопасный регулятор роста природного происхождения / П. Г. Холодок // Белорус. сел. хоз-во. – 2008. – № 2. – С. 49–50.

18. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур: учеб.-метод. пособие / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша, П. А. Саскевича. – Горки: БГСХА, 2016. – 383 с.

19. Физиология и биохимия растений: метод. указания / Н. П. Решецкий [и др.]. – Горки, 2000. – 144 с.

20. Влияние минерального питания на показатели фотосинтетической активности хлорофилла кукурузы / С. К. Мингалев [и др.] // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 10(128). – С. 25–27.

INFLUENCE OF ORGANIC, MACRO, MICROFERTILIZERS AND GROWTH REGULATOR ON PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF CROPS, YIELD AND QUALITY OF CORN WHILE CULTIVATED FOR SILOS ON SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL

I. R. Wildflush, S. S. Mosur, G. V. Pirahouskaya

Summary

Corn is the main silage crop in the agriculture of the Republic of Belarus. The main technique aimed at achieving this goal is the use of mineral and organic fertilizers. To form high yields, corn plants require a significant amount of nutrients throughout the growing season. Thus, these studies are relevant. The use of fertilizers significantly

influenced the increase in the yield of green mass of corn, and the content of necessary macro- and micro-elements in it. Promoted a positive photosynthetic activity of crops. The improvement of all these indicators is affected not only by the correctly selected doses of organic and macronutrient fertilizers, but also by micronutrient fertilizers and growth regulators. The best fertilizer system to obtain a high and high-quality corn silage crop during the experiments was organomineral with foliar top dressing with zinc-containing micronutrient fertilizers.

Поступила 20.04.2020

УДК 631.46:633.1:631.445.24

ВЛИЯНИЕ МОНО- И БИНАРНЫХ ИНОКУЛЯНТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ И ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОСЕВОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЛЕГКОСУГЛИНИСТЫХ ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВАХ

**Н. А. Михайловская¹, Д. В. Войтка², Н. Н. Цыбулько¹, А. М. Устинова¹,
Т. Б. Барашенко¹, С. В. Дюсова¹**

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

*²Институт защиты растений,
аг. Прилуки, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

При возделывании в эрозионных ландшафтах зерновые культуры испытывают стресс, связанный с неудовлетворительными свойствами почв из-за потерь элементов минерального питания, органического вещества и ассоциированных с ним микробной биомассы и экстрацеллюлярных почвенных ферментов [1–3]. Микробные инокулянты с широким спектром приспособительных свойств могут обеспечить полифункциональное положительное действие на растения, способствуя их адаптации на эродированных почвах [4, 5].

К перспективным инокулянтам относятся ростостимулирующие ризобактерии, среди которых наибольший интерес представляют азотфиксирующие бактерии *Azospirillum* spp. По современным представлениям их положительное действие на растение обусловлено сочетанием многих факторов: гормональный эффект [6, 7], эффективное использования элементов питания из атмосферы, почвы и удобрений [6–9], мобилизация труднорастворимых фосфатов [8], влияние на иммунитет растений и ряд других [6]. Существенным преимуществом *Azospirillum* spp. считается их высокая подвижность как фактор успешной колонизации корней растений [10].

Большой интерес представляет микробная мобилизация калия из труднодоступных почвенных форм. Запасы валового калия в дерново-подзолистых почвах

значительны, основная часть валового калия представлена алюмосиликатными минералами и составляет 98–99 %. Микробная мобилизация почвенного калия, входящего в состав первичных и вторичных минералов, перспективна как биологический способ улучшения калийного питания растений. Наиболее активны в отношении мобилизации почвенного калия слизиобразующие бациллы, широко распространенные в зоне умеренного климата [11, 12].

Гормональный эффект считается одним из основных факторов повышения урожайности при использовании микробных инокулянтов. Отмечаются характерные признаки действия фитогормонов – увеличение объема и массы корней, числа и массы побегов. Эксперименты по количественной оценке влияния *A. brasilense* на развитие растений в начальные стадии онтогенеза показали, что объем корней увеличивался в среднем на 30 %, их сырая масса – на 54 %, сырая масса надземной части – на 25 % [14]. При оценке гормонального эффекта *Bacillus circulans* увеличение объема корней составило 18 %, их сырой массы – 24 %, сухой массы – 40 %, сырой массы надземной части – 18 % [14]. Стимуляция развития корневой системы приводит к увеличению поглощающей поверхности корней и обеспечивает повышение адаптивных возможностей инокулированных растений, что актуально в условиях стресса на эродированных почвах. В коллекции Института почвоведения и агрохимии имеются штаммы и изоляты азотфиксирующих – *Azospirillum* sp. и слизиобразующих бактерий *Bacillus* sp. Многие представители *Azospirillum* spp. и *Bacillus* spp. способны синтезировать и выделять в окружающую среду фитогормоны, антибиотики, другие физиологически активные вещества [13, 14].

В современных условиях большое значение имеет биологизация защиты растений от корневых инфекций. Потери урожайности зерновых культур от корневой гнили могут достигать 30 и более процентов [15]. Для активного биологического контроля корневой гнили злаковых культур актуально применение сапротрофных грибов р. *Trichoderma*, которым принадлежит ведущая роль среди почвенных антагонистов грибного происхождения. Многочисленные исследования свидетельствуют об их высокой эффективности против *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn, *Sclerotium rolfsii* Sacc, *Fusarium oxysporum*, *F. culmorum*, *Gaeumannomyces graminis* var. *Triticum* J., Walke и ряда других [17–19]. Из коллекционного фонда Института защиты растений отобран штамм гриба *T. longibrachiatum* L-7 (IBL273f GenBank KY346984.1, NCBI), который характеризуется высокой антагонистической активностью по отношению к основным возбудителям фузариозной гнили и других корневых инфекций зерновых культур – *F. poae*, *F. culmorum*, *F. graminearum* и *B. sorokiniana*. Показатели антагонистической активности *Trichoderma* sp. L-7 варьируют в следующих пределах: *Fusarium oxysporum* – 64,5–100 %, *Fusarium poae* – 73,7–100 %, *Fusarium culmorum* – 66,5–75,0 %, *Fusarium solani* – 64,9–71,0 %, *Alternaria alternata* – 68,4–100 %, *Sclerotinia* sp. – 59,8–100 %, *Bipolaris sorokiniana* – 71,7–86,2 %.

Цель исследований – оценка влияния моноинокулянтов *Azospirillum brasilense*, *Bacillus circulans*, *Trichoderma longibrachiatum* и их бинарных сочетаний на урожайность и фитопатологическое состояние посевов зерновых культур на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований служили моно- и бинарные инокулянты на основе ассоциативных азотфиксирующих бактерий *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg & Дцберейнер (штамм *Azospirillum brasilense* 2(в)3); калиймобилизующих бактерий *Bacillus circulans* Jordan (штамм *Bacillus circulans* K-81) и гриба-антагониста *Trichoderma longibrachiatum* (штамм *Trichoderma longibrachiatum* L-7).

Полевой стационар «Стоковые площадки». Сравнительные испытания моноинокулянтов *Azospirillum brasilense* 2(в)3, *Bacillus circulans* K-81, гриба-антагониста *Trichoderma longibrachiatum* L-7 и их бинарных композиций проводили в полевом стационаре «Стоковые площадки» на эродированных дерново-подзолистых почвах, сформированных на мощных лессовидных суглинках в Центральной почвенно-экологической провинции (СПК «Щомыслица», Минский р-н). Стационар заложен по геоморфологическому профилю от водораздельной равнины до подножия склона. Склон северной экспозиции – 5–6°. Агрохимические свойства пахотного слоя почвы и условия вегетации представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика почвы полевого стационара и гидротермических условий периода исследований

Годы исследований	Гумус, % (ГОСТ 26213-91)	pH _{KCl} (ГОСТ 26483-85)	(ГОСТ 26207-91), мг/кг		ГТК (по Селянинову)
			P ₂ O ₅	K ₂ O	
2017–2018 (сток. площ. 8)	1,8–2,1	5,4–5,8	360–428	233–300	1,44; 1,66
2018–2019 (сток. площ. 7)	2,1–2,2	5,2–5,3	359–434	248–321	1,49

Эффективность обработки посевов моно- и бинарными инокулянтами изучали на ячмене яровом сорта Стратус (2017 г.), ржи озимой сорта Пламя (2018 г.) и тритикале озимом сорта Динаро (2019 г.). Фоны удобрений – N₉₀₊₃₀P₅₀K₉₀ под ячмень, N₉₀₊₃₀P₅₀K₁₀₀ – под рожь и тритикале. Фосфорные (аммофос) и калийные (хлористый калий) удобрения применяли для основного внесения, азотные (карбамид) – для основного внесения и подкормки. Повторность в стационарном опыте трехкратная. Общая площадь делянки – 22 м² (2,2x10), учетная – 20 м² (2,0x10).

Метеорологические условия периодов вегетации (2017–2019 гг.) в сравнении со среднемноголетними данными представлены на рис. 1.

Для обработки посевов зерновых культур использовали жидкие препаративные формы микробных инокулянтов. Посевы ячменя обрабатывали в фазе всходы – начало кущения, посевы озимых культур – весной в фазе кущения. Титры бактериальных агентов (*A. brasilense* и *B. circulans*) в моноинокулянтах и бинарных композициях 1,0–2,0·10⁹ КОЕ/мл; титры *T. longibrachiatum* – 1,1·10⁹ КОЕ/мл. Соотношение компонентов в бинарных композициях – 1 : 1. Концентрации инокулянтов – 5,0 %.

Растительные образцы для учета распространенности и развития корневой гнили на посевах ржи озимой (2018 г.) отбирали в стадиях колошения и молочной спелости, на посевах тритикале озимого (2019 г.) – в стадиях выхода в трубку, набухания колосьев и цветения.

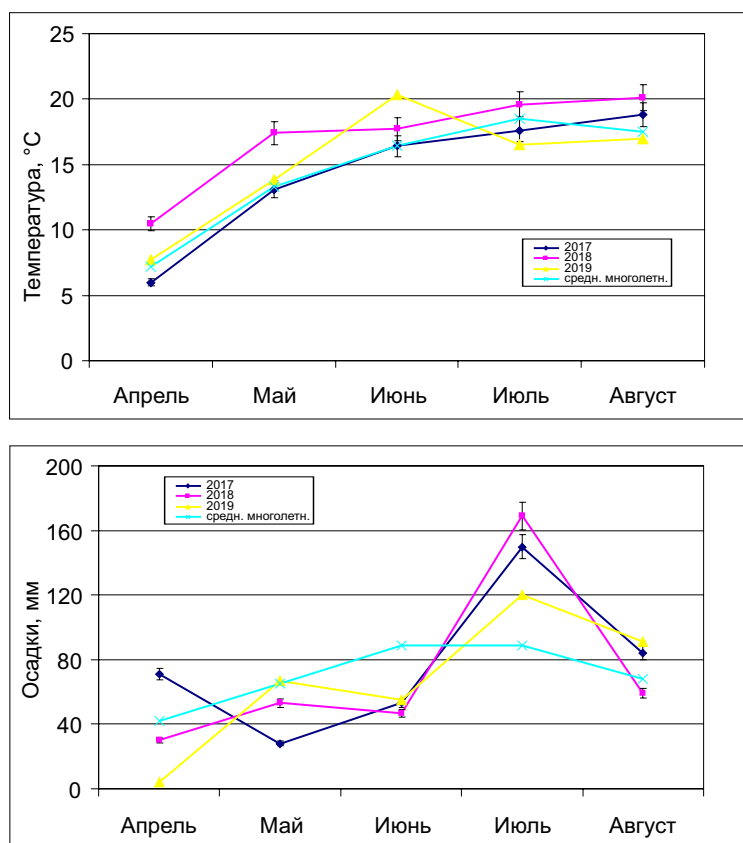


Рис. 1. Метеорологические условия вегетации зерновых культур (2017–2019 гг.)

Распространенность болезни (Р, % пораженных растений) рассчитывали по формуле

$$P = (n \cdot 100) : N,$$

где n – количество больных растений в пробах (экз.); N – общее количество растений в пробах (экз.).

Развитие болезни (R, %) рассчитывали по формуле

$$R = (\sum ab \cdot 100) : (N \cdot k),$$

где ab – произведение числа растений (a) на соответствующий балл поражения (b, N – количество взятых для учета растений (экз.); k – наивысший балл шкалы оценки поражения корневой системы в варианте опыта.

Биологическую эффективность (БЭ, %) рассчитывали по показателю развития болезни или степени поражения по формуле

$$БЭ = (\Pi_k - \Pi_0) \cdot 100 : \Pi_k,$$

где Π_k – процент развития или степень поражения растений в контроле; Π_0 – процент развития или степень поражения в варианте опыта [16].

Шкала оценки степени пораженности корневой системы растений:

- отсутствие поражения – 0,
- поражение до 1/3 корневой системы – 1,
- поражение от 1/3 до 2/3 корневой системы – 2,
- поражение более 2/3 корневой системы – 3.

Учет урожайности зерновых культур производили поделочно. Для статистической обработки результатов применяли дисперсионный анализ и MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние инокуляции посевов на урожайность ячменя ярового Стратус на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах. В 2017 г. в стационарном опыте «Стоковые площадки» сравнивали эффективность моно- и бинарных инокулянтов на посевах ячменя ярового. Установлено, что обработка посевов изученными микробными препаратами повышала урожайность зерна. Величина прибавки урожайности зависела от вида инокулянта и степени эродированности почвы.

Моноинокулянты *A. brasilense*, *B. circulans* и *T. longibrachiatum* значительно повышали урожайность в условиях стресса на слабо- и среднеэродированной почвах, диапазоны прибавок урожайности составили 4,3–6,6 % (3,0–3,5 ц/га) и 5,8–6,6 % (3,0–3,4 ц/га) соответственно.

Бинарные микробные композиции *A. brasilense* + *T. longibrachiatum*, *B. circulans* + *T. longibrachiatum* и *A. brasilense* + *B. circulans*, как правило, были эффективны на разных элементах склона. Прибавки урожайности зерна на незэродированной почве варьировали в пределах 3,6–7,3 % (2,0–4,1 ц/га), на слабоэродированной – в пределах 5,2–7,9 % (2,8–4,2 ц/га), на среднеэродированной почве – от 4,6 до 6,6 % (2,4–3,4 ц/га).

В условиях полевого эксперимента 2017 г. наиболее адекватными моноинокулянтами для ячменя ярового были *A. brasilense* и *B. circulans*, из бинарных композиций – *A. brasilense* + *B. circulans* и *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* (табл. 2).

Таблица 2

Влияние инокуляции посевов на урожайность ячменя ярового Стратус на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах («Стоковые площадки», 2017 г.)

Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка от инокуляции					
	1	2	3	1		2		3	
				ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
Контроль	56,2	53,0	51,8	–	–	–	–	–	–
<i>A. brasilense</i>	59,0	56,5	55,2	2,8	4,9	3,5	6,6	3,4	6,6
<i>B. circulans</i>	58,0	56,5	54,8	1,8	3,2	3,5	6,6	3,0	5,8
<i>T. longibrachiatum</i>	58,0	55,3	54,8	1,8	3,2	3,0	4,3	3,0	5,8
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	60,3	55,8	54,2	4,1	7,3	2,8	5,2	2,4	4,6
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	58,2	56,9	54,9	2,0	3,6	3,9	7,4	3,1	6,0

Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка от инокуляции					
	1	2	3	1		2		3	
				ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	60,1	57,2	55,2	3,9	6,9	4,2	7,9	3,4	6,6
1 – незеродированная, 2 – слабоэродированная, 3 – среднеэродированная почва									
НСР ₀₅ : фактор А (почва) – 1,79; фактор В (инокуляция) – 2,82									

Обобщая экспериментальные данные по ячменю яровому Стратус, можно отметить, что инокуляция посевов – эффективный прием повышения урожайности ячменя на эродированных почвах.

Влияние инокуляции посевов на урожайность ржи озимой Пламя на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах. В 2017–2018 гг. в стационаре «Стоковые площадки» изучена эффективность моно- и бинарных инокулянтов на посевах ржи озимой. Как и при возделывании ячменя ярового, применение микробных инокулянтов способствовало повышению урожайности зерна. При использовании всех протестированных моноинокулянтов существенное повышение урожайности зерна получено на среднеэродированной почве, оно составило 5,4–6,5 % (2,5–3,0 ц/га).

Бинарные инокулянты *A. brasilense* + *T. longibrachiatum*, *B. circulans* + *T. longibrachiatum* и *A. brasilense* + *B. circulans* значимо повышали урожайность ржи озимой на разных элементах склона. Диапазоны прибавок урожайности зерна на незеродированной почве составили 4,4–5,7 % (2,4–3,1 ц/га), на слабоэродированной – 5,7–6,2 % (2,9–3,2 ц/га) и на среднеэродированной почве – от 5,2 до 6,9 % (2,4–3,2 ц/га). Как правило, эффективность микробных инокулянтов возрастала в условиях стресса на эродированных почвах.

Лучшие показатели урожайности ржи озимой отмечены при использовании микробных моноинокулянтов *A. brasilense* и *T. longibrachiatum*, а также при обработке посевов бинарными композициями *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* и *A. brasilense* + *B. circulans* (табл. 3).

Таблица 3

Влияние инокуляции посевов на урожайность ржи озимой Пламя на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах (Стоковые площадки, 2018 г.)

Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка от инокуляции					
	1	2	3	1		2		3	
				ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
Контроль	54,0	51,3	46,1	–	–	–	–	–	–
<i>A. brasilense</i>	56,1	53,5	49,1	2,1	3,9	2,2	4,3	3,0	6,5
<i>B. circulans</i>	55,7	53,7	48,6	1,7	3,1	2,4	4,7	2,5	5,4
<i>T. longibrachiatum</i>	55,6	53,5	48,9	1,6	3,0	2,2	4,3	2,8	6,1
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	56,4	54,2	49,2	2,4	4,4	2,9	5,7	3,1	6,7
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	56,6	53,1	48,5	2,6	4,8	1,8	3,4	2,4	5,2
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	57,1	54,5	49,3	3,1	5,7	3,2	6,2	3,2	6,9
1 – незеродированная, 2 – слабоэродированная, 3 – среднеэродированная почва									
НСР ₀₅ : фактор А (почва) – 1,37; фактор В (инокуляция) – 2,24									

Влияние микробных инокулянтов на показатели продукционного процесса и урожайность тритикале озимого Динаро на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах. В полевом стационаре «Стоковые площадки» в 2019 г. изучено влияние микробных инокулянтов на продукционный процесс озимого тритикале. Установлена зависимость показателей продукционного процесса от свойств моноинокулянтов и состава микробной композиции для обработки посевов.

Наибольшее влияние на количество продуктивных стеблей оказывали моноинокулянт *B. circulans* – (588–608 шт./м²) и бинарная композиция *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* (574–595 шт./м²), стимуляция формирования продуктивных стеблей составила 4–14 % по почвенно-эрозионной катене.

Применение бинарного инокулянта *B. circulans* + *T. longibrachiatum* (35,2–38,8 шт.), моноинокулянта *A. brasilense* (35,5–38,5 шт.) и бинарной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* (33,2–36,8 шт.) приводило к увеличению числа зерен в колосе на 8–16 %, 9–15 % и 2–9 % на неэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах соответственно.

Наибольшее положительное влияние на массу колоса оказывали моноинокулянты *A. brasilense* (1,15–1,27 г) и бинарные микробные композиции – *B. circulans* + *T. longibrachiatum* (1,12–1,28 г) и *A. brasilense* + *B. circulans* (1,07–1,24 г), повышение массы колоса достигало 11–17 %, 8–17 % и 3–11 % соответственно по почвенно-эрозионной катене (табл. 4).

Таблица 4

Влияние микробных инокулянтов на показатели продукционного процесса и массу 1000 зерен озимого тритикале Динаро в фазе восковой спелости (Стоковые площадки, 2019 г.)

Вариант	Число продукт. стеблей, шт/м ²			Число зерен в колосе, шт.			Масса зерна 1 колоса, г			Масса 1000 зерен, г					
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Контроль	564	552	526	33,8	33,5	32,7	1,12	1,09	1,04	33,2	32,2	31,2			
<i>A. brasilense</i>	540	508	510	36,8	38,5	35,5	1,24	1,27	1,15	33,4	32,7	31,9			
<i>B. circulans</i>	588	608	600	33,1	33,0	32,5	1,13	1,07	1,01	34,1	32,3	31,6			
<i>T. longibrachiatum</i>	580	564	534	33,7	34,7	34,9	1,14	1,14	1,09	34,1	33,0	31,4			
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibr.</i>	595	574	586	34,1	33,2	33,0	1,14	1,12	1,05	33,8	33,5	32,2			
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibr.</i>	516	498	526	37,9	38,8	35,2	1,28	1,27	1,12	33,6	32,6	32,0			
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	542	542	552	36,8	36,3	33,2	1,24	1,20	1,07	34,1	32,9	32,4			
НСП ₀₅	А (почва)			13,9			0,52			0,04			0,58		
	В (инокуляция)			20,8			0,65			0,05			0,85		
1 – неэродированная 2 – слабоэродированная 3 – среднеэродированная почва															

В полевом стационаре на посевах тритикале озимого Динаро также установлено повышение урожайности под действием микробных инокулянтов. Эффективность применения азотфиксирующих, калиймобилизующих ризобактерий и

гриба-антагониста (*A. brasilense*, *B. circulans* и *T. longibrachiatum*) в форме моноинкулянтов на слабо- и среднеэродированных почвах составила 4,3–6,1 % (2,6–3,7 ц/га) и 5,8–6,5 % (3,2–3,6 ц/га) (табл. 5).

Применение бинарных микробных композиций, как правило, обеспечивало положительный эффект на разных элементах склона. Прибавки урожайности зерна на незеродированной почве варьировали от 3,8 до 5,8 % (2,4–3,7 ц/га), на слабоэродированной – от 5,6 до 6,4 % (3,4–3,9 ц/га) и на среднеэродированной почве – от 6,3 до 7,6 % (3,5–4,2 ц/га). Отмечено антистрессовое действие протестированных микробных инокулянтов.

На посевах тритикале озимого азотфиксирующие ризобактерии *A. brasilense* обеспечили существенные прибавки зерна на всех элементах склона – 4,2 % (2,7 ц/га), 6,1 % (3,7 ц/га) и 5,8 % (3,2 ц/га). Моноинкулянты на основе *B. circulans* и *T. longibrachiatum* были наиболее эффективны на эродированных почвах, прибавки урожайности составили 4,3–6,5 % (2,6–3,6 ц/га).

Из бинарных инокулянтов лучшие показатели урожайности получены за счет использования *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* – 5,3–7,6 % (3,4–4,2 ц/га) и *A. brasilense* + *B. circulans* – 5,8–6,4 % (3,7–3,9 ц/га) соответственно по почвенно-эрозионной катене (табл. 5). Микробные инокулянты эффективнее действовали на урожайность в условиях стресса на эродированных почвах.

Таблица 5

Влияние инокуляции на урожайность тритикале озимого Динаро на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах (Стоковые площадки)

Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка от инокуляции					
	1	2	3	1		2		3	
				ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
Контроль	63,8	60,9	55,5	–	–	–	–	–	–
<i>A. brasilense</i>	66,5	64,6	58,7	2,7	4,2	3,7	6,1	3,2	5,8
<i>B. circulans</i>	65,8	64,2	59,1	2,0	3,1	3,3	5,4	3,6	6,5
<i>T. longibrachiatum</i>	66,0	63,5	58,7	2,2	3,4	2,6	4,3	3,2	5,8
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrach.</i>	67,2	64,5	59,7	3,4	5,3	3,6	5,9	4,2	7,6
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrach.</i>	66,2	64,3	59,2	2,4	3,8	3,4	5,6	3,7	6,7
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	67,5	64,8	59,0	3,7	5,8	3,9	6,4	3,5	6,3
НСР ₀₅ : фактор А (почва) – 1,57; фактор В (инокуляция) – 2,56									
1 – незеродированная, 2 – слабоэродированная, 3 – среднеэродированная почва									

Влияние микробных инокулянтов на фитопатологическое состояние посевов ржи озимой Пламя на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах. Анализ показателей распространенности и развития корневой гнили в течение вегетации в посевах ржи озимой показал максимальное развитие болезней в фазе молочной спелости. Установлено, что применение моно- и бинарных инокулянтов *A. brasilense*, *B. circulans* и *T. longibrachiatum* в разных сочетаниях снижало проявление болезни.

Максимальное число зараженных растений в фазе молочной спелости отмечено в контроле (85,3 %) на среднеэродированной почве, развитие болезни до-

стигало 21,3 %, максимальный балл поражения – 1. В вариантах с применением моноинокулянтов и их бинарных сочетаний также отмечено снижение патологического процесса. Наиболее эффективную защиту от корневой гнили обеспечивал моноинокулянт *T. longibrachiatum*, распространенность болезни на незеродированной почве снижалась на 35,6 %, на слабо- и среднеэродированной – на 34,2 % и 40,4 %. Биологическая эффективность *T. longibrachiatum* составила 48,6 %, 42,1 % и 47,4 % соответственно.

Как и следовало ожидать, бактериальные инокулянты были менее эффективны: моноинокулянты *A. brasilense* и *B. circulans* снижали распространенность болезни на незеродированной почве на 7,6 и 10,6 %, на слабоэродированной – на 17,4 и 8,9 % и на среднеэродированной почве – на 15,5 и 13,1 %. Биологическая эффективность бактериальных моноинокулянтов составила 11,6 и 14,2 %, 20,7 и 10,9 %, 21,7 и 15,5 % соответственно (табл. 6).

При использовании бинарного инокулянта *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* распространенность болезни снижалась на 33,9 % на незеродированной почве, на 35,6 % – на слабоэродированной почве, на 40,4 % – на среднеэродированной. Биологическая эффективность *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* составила 46,4; 44,1 и 47,4 % соответственно. Применение бинарной композиции *B. circulans* + *T. longibrachiatum* снижало распространенность корневой гнили на незеродированной и слабоэродированной почвах на 35,1 %, на среднеэродированной почве – на 38,0 %. Биологическая эффективность *B. circulans* + *T. longibrachiatum* составила 47,5; 43,1 и 44,6 % соответственно.

Биологическая эффективность бактериальных моноинокулянтов *A. brasilense* и *B. circulans* варьировала на незеродированной почве от 11,6 до 14,2 %, на слабоэродированной – от 10,9 до 20,7 %, на среднеэродированной – от 15,5 до 21,7 %. Биологическая эффективность бинарной бактериальной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* составила на незеродированной почве 35,0 %, на слабоэродированной – 34,7 %, на среднеэродированной – 25,8 % (табл. 6).

Таблица 6

Влияние микробных инокулянтов на развитие и распространенность корневой гнили зерновых культур на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах (Стоковые площадки, 2017, 2019 гг.)

Вариант	Рожь озимая (молочная спелость)			Тритикале озимое (цветение)		
	P, %	R, %	БЭ	P, %	R, %	БЭ
<i>Неэродированная почва</i>						
Контроль	73,3	18,3	–	35,0	18,1	–
<i>A. brasilense</i>	65,7	16,4	11,6	25,0	12,8	29,3
<i>B. circulans</i>	62,7	15,7	14,2	28,8	14,7	18,8
<i>T. longibrachiatum</i>	37,7	9,4	48,6	19,8	10,5	42,0
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	39,4	9,8	46,4	18,8	9,7	46,4
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	38,2	9,6	47,5	21,3	10,0	44,8
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	47,6	11,9	35,0	23,0	11,6	35,9
<i>Слабоэродированная почва</i>						
Контроль	80,9	20,2	–	43,8	21,9	–
<i>A. brasilense</i>	63,5	15,9	20,7	30,0	15,3	30,1

Вариант	Рожь озимая (молочная спелость)			Тритикале озимое (цветение)		
	P, %	R, %	БЭ	P, %	R, %	БЭ
<i>B. circulans</i>	72,0	18,0	10,9	32,5	16,9	22,8
<i>T. longibrachiatum</i>	46,7	11,7	42,1	23,8	11,9	45,7
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	45,3	11,3	44,1	23,8	12,2	44,3
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	45,8	11,5	43,1	22,5	11,3	48,4
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	52,9	13,2	34,7	30,0	15,0	31,5
<i>Среднеэродированная почва</i>						
Контроль	85,3	21,3	–	42,5	21,9	–
<i>A. brasilense</i>	69,8	17,5	21,7	32,5	15,9	27,4
<i>B. circulans</i>	72,2	18,0	15,5	33,8	17,2	21,5
<i>T. longibrachiatum</i>	44,9	11,2	47,4	25,0	12,5	42,9
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	44,9	11,2	47,4	26,3	12,2	44,3
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	47,3	11,8	44,6	28,8	13,1	40,2
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	63,2	15,8	25,8	31,3	15,3	30,1
P – распространенность болезни, R – развитие болезни, БЭ – биологическая эффективность						

Влияние микробных инокулянтов на фитопатологическое состояние посевов тритикале озимого Динаро на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах. Сравнительный анализ экспериментальных данных по учету пораженности растений корневой гнилью в полевом стационаре (фаза цветения) указывает на снижение патологического процесса по почвенно-эрозионной катене при обработке посевов микробными инокулянтами. За счет внесения моноинокулянта *T. longibrachiatum* распространенность корневой гнили на незэродированной снижалась на 15,2 %, на слабо- и среднеэродированной – на 20,0 и 17,5 %. Биологическая эффективность моноинокулянта *T. longibrachiatum* составила 42,0; 45,7 и 42,9 % соответственно. Как и в посевах ржи озимой, бактериальные моноинокулянты уступали по эффективности *T. longibrachiatum* в отношении защиты растений от корневой гнили. Биологическая эффективность моноинокулянтов *A. brasilense* и *B. circulans* на незэродированной почве составила 29,3 и 18,8 %, на слабоэродированной – 30,1 и 22,8 %, на среднеэродированной – 27,4 и 21,5 % соответственно.

Среди бинарных композиций наиболее высокую эффективность по защите от корневой гнили обеспечивали инокулянты, содержащие гриб-антагонист *T. longibrachiatum*. Так, бинарная композиция *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* снижала распространенность болезни на 16,2; 20,0 и 16,2 % на незэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах, биологическая эффективность – 46,4; 44,3 и 44,3 % соответственно. Бинарный инокулянт *B. circulans* + *T. longibrachiatum* снижал распространенность болезни на 13,7; 21,3 и 13,7 % на незэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах, биологическая эффективность – 44,8; 48,4 и 40,2 % соответственно. Биологическая эффективность бинарной бактериальной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* на незэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах была ниже и составила 35,9; 31,5 и 30,1 % соответственно (табл. 6).

ВЫВОДЫ

Установлено влияние моноинокулянтов на основе азотфиксирующих (*A. brasilense*), калиймобилизующих (*B. circulans*) ризобактерий и гриба-антагониста (*T. longibrachiatum*) и их бинарных композиций на показатели продукционного процесса, фитопатологическое состояние посевов и урожайность зерновых культур на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах. Обработка посевов моно- и бинарными микробными инокулянтами стимулировала формирование продуктивных стеблей, увеличение числа и массы зерен в колосе, а также приводила к снижению патологического процесса в посевах зерновых культур на разных элементах склона. Наиболее эффективную защиту от корневой гнили обеспечивали моноинокулянт *T. longibrachiatum* и бинарные микробные композиции, включающие гриб-антагонист. Биологическая эффективность *T. longibrachiatum* на посевах ржи озимой составила 42,1–48,6 %, на посевах тритикале озимого – 42,0–45,7 % по почвенно-эрозионной катене. Биологическая эффективность бинарных композиций *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* и *B. circulans* + *T. longibrachiatum* на посевах ржи озимой – 44,1–47,4 % и 43,1–47,5 %, на посевах тритикале озимого – 44,3–46,4 % и 40,2–48,4 % соответственно. Положительное действие микробных инокулянтов на продукционный процесс и фитопатологическое состояние посевов обеспечивает повышение урожайности зерновых культур на эродированных почвах. Величина прибавки урожайности зависит от состава микробного инокулянта, степени эродированности почвы и возделываемой зерновой культуры. В большинстве случаев наиболее значимый эффект от моноинокулянтов отмечается на эродированных почвах (прибавки урожайности 4,3–6,6 %), бинарные микробные композиции эффективны на разных элементах склона (прибавки урожайности – 3,4–7,9 %). Как правило, эффективность моно- и бинарных инокулянтов возрастает с увеличением степени эродированности почвы, что указывает на антистрессовое действие азотфиксирующих, калиймобилизующих ризобактерий и гриба-антагониста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Хазиев, Ф. Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф. Х. Хазиев. – М.: Наука, 1982. – 202 с.
3. Михайловская, Н. А. Ферментативная активность эродированных дерново-подзолистых почв на мощных моренных суглинках / Н. А. Михайловская, А. Ф. Черныш, Т. В. Погирницкая, А. В. Юхновец // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 2(51). – С. 123–133.
4. Михайловская, Н. А. Эффективность микробных инокулянтов при возделывании зерновых культур на дерново-подзолистых суглинистых почвах / Н. А. Михайловская [и др.] // Экологически устойчивое земледелие: состояние, проблемы и пути их решения: сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. с между-

нар. участием, Владимир, 22–24 июня 2018 г. / ВНИИОУ – ф-л ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ». – Иваново: ПресСто, 2018. – С. 182–186.

5. Михайловская, Н. А. Влияние бинарного инокулянта на урожайность и качество озимой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 201–210.

6. Boddy, R. M. Nitrogen fixation associated with grasses and cereals: Recent progress and perspectives for future / R. M. Boddy, J. Dobereiner // Fertilizer Research. – 1995. – Vol. 42. – P. 241–250.

7. Okon, Y. Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots / Y. Okon, Y. Kapulnik // Plant Soil. – 1986. – V. 90. – P. 3–16.

8. Михайловская, Н. А. Изучение способности штамма *A. brasilense* к мобилизации ортофосфатов кальция / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвенные исследования и применение удобрений. – 2003. – Вып. 27. – С. 325–332.

9. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? / I.R. Kennedy [et al.] // Soil Biol. Biochem. – 2004. – Vol 36, № 8. – P. 1229–1244.

10. Bashan, Y. Migration of the rhizosphere bacteria *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* towards wheat roots in the soil / Y. Bashan // J. Gen. Microbiol. – 1986. – Vol. 132. – P. 3407–3414.

11. Аристовская, Т. В. Микробиология процессов почвообразования / Т. В. Аристовская. – Л.: Наука, 1980. – 187 с.

12. Звягинцев, Д. Г. Биология почв / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. – М.: МГУ, 2005. – 445 с.

13. Bashan, Y. Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture / Y. Bashan, H. Levanony // Can. J. Microbiol. – 1990. – Vol. 36. – P. 591–608.

14. Михайловская, Н. А. Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 225–231.

15. Желтова, К. В. Корневые гнили озимой пшеницы и их вредоносность / К. В. Желтова, В. И. Долженко // Вестник ОрелГАУ. – 2017. – № 1(64). – С. 45–51.

16. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / НПЦ НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений; ред. Ф. Буга. – Несвиж, 2007. – 508 с.

17. Cook, R. J. Biological control of Plant Pathogens: Theory to Application / R. J. Cook // Phytopatology. – 1985. – Vol. 75, № 1. – P. 25–29.

18. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains / T. Benitez [et al.] // Intern. Microbiology. – 2004. – Vol. 7, № 4. – P. 249–260.

19. Chet, I. Isolation and biocontrol potential of *Trichoderma hamatum* from soil naturally suppressive to *R. solani* / I. Chet, R Baker // Phytopatology. – 1981. – Vol. 71, № 3. – P. 286–290.

EFFECT OF MONO- AND BINARY INOCULANTS ON YIELD AND PHYTOPATHOLOGY STATUS OF GRAIN CROPS GROWING ON LUVISOL LOAMY SAND ERODED SOILS

**N. A. Mikhailouskaya, D. V. Voitka, N. N. Tsybulko, A. M. Ustinova,
T. B. Barashenko, C. V. Dyusova**

Summary

Application of mono inoculants *Azospirillum brasilense*, *Bacillus circulans*, *Trichoderma longibrachiatum* (sowing treatment) as well as their binary compositions stimulates the formation of generative stems, the increase of grain's number in spike and spike mass, as well as results in the reduction of pathological process in grain crops growing on different slope elements of Luvisol loamy sand eroded soils. Anti stress action of microbial inoculants provides the increase of grain crop yields on eroded soils. As a rule most significant effects from mono inoculants were obtained on eroded soils (yield responses – 4,3–6,6 %). Binary compositions were effective at different slope elements of Luvisol loamy sand eroded soils (yield responses 3,4–7,9 %).

Поступила 26.03.2020

СОТРУДНИКИ ИНСТИТУТА ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ – ОНИ ЗАЩИЩАЛИ РОДИНУ

В. В. Лапа, Н. Ю. Жабровская

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

В этом году мы отмечаем 75-летие Победы советского народа в Великой Отечественной войне. **Сколько подвигов совершено, сколько крови пролито на многострадальной белорусской земле!** Эта война изменила судьбу нескольких поколений, разделила на «до» и «после» не только жизни людей, но и историю всего человечества. Победа – это символ героизма и **беспримерного** мужества, самоотверженности и стойкости, воинской славы и доблести нашего народа, который защитил свою землю от смертельной угрозы и отстоял свою независимость. Основной долг всех последующих поколений нашей страны – сохранить память о подвиге народа, отдать дань благодарности воинам и труженикам тыла, которые своим единством и сплоченностью, трудолюбием обеспечили нам мир и свободу. И сегодня хочется вспомнить, и поклониться всем тем, кто воевал и умирал на фронтах Великой Отечественной войны. И вспомним мы, конечно, наших сотрудников

В первые дни войны многие сотрудники института ушли на фронт и там отчаянно сражались с немецко-фашистскими захватчиками: Урсулов А. Н., Иванов С. Н., Галковский В. И., Моисеев И. Г., Витковский В. И., Булгаков Н. П., Четвериков В. Н., Шемпель В. И., Петруша В. А., Таратута И. Я., Нестюк Н. Н., Забело Н. Е. и др.

Директор Института социалистического сельского хозяйства, кандидат сельскохозяйственных наук Урсулов Александр Николаевич был призван в ряды Красной армии в 1941 г. Воевал в должности начальника штаба гвардейского артиллерийского полка в составе Южного и Украинского фронтов. Был награжден **медалями «За оборону Сталинграда», «За боевые заслуги»** (1942 г.), орденом Красной Звезды (1943 г.) за подготовку плана артиллерийского наступления дивизии при форсировании Днепра и орденом Отечественной войны I степени (1945 г.) за планирование и проведение наступательных боев на территории Чехословакии. Гвардии майор Урсулов А. Н. погиб в бою при освобождении Венгрии в марте 1945 г.

Заведующие лабораториями Галковский Афанасий Максимович, Витковский Владимир Иосифович погибли в 1941 г. при обороне Москвы. Сотрудники Петруша Виктор Андреевич и Таратута Иван Яковлевич погибли в 1941 г. в боях за Беларусь.



Урсулов
Александр Николаевич



Иванов
Сергей Нестерович

В рядах Красной Армии с первых дней войны в должности заместителя командира по политической части батальона химической защиты служил заведующий лабораторией института Иванов Сергей Нестерович. В ходе войны он активно участвовал в боях по обороне Москвы, по освобождению Беларуси, по разгрому немецкой армии на территории Германии. Окончил войну в звании майора. Награжден орденами Отечественной войны 1-й и 2-й степени, боевыми медалями «За оборону Москвы», «За взятие Кенигсберга», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» В 1945 г. был отозван из армии и вновь направлен на работу в Академию наук БССР.

Заведующий отделом агрохимии института Моисеев Иван Григорьевич участвовал в боях в должности парторга 1076-го Изяславльского истребительно-противотанкового артиллерийского полка на Воронежском и Украинском фронтах. За боевые заслуги был награжден орденами

Отечественной войны 2-й степени и Красной Звезды, медалью «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.»

Заведующий вегетационным павильоном института Филиппенко Иван Васильевич в годы войны воевал в составе 3-го Белорусского фронта в звании гвардии капитана, был начальником штаба минометного батальона, командиром минометной батареи, начальником артиллерии гвардейского мотострелкового полка. Во время боя в Восточной Пруссии был тяжело ранен. Награжден орденами Александра Невского, Отечественной войны 1-ой степени, Красной Звезды, медалями «За оборону Москвы», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.»

Булгаков Николай Павлович был призван в ряды Красной армии, служил рядовым в частях Западного и Калининского фронтов. В 1943 г. демобилизован из армии для восстановления работы Института социалистического сельского хозяйства. Награжден медалями «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.»

Научный сотрудник института Четвериков Василий Никифорович после окончания Саратовского военно-пехотного училища воевал в должности помощника начальника штаба гвардейского полка Гвардейской стрелковой дивизии в составе 2-го Украинского фронта. Награжден Орденом Красной Звезды и медалью «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.»

Сотрудник института Нестюк Николай Николаевич был призван в Красную армию 8 июля 1941 г. и воевал в стрелковой дивизии на Волховском и 2-м Прибалтийском фронтах, с 1944 г. – капитан интендантской службы, начальник обозно-вещевого снабжения эвакогоспиталя 2-го Прибалтийского и Забайкальского фронтов. Награжден Орденом Красной Звезды и медалями «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и «За победу над Японией».

С первых дней Великой Отечественной войны Беларусь превратилась в арену жестокого противостояния немецких войск и Красной Армии. В чрезвычайно тяжелых условиях военного времени ярко проявился массовый патриотизм населения Беларуси. Оказавшись в зоне оккупации, большинство людей активно вступили в борьбу, встав на защиту Родины.

Сотрудник института Езубчик Анна Андреевна с сентября 1941 г. – подпольщица-партизанка, вовлекла в подпольную работу многих патриотов, организовала с ними работу по сбору оружия, боеприпасов, медикаментов. С октября 1942 г. в Несвиже с ее участием проведена операция по отравлению солдат в немецком гарнизоне ядовитыми химическими веществами, вынесенными из лаборатории Академии наук. В бригаде им. Ворошилова была партизанкой-разведчицей, доставляла необходимые агентурные данные о противнике, в 1943 г. с участием Езубчик А. А. был захвачен инженер-строитель с чертежами и секретными планами Минска. За боевые заслуги Анна Андреевна была награждена орденом Отечественной войны 1-й степени. В партизанских отрядах воевали Абрамчук А. П., Чуланская А. К., Свирский Я. Н. Заведующий отделом агротехники Ладысев Демьян Исаакович за помощь партизанам расстрелян в 1944 г. в концлагере «Тростенец».



Езубчик
Анна Андреевна

Во время войны ученые института не прекращали своих исследований.

Роговой П. П. с лесотехническим институтом был эвакуирован в г. Свердловск, где в течение трех лет принимал участие в экспедиции по изучению лесов Среднего Урала под руководством академика Сукачева В. Н.

Бельский Б. Б. работал главным агрономом совхоза «Пешинский» Земического района Пензенской области. Ковалевская Н. П. работала научным сотрудником на Яранском опытном поле Кировской области, Зенкевич Т. И. – в Башкирии. Кочергин А. Е. был эвакуирован в Западную Сибирь. После войны оставлен работать в Омске, где в течение многих лет вел тематику по известкованию кислых почв. Шемпель В. И. работал в должности старшего научного сотрудника Кировской лугоболотной опытной станции, затем был направлен в Москву для работы по возобновлению деятельности АН БССР.

Институт социалистического сельского хозяйства был восстановлен в 1943 г. в системе Академии Наук БССР в отделении естественных и сельскохозяйственных наук. Работа проводилась в Самарканде и Москве.

Директором института был назначен С. С. Захаров, ученым секретарем – И. П. Вильгусевич.

В Институте работало шесть лабораторий. Основная задача, над которой работали сотрудники, состояла в восстановлении народного хозяйства республики в послевоенный период.

Во второй половине 1944 г. Академия наук БССР, в том числе и Институт социалистического сельского хозяйства, переехала в Минск.

С этого времени по 1945 г. обязанности директора Института социалистического сельского хозяйства исполняла Езубчик А. А., ученым секретарем работал Вильгусевич И. П. С 1946 г. директором института назначен Шемпель В. И.

Здание института было полностью разрушено. Большая часть ценных научных материалов – уничтожено. Были невозможны потери кадрового состава. К концу 1945 г. в институте работало 65 сотрудников. В это время институт объединял многие научные направления: агрохимия и почвоведение, полеводство, селекция и семеноводство, защита растений, животноводство и ветеринария, механизация, метеорология. В начале 1949 г. институт перевели в восстановленный лабораторный корпус Академии наук. Были оборудовано 23 новые лаборатории и кабинеты, приобретены новые современные приборы.

В дальнейшем в институте работало много сотрудников, участвовавших в Великой Отечественной войне: Алейникова Ольга Прокофьевна, Афанасьев Николай Игнатьевич, Демьянович Анатолий Моисеевич, Домашевич Станислав Иванович, Жилко Владимир Васильевич, Зинкевич Ольга Ильинична, Казаков Григорий Иванович, Кузьмин Иван Михайлович, Куликовский Антон Викентьевич, Никифоренко Иван Давыдович, Петров Василий Кузьмич, Радкевич Анатолий Сильвестрович, Романова Татьяна Александровна, Романенкова Мария Матвеевна, Сергеенко Семен Афанасьевич, Соловей Иван Николаевич, Туренков Николай Исаакович, Цагойко Иосиф Владимирович, Юшкевич Иван Андреевич и др.

Сколько бы десятилетий ни прошло, память о подвиге нашего народа и благодарность за завоеванную свободу навсегда сохраняются в наших сердцах. Мы помним и ценим героизм тех, кто вынес все тяготы кровопролитной войны. Мы чтим память тех, кто ценой своей жизни отстоял независимость Родины.

Каждый год перед Днем победы в Институте почвоведения и агрохимии проводятся торжественные мероприятия, мы встречаемся с оставшимися в живых ветеранами, прошедшими войну. Благодарим их за то, что они делали не только в период военных действий, но и после, за их вклад в развитие белорусской науки.



Встреча с ветеранами войны, 1972 г., слева направо: Домашевич С. И., Фриденштейн Н. С., Романенкова М. М., Соловей И. Н., Афанасьев Н. И., Юшкевич И. А., Иванов С. Н., Кулаковская Т.Н.



Встреча с ветеранами войны, 2008 г.: 1 ряд – Романова Т. А., Демьянович А. М.,
Никифоренко И. Д., Жилко В. В., Цагойко И. В., Афанасьев Н. И.;
2 ряд – Жабровская Н. Ю., Черныш А. Ф., Лапа В. В., Слободницкая Г. В., Гриценко Л. Ф.

Нам остается только хранить светлую память о героях войны и тыла, стараться быть достойными их подвига.

РЕФЕРАТЫ

УДК 631.5: 631.82

Лапа В. В., Мезенцева Е. Г., Кулеш О. Г. Продуктивность сельскохозяйственных культур и применение минеральных удобрений в Республике Беларусь // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 7.

Приводится анализ применения минеральных удобрений в Республике Беларусь и продукционной способности почв. Выявлено, что за счет достаточно высоких доз применения удобрений на пахотных землях в предыдущие годы существенно возросло плодородие почв, о достаточно высоком потенциале которых свидетельствует стабилизация продуктивности пашни на уровне 40–45 ц/га к. ед. В условиях дефицита минеральных удобрений особую актуальность приобретают вопросы повышения их окупаемости и проведения мероприятий по более эффективному использованию достигнутого плодородия почв.

Табл. 2 Рис. 2. Библиогр. 8.

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4:001.51

Шульгина С. В., Азаренок Т. Н., Матыченков Д. В., Матыченкова О. В., Шибут Л. И., Дыдышко С. В. Принципы построения и функционирования справочно-аналитической системы Электронный реестр почв Беларуси // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 15.

Востребованность оперативного доступа к информации о почвах сельскохозяйственных земель актуализирует вопрос о разработке справочно-аналитической системы «Электронный реестр почв Беларуси». Статья содержит нормативно-правовое обоснование необходимости формирования реестра, изложены научно-методические основы его построения.

Табл. 14. Рис. 3. Библиогр. 27.

УДК 631.434.52

Шибут Л. И., Цыбулько Н. Н., Азаренок Т. Н., Жукова И. И. Исторические аспекты картографирования эродированных почв и создания почвенно-эрозионной карты Беларуси // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 37.

В статье дан анализ работ по картографированию эродированных почв в Беларуси, приведены их площади по областям и республике в целом. Представлена составленная в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» почвенно-эрозионная карта, на которой показаны типы эрозии (водная и ветровая) и интенсивность ее проявления (слабая, средняя, сильная и очень сильная) на сельскохозяйственных

землях. Изложена методика ее выполнения, содержание и основные направления использования.

Табл. Рис. Библиогр. 32.

УДК 631.6.02(476)

Матыченкова О. В., Азаренок Т. Н., Шульгина С. В., Матыченков Д. В., Дыдышко С. В. Подзолистые почвы – уникальные почвы Республики Беларусь // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 45.

В статье представлены результаты исследований, выполненных при поддержке БРФФИ, по изучению редких и уникальных почв Республики Беларусь. На основании систематизации и анализа данных проведено исследование по установлению условий формирования, состава и свойств подзолистых почв, развивающихся на связных и рыхлых почвообразующих породах.

Знания о уникальных почвенных разновидностях являются информационной основой обеспечения научно-исследовательских работ по сохранению почв как незаменимого компонента биосферы, могут быть использованы для реализации экологических и природоохранных программ.

Сведения о подзолистых почвах могут быть использованы в образовательных программах для формирования знаний о свойствах, характеристиках, распространении и классификации почв Беларуси, а также специалистами лесной отрасли.

Таб. 2. Рис. 2. Библиогр. 16.

УДК 631.434.1

Цырыбка В. Б., Цыбулька М. М., Усцінава Г. М., Лагачоў І. А., Касьяненка І. І., Юхнавец А. В., Міцькова А. А. Роля арганічных угнаенняў і вапнавання ў фарміраванні структурнага стану і супрацьэразійнай устойлівасці дзярновападзолістых эрадаваных глебаў, якія развіваюцца на лесападобных суглінках // Глебазнаўства і аграхімія. – 2020. – № 1(64). – С. 54.

У артыкуле прыведзены вынікі даследаванняў уплыву арганічных ўгнаенняў і вапнавання на структуру і водаўстойлівасць дзярновападзолістых легкасугліністых глебаў, схільных да эразійнай дэградацыі. Устаноўлены станоўчы ўплыў унясення арганічных угнаенняў на значэння гэтых паказчыкаў. Выяўлены сярэднія статыстычныя залежнасці ($r = 0,67$) паміж утрыманнем агранамічна каштоўных агрэгатаў і водаўстойлівайсці глебы з утрыманнем гумусу ў ей.

Табл. 2. Мал. 2. Бібліягр. 19.

УДК 631.4

Дыдышко С. В., Азаренок Т. Н. К вопросу об устойчивости дерново-палевоподзолистых почв, сформировавшихся на мощных легких лессовидных суглинках, к агрогенным воздействиям // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 61.

Приведена новая интерпретация гумус-гранулометрических отношений дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв в результате проявления культурного процесса почвообразования. Показано наличие общего принципа взаимосвязи между фракциями гранулометрического состава и гумусным состоянием, в частности между содержанием гумуса в физической глине, содержанием гумуса в почве и фракциями гранулометрического состава через константы динамического равновесия. Предпринята попытка оценить степень устойчивости почв на основании показателей гумус-гранулометрических отношений, буферности в кислотном и щелочном интервале и емкости катионного обмена. Полученные данные могут быть применены в качестве нового метода для оценки плодородия и устойчивости почв в результате агрогенного воздействия.

Табл. 8. Библиогр. 29.

УДК 631.4:549.905.8

Алексеев В. Е. Сравнительная характеристика минералогического состояния орошаемого и неорошаемого обыкновенных черноземов юга Молдовы // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 78.

Орошение обыкновенного чернозема юга Молдовы водами хорошего качества из Днестра в течении 12 лет вызвало изменения в составе первичных и глинистых минералов. Они выразились в заметном снижении содержания обеих групп минералов и в относительном накоплении кварца в почве. Среди первичных минералов были разрушены полевые шпаты и слоистые силикаты, а среди глинистых минералов – смектит, хлорит и каолинит. Признаки переноса смектита по профилю и накопления в горизонте В, как отмечают другие исследователи, не установлены. Показатели изменения минералогического состояния свидетельствуют о том, что верхняя часть орошаемого чернозема, наряду с кварцем, получает дополнительное обогащение иллитом. Разрушение силикатных минералов и относительное накопление кварца в почве следует отнести к негативному воздействию орошения на почву.

Табл. 3. Библиогр. 17.

УДК 631.4:549.905.8

Алексеев В. Е. Орошаемый и неорошаемый обыкновенные черноземы юга Молдовы: баланс минералов // Почвоведение и агрохимия. – 2020 – № 1(64). – С. 86.

Баланс масс минералов силикатной части орошаемого на протяжении 12 лет обыкновенного чернозема водами хорошего качества из Днестра в сравнении с неорошаемым обыкновенным черноземом выявил потери от орошения первичных минералов в объеме 201 т/га, глинистых минералов – 470 т/га. Потери оказались соизмеримыми с потерями первичных (259 т/га) и глинистых (607 т/га) минералов за всю историю формирования данного чернозема. Орошение вызвало дополнительную иллитизацию верхней части профиля чернозема и прирост количества иллита на 42 т/га. Среди глинистых минералов наибольшие потери (439 т/га)

связаны со смектитом. Потери смектита произошли на месте без перемещения его вглубь по профилю. Подтверждена применимость использованного приема расчета баланса минералов при оценке изменений в минералогическом составе орошаемых черноземов Молдовы.

Табл. 4. Библиогр. 3.

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.85:631.445.24

Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Симанков О. В., Шедова О. А. Динамика содержания фосфатов, различной растворимости в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высокими запасами фосфора // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 94.

Приведены результаты исследований по изучению фосфатного состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в условиях остаточного последствия фосфорных удобрений. При очень высокой обеспеченности почвы фосфатами различной растворимости за ротацию севооборота достоверное снижение степени их подвижности (на 15–29 %) отмечено на минеральном и органических фонах. Существенное уменьшение содержания фосфатов, определяемых по методу Кирсанова и I + II группы по Чирикову, наблюдалось исключительно на безнавозном фоне и не превышало 8 и 5 % соответственно. Изменение количества фосфатов III группы по Чирикову было несущественным.

Табл. Рис. 4. Библиогр. 10

УДК 631.811.3

Богдевич И. М., Путятин Ю. В., Станилевич И. С., Ломонос О. Л. Динамика обеспеченности калием пахотных и луговых почв Беларуси // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 104.

Анализ результатов за полувековой период крупномасштабного обследования почв показал возросший втрое уровень обеспеченности подвижными формами калия. В настоящее время две трети площади пашни и половина площади луговых земель характеризуется оптимальным и высоким уровнем содержания подвижных форм калия. Однако отмечена большая пестрота содержания подвижных форм калия в пахотных и луговых почвах ряда районов Беларуси. Обоснована необходимость увеличения ресурсов калийных удобрений в районах с преобладанием потенциально плодородных суглинистых почв и снижения накопления невостребованных запасов подвижных форм калия в песчаных почвах. Предложены дифференцированные нормативы среднегодовых показателей баланса калия для оптимизации обеспеченности пахотных почв калием по районам республики.

Табл. 6. Рис. 4. Библиогр. 15

УДК 661.152.3:633.15(476)

Семененко Н. Н., Пироговская Г. В. Агроэкономическая эффективность новых форм комплексных удобрений при возделывании кукурузы на зеленую массу на антропогенно-преобразованных торфяных почвах Полесья // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 117.

В статье приведены данные по влиянию разных агротехнологических приемов (базовая и почвозащитная технология) возделывания кукурузы на зеленую массу, стандартных и новых форм комплексных удобрений с добавками микроэлементов и регуляторов роста растений, разных доз удобрений, микроэлемента (Zn совместно с Экосилом) на урожайность зеленой массы кукурузы, качество продукции, экономическую эффективность и целесообразность применяемых приемов на антропогенно-преобразованных торфяных почвах Полесья. Выявлены наиболее эффективные агротехнологические приемы при возделывании кукурузы на зеленую массу на данных почвах.

Табл. 3. Библиогр. 12.

УДК 631.84:633.2

Цыбулько Н. Н., Евсеев Е. Б., Жукова И. И. Влияние азотных удобрений на продуктивность многолетних злаковых трав на торфянисто-глеевой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 125.

Применение азотных удобрений в дозах от 100 до 140 кг/га увеличивает продуктивность многолетних злаковых трав на фоне $P_{90}K_{150}$ от 92,9 до 105,9 ц/га сена, или от 47,4 до 54,0 ц/га к. ед., на фоне $P_{90}K_{180}$ – от 97,0 до 110,7 ц/га сена, или от 49,5 до 56,5 ц/га к. ед. Максимальная продуктивность обеспечивается при применении $N_{140}P_{90}K_{180}$ – 110,7 ц/га сена, или 56,5 ц/га к. ед. Прибавки сена за счет азотных удобрений на фонах с разными дозами калийных удобрений близкие и составляют на фоне $P_{90}K_{150}$ 30,4–43,4 ц/га сена, или 15,5–22,1 ц/га к. ед., на фоне $P_{90}K_{180}$ – 29,1–42,8 ц/га сена, или 14,9–21,9 ц/га к. ед. Наиболее высокая окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая формируется при внесении их в дозах 120 кг/га. На фоне $P_{90}K_{150}$ она составила 33,8 кг сена, или 17,3 к. ед., на фоне $P_{90}K_{180}$ – 33,1 кг сена, или 16,9 к. ед.

Табл. 4. Библиогр. 10.

УДК 631.445.2:614.76

Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Кирдун Т. М., Белявская Ю. А., Торчило М. М., Бирюкова О. М. Фитотоксичность дерново-подзолистых почв в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 133.

В статье представлены данные фитотестирования дерново-подзолистых почв при регулярном внесении навозных стоков свиней, жидкого навоза КРС и бесподстилочного птичьего помета, с помощью трех тест-культур – ярового ячменя, озимой пшеницы, кукурузы. Установлено, что исследуемые почвы не оказывают

фитотоксического действия на параметры роста и развития тест-культур: всхожесть семян относительно почв без нагрузок составила не менее 90 % при ингибировании длины ростков – не более 11,6 %, корней – 12,7 %. Общая токсичность исследуемых почв соответствует V классу токсичности (норма), т. е. величина тест-функций находится на уровне почв без нагрузок.

Табл. 5. Рис. Библиогр. 9.

УДК 631.438.631.445.1:633.656

Путятин Ю. В. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы на накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr зеленой массой гороха // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 143.

Корреляционный анализ показал достаточно тесную отрицательную взаимосвязь (r) между рН, содержанием подвижных форм фосфора и калия дерново-подзолистой супесчаной почвы и коэффициентами перехода (K_p) ^{137}Cs и ^{90}Sr в зеленую массу гороха. Содержание подвижного калия, при котором отмечено минимальное накопление ^{137}Cs зеленой массой гороха находится в пределах 350–379 мг/кг, гумуса – 2,3–2,5 % и ^{90}Sr при рН – 5,7–6,3. Содержание подвижного фосфора, при котором отмечено минимальное накопление ^{90}Sr зеленой массой гороха находится в пределах 210–240 мг/кг, обменного СаО – 950–1050 мг/кг.

Табл. 5. Рис. 7. Библиогр. 9.

УДК 632.118.3:631.445.2:633.318

Путятин Ю. В. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы на накопление ^{137}Cs клевером луговым // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 152.

В исследованиях, проведенных в 2012–2013 гг. на дерново-подзолистых супесчаных почвах, установлено, что минимальное накопление ^{137}Cs растениями клевера отмечается при рН_(KCl) в интервале 6,1–6,7. Минимальные переходы ^{137}Cs в клевер отмечаются при содержании обменных кальция – 1430–1580 мг/кг и магния – 138–155 мг/кг почвы. Минимальное накопление ^{137}Cs растениями клевера отмечается при содержании подвижного калия – 480–530 мг/кг почвы. Более интенсивно идет снижение накопления ^{137}Cs клевером при увеличении содержания подвижного калия в почве до уровня 300 мг/кг K_2O , дальнейшее повышение подвижного калия в почве менее эффективно. Достаточно тесная и достоверная связь установлена между коэффициентами перехода ^{137}Cs и содержанием гумуса в почве. Минимальные K_p по ^{137}Cs регистрируются при содержании гумуса в интервале от 2,7 до 3,1 %.

Рис. 5. Библиогр. 25.

УДК 631.8:633.854.78

Зими́на М. В. Потребление и вынос элементов минерального питания растениями подсолнечника // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 160.

Представлены результаты исследований по влиянию удобрений на потребление элементов питания растениями подсолнечника по фазам роста и развития. В ходе исследований наблюдение за динамикой накопления азота, фосфора и калия позволило установить, что минеральные удобрения и регуляторы роста оказывают положительное влияние на хозяйственный вынос элементов питания растениями подсолнечника.

Табл. Рис. 3. Библиогр. 9.

УДК 633.412:631.8:631.445.24

Вильдфлуш И. Р., Пироговская Г. В., Хизанейшвили Н. Э. Эффективность применения новых форм комплексных удобрений при возделывании столовой свеклы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 166.

В статье представлены результаты исследований применения новых форм комплексных удобрений при возделывании столовой свеклы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Показано влияние изучаемых удобрений на урожайность корнеплодов, их товарность, качество и вынос элементов питания.

Применение комплексного NPK-удобрения с бором и марганцем в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$ повышало урожайность столовой свеклы на 9,5 т/га по сравнению с применением карбамида, аммонизированного суперфосфата и хлорида калия в такой же дозе. Применение комплексных удобрений для некорневых подкормок Лифдрип и ЖКУ Агрикола Аква Вегета на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ повышало урожайность корнеплодов на 6,5 и 4,3 т/га соответственно. Комплексное NPK-удобрение с бором и марганцем в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$ и Лифдрип на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ обеспечивало наибольшее содержание в корнеплодах свеклы сухого вещества (17,0 и 17,1 %), сахаров (14,0 и 15,4 %) и товарность корнеплодов (96,4 и 95,6 %).

Табл. 6. Библиогр. 6.

УДК 631.81.095.337:633.152:631.445.24

Рак М. В., Пукалова Е. Н., Иванова Н. С., Гук Л. Н., Муковозчик В. А. Влияние микроудобрений на урожайность и качество кукурузы на дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 176.

В статье представлены результаты исследований по изучению эффективности применения жидких микроудобрений МикроСтим при возделывании кукурузы на дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве. Установлено, что некорневые подкормки кукурузы микроудобрениями в период вегетации повышают урожайность, улучшают качество продукции и являются экономически эффективным приемом.

Табл. 2. Библиогр. 10.

УДК 631.81.095.337:633.521

Пукалова Е. Н. Влияние различных форм и доз микроудобрений на накопление и вынос микроэлементов растениями льна масличного // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 182.

В статье приведены результаты полевых опытов по накоплению и выносу микроэлементов растениями льна масличного при внесении их в некорневую подкормку в форме неорганических солей и нового жидкого микроудобрения МикроСтим. Внесение микроудобрения МикроСтим способствовало более интенсивному накоплению бора, цинка и меди в семенах и соломе льна в сравнении с неорганическими солями, увеличивало общий вынос меди на 2,3–30,3 %, цинка – на 8,9–12,5 % (за исключением вариантов с дозой микроэлементов – $Zn_{0,3}Cu_{0,1}$), бора – на 2,8–18,7 %.

Табл. 3. Рис. 2. Библиогр. 7.

УДК 631.825:633.521

Пироговская Г. В, Милоста Ю. Г. Влияние комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений на поступление железа в почву и растения льна масличного // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 190.

В статье приведены данные по влиянию новых форм комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений (в форме сульфатов или хелатов) на поступление железа в почву (пахотный горизонт), урожайность семян, масличность, поступление железа в растения льна масличного в фазу «елочка» и цветения (стебель, соцветия и корни), поражаемость растений различными болезнями при возделывании на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах.

Установлено, что включение железосодержащих соединений в дозах – 0,07–0,10 % от массы удобрения и преимущественно железосодержащих соединений в комплексе с регуляторами роста растений (Эпин, Гидрогумат) положительно влияет на урожайность семян, масличность, при одновременном снижении заболеваемости растений различными болезнями.

Табл. 7. Библиогр. 18.

УДК 631.8:633.255:631.445.24

Вильдфлуш И. Р., Мосур С. С., Пироговская Г. В. Влияние органических, макро-, микроудобрений и регулятора роста на фотосинтетическую деятельность посевов, урожайность и качество кукурузы при возделывании на силос на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 205.

Кукуруза является основной силосной культурой в сельском хозяйстве Республики Беларусь. Основной техникой, направленной на достижение этой цели, является использование минеральных и органических удобрений. Для формирования высоких урожаев растениям кукурузы требуется значительное количество питательных веществ в течение всего вегетационного периода. Таким образом,

эти исследования актуальны. Применение удобрений в значительной степени влияло на увеличение урожайности зеленой массы кукурузы, на содержание в ней необходимых макро- и микроэлементов. Способствовало положительной фотосинтетической деятельности посевов. На улучшение всех этих показателей влияет не только правильно подобранные дозы органических и макроудобрений, но и микроудобрений, регуляторов роста. Наилучшей системой удобрения для получения высокого и качественного урожая силоса кукурузы в ходе опытов стала органоминеральная с некорневой подкормкой цинксодержащим микроудобрением.

Табл. 6. Библиогр. 20.

УДК 631.46:633.1:631.445.24

Михайловская Н. А., Войтка Д. В., Цыбулько Н. Н., Устинова А. М., Барашенко Т. Б., Дюсова С. В. Влияние моно- и бинарных инокулянтов на урожайность и фитопатологическое состояние посевов зерновых культур на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 220.

Установлено, что обработка посевов зерновых культур моноинокулянтами *Azospirillum brasilense*, *Bacillus circulans*, *Trichoderma longibrachiatum* и их бинарными композициями стимулировала формирование продуктивных стеблей, увеличение числа и массы зерен в колосе, а также приводила к снижению патологического процесса в посевах зерновых культур на разных элементах склона дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почв. Антистрессовое действие микробных инокулянтов обеспечивает повышение урожайности зерновых культур на эродированных почвах. Как правило, наиболее значимый эффект от моноинокулянтов отмечается на эродированных почвах (прибавки урожайности – 4,3–6,6 %), бинарные микробные композиции эффективны на разных элементах склона (прибавки урожайности – 3,4–7,9 %).

Табл. 6. Рис. Библиогр. 19.

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 – методы и объекты исследований, результаты исследований и их обсуждение), выводы, список цитированных источников. К статье прилагается аннотация на русском и английском языках (с переводом названия статьи, фамилий авторов). Статья должна быть подписана всеми авторами.

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

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

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

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

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

Редакция оставляет за собой право вносить в текст редакционную правку.

ДЛЯ ЗАМЕТОК