ISSN 0130-8475

Институт почвоведения и агрохимии

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1961 г.

№ 1(50)
январь–июнь 2013 г.

Минск
2013

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

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. ЛАПА*

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

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

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

1(50)
январь–июнь 2013 г.

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

Адрес редакции: 220108, г. Минск, ул. Казинца, 62
Тел. (017) 212-08-21, факс (017) 212-04-02
E-mail brissainform@mail.ru

© Республиканское научное дочернее
унитарное предприятие «Институт почвоведения
и агрохимии», 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Лапа В.В., Жагунь А.А. Влияние комплексного применения минеральных макро- и микроудобрений на хлебопекарные качества зерна сортов озимой пшеницы при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве 10

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Черныш А.Ф., Червань А.Н., Качков Ю.П. Принципы экологического нормирования допустимой антропогенной нагрузки на почвенный покров агроландшафтов Беларуси 26

Алексеев В.Е., Чербарь В.В., Бургеля А.Н., Варламов Е.Б. Ксерофитно-лесные черноземы Молдовы: особенности минералогического состава и его трансформации 42

Алексеев В.Е., Чербарь В.В., Бургеля А.Н., Варламов Е.Б. Ксерофитно-лесные черноземы: баланс минералов 52

Алексеев В.Е., Чербарь В.В., Бургеля А.Н., Варламов Е.Б. Ксерофитно-лесные черноземы: природные резервы калия..... 62

Лихацевич Н.А. Анализ комплексных характеристик дефляции почв Полесья..... 68

Черныш А.Ф., Лихацевич Н.А. Прогноз интенсивности выдувания почвы на землях Белорусского Полесья..... 80

Гапонюк А.Н., Сорока А.В., Костюченко Н.Н. Продуктивность многолетних бобовых культур на дефляционноопасных почвах Белорусского Полесья 89

Черный С.Г., Абрамов Д.А. Мониторинг гумусового состояния чернозема южного с использованием многоспектральных снимков спутника Landsat 7 97

Черный С.Г., Выдынивская О.В. Влияние технологии No-till на структуру чернозема южного 106

Домась А.С., Клебанович Н.В. Фракционный состав гумуса дерново-подзолистых почв Брестского Полесья..... 118

Дробыш С.В., Бубнова Т.В., Матыченкова О.В. Спектральная отражательная способность агродерново-подзолистых почв в зависимости от гранулометрического состава 126

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Лапа В.В., Ивахненко Н.Н. Продуктивность севооборотов и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном применении удобрений 133

Цыганов А.Р., Батыршаев Э.М., Вильдфлуш И.Р. Влияние комплексного применения минеральных удобрений и средств защиты растений на интенсивность продукционных процессов, урожайность и качество зерна озимого тритикале..... 146

Вильдфлуш И.Р., Мишура О.И., Глатанкова И.В. Эффективность применения макро- и микроудобрений при возделывании пивоваренного ячменя на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве 156

Бирюкова О.М., Серая Т.М., Богатырева Е.Н., Мезенцева Е.Г. Влияние твердых и жидких органических удобрений на продуктивность культур звена севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве..... 165

Маркевич Д.В., Путятин Ю.В., Таврыкина О.М. Сравнительный анализ состава незаменимых аминокислот в основной продукции зерновых культур 178

Таврыкина О.М., Богдевич И.М., Путятин Ю.В., Третьяков Е.С., Довнар В.А., Маркевич Д.В. Влияние различных уровней обеспеченности дерново-подзолистой суглинистой почвы обменным магнием и доз минеральных удобрений на урожайность и биохимическое качество зерна кукурузы..... 186

Ходянков А.А., Гаврюшин И.Ю. Влияние минеральных удобрений и брассиностероидов на продуктивность льна масличного и вынос элементов питания..... 198

Щетко А.И. Продуктивность звена севооборота и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от удобрений..... 209

Пестерева А.С., Сорока С.В. Вынос основных элементов питания яровой тритикале и сорными растениями в органогенезе..... 217

Рак М.В., Пукалова Е.Н. Зависимость урожайности и качества люпина узколистного от обеспеченности дерново-подзолиситой супесчаной почвы кобальтом и применения кобальтовых удобрений 226

Рак М.В., Лапа В.В., Соколов Г.А., Титова С.А., Николаева Т.Г., Пукалова Е.Н. Эффективность микроудобрений ЭлеГум при возделывании озимой пшеницы и ячменя на дерново-подзолистых почвах 236

Мирошниченко Н.Н., Тертышная А.В., Панасенко А.В. Пространственная неоднородность микроэлементного состава склоновых почв Левобережной Лесостепи Украины..... 243

Лыкова Е.А., Мирошниченко Н.Н., Панасенко О.С., Сябрук О.П. Лабильное органическое вещество как фактор мобилизации-иммобилизации микроэлементов в почве 256

Лужинский Д.В., Белякова К.В. Эффективность некорневых подкормок борными микроудобрениями посевов кормовой свеклы..... 266

Лукьянюк Н.А., Абрамович И.К. Влияние элементов технологии на содержание вредных несахаров у гибридов сахарной свеклы..... 272

Хатулев И.Н. Влияние комплексных удобрений с добавками микроэлементов на урожайность многолетних бобово-злаковых травосмесей на осушенной дерново-подзолистой глеевой легкосуглинистой почве 282

Щетко А.И., Рыбак А.Р. Эффективность применения удобрений под картофель на дерново-подзолистой супесчаной почве..... 300

Михайловская Н.А., Черныш А.Ф., Миканова О., Барашенко Т.Б., Тарасюк Е.Г., Дюсова С.В. Эффективность применения фосфатмобилизующих инокулянтов на посевах пшеницы на эродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках 306

Лукашенко Н.К., Головатый С.Е., Ковалевич З.С., Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Манджиева С.С., Чаплыгин В.В. Накопление растениями ячменя и люпина цинка, меди и свинца при разных уровнях загрязнения почв этими элементами..... 319

Пироговская Г.В., Мысливец Д.Г. Влияние комплексных удобрений с микроэлементами на урожайность и качество корнеплодов моркови различных сроков уборки..... 335

Семененко Н.Н., Жабровская Н.Ю., Воробьева Т.А. Методы определения обеспеченности овощных культур элементами питания 351

Константинов А.В., Кулагин Д.В., Баландина И.М., Падутов В.Е. Адаптация регенерантов далекарлийской березы (Betula pendula Rroth. var. dalecarlica Schneid.) к условиям ex vitro на субстратах различного состава 365

3. ОБЗОРЫ

Гончарук В.М., Быховец А.И., Лахвич Ф.А., Булавина Т.М., Булавин Л.А.
Эффективность применения препарата Фитовитал при возделывании различных сельскохозяйственных культур 374

Рефераты 384

Правила для авторов 397

CONTENTS

Lapa V.V., Zhagun' A.A. Influence of composite mineral macro- and microfertilizers on bread baking qualities of grain of winter wheat varieties in cultivation on sod-podzolic sandy loam soil..... 10

1. SOIL RESOURCES AND THEIR RATIONAL USE

Chernysh A.F., Chervan' A.N., Kachkov Y.P. Principles of environmental regulation of anthropogenic impact on soil cover of landscapes of Belarus 26

Alekseyev V.E., Cherbari V.V., Burghelya A.N., Varlamov E.B. Xerophytic forest chernozems of Moldova: features of mineralogical composition and its transformation..... 42

Alekseyev V.E., Cherbari V.V., Burghelya A.N., Varlamov E.B. Xerophytic forest chernozems: balance of minerals..... 52

Alekseyev V.E., Cherbari V.V., Burghelya A.N., Varlamov E.B. Xerophytic-forest chernozems: natural potassium reserves..... 62

Lihatsevich N.A. Analysis of complex soil wind erosion characteristics soils of Polesye..... 68

Chernysh A.F., Lihatsevich N.A. Forecast of soil blowing intensity soils of Belarussian Polesye..... 80

Hapanjyk A.N., Saroka A.V., Kastsiuchenka N.N. Productivity of perennial legumes on wind erosion dangerous soils of Belorussian Polesye..... 89

Chornyy S.G., Abramov D.A. Humus condition monitoring of chernozem southern with using multispectral satellite image Landsat 7..... 97

Chornyy S.G., Vydynivs'ka O.V. Impact of technology No-till on the southern chernozem structure..... 106

Domas' A.S., Klebanovich N.V. Fractional humus composition in sod-podzolic soils of Brest Polesye 118

Drobysh S.V., Bubnova T.V., Matychenkova O.V. Impact texture on the spectral reflectivity of the agro-sod-podzolic soils..... 126

2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION

Lapa V.V., Ivakhnenko N.N. Productivity of crop rotations and change agrochemical properties of sod-podzolic loamy sand soil under long-term fertilization..... 133

Tsyganov A.R., Batyrshayeu E.M., Vildflush I.R. Influence of complex usage of mineral fertilizers and plant protection means on the intensity of productive processes, yield and quality of grain winter triticale 146

Vildflush I.R., Mishura O.I., Glatankova I.V. Efficiency of macro- and microfertilizers in cultivation brewing barley on sod-podzolic light loamy soil..... 156

Biryukova O.M., Seraya T.M., Bogatyrova E.N., Mezentsava E.G. Crop rotation link productivity under the influence of solid and liquid organic fertilizers on sod-podzolic sandy loam soil..... 165

Markevich D.V., Putyatin Yu.V., Tavrykina O.M. Comparative analysis of composition of essential amino acids in basic production of cereals 178

Tavrykina O.M., Bogdevich I.M., Putyatin Yu.V., Tret'yakov E.S., Dovnar V.A., Markevich D.V. Effect different levels of exchangeble magnesium in the podzoluvisol loam soil and mineral fertilizers on the yield and biochemical quality of corn grain..... 186

Khadziankou A.A., Gavryushin I.U. Effect of mineral fertilizers and brassinosteroids on flax oil productivity and nutrients removal 198

Shchetko A.I. Productivity of link crop rotation and change agrochemical indexes of sod-podzolic loamy sand soil depending on fertilization 209

Pestereva A.S., Soroka S.V. Removal of basic nutrients by spring triticale and weed plants in organogenesis..... 217

Rak M.V., Pukalova E.N. Dependence of yield and quality of blue lupine on the cobalt supply of podzoluvisol loamy sand soil and cobalt fertilizers..... 226

Rak M.V., Lapa V.V., Sokolov G.A., Titova S.A., Nikolaeva T.G., Pukalova E.N. Effectiveness of microfertilizers EleGum in winter wheat and barley cultivation on sod-podzolic soils 236

Miroshnychenko M.M., Tertyshna A.V., Panasenko A.V. Spatial heterogeneity of the microelement composition in the slope soils of the left-bank Forest-Steppe of Ukraine 243

Lykova E.A., Miroshnychenko M.M., Panasenko O.S., Syabruk O.P. Labile organic matter as a factor mobilization-immobilization of trace elements in soils..... 256

Luzhynski D.V., Belyakova K.V. Efficiency of foliage application of boric microfertilizers on fodder beet crop 266

Luk'yaniuk N.A., Abramovich I.K. Effect of technology elements on the content of damaging non-sugars in hybrids of sugar beet 272

Khatulev I.N. Impact complex fertilizers with micronutrient supplements on yield perennial legume-cereal grass mixtures on sod-podzolic gley light loamy soil 282

Shchetko A.I., Rybak A.R. Efficiency potatoes fertilization on sod-podzolic loamy sand soil..... 300

Mikhailouskaya N.A., Chernysh A.F., Mikanova O., Barashenko T.B., Tarasyuk E.G., Dyusova S.V. Effectiveness of phosphorus solubilizing inoculants application for wheat growing on eroded luvisol sandy loam soils 306

Lukashenko N.K., Golovatyi S.E., Kovalevitch Z.S., Minkina T.M., Motuzova G.V., Mandzhieva S.S., Chaplugin V.V. Accumulation of zink, copper and lead barley and lupine plants at different soil pollution levels with these elements..... 319

Pirahouskaya H.V., Myslivets D.G. Influence of complex fertilizers with microelements on productivity, nitrate and marketability of carrot early and late harvesting time 335

Semenenko N.N., Zhabrovskaja N.J., Vorob'eva T.A. Methods of definition of supplying vegetable crops by nutrients 351

Konstantinov A.V., Kulagin D.V., Balandina I.M., Padutov V.E. Acclimatization of plants of silver birch decorative form (B*etula pendula* Roth. *var. dalecarlica* Schneid.) to *ex vitro* conditions onto substrates with different composition 365

3. REVIEWS

Goncharuk V.M., Bykhovets A.I., Lakhvich F.A., Bulavina T.M., Bulavin L.A. Efficiency of Fitovital preparation in cultivation of different crops 374

Summaries 384

Rules for authors 397

УДК 631.8:633.11:631.445.2:631.576:631.2

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ МАКРО- И МИКРОУДОБРЕНИЙ НА ХЛЕБОПЕКАРНЫЕ КАЧЕСТВА ЗЕРНА СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

В.В. Лапа, А.А. Жагунь

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Озимая пшеница в Республике Беларусь является важной продовольственной культурой, т. к. значительная часть зерна используется в хлебобулочной промышленности. Поэтому к качеству зерна предъявляются особые требования и в первую очередь к содержанию белка, клейковины, качеству муки. Указанные показатели зависят от генетических особенностей сортов, погодных условий периодов вегетации и агрохимических факторов, связанных с оптимизацией минерального питания [1–3].

В связи с этим одна из задач наших исследований заключалась в определении влияния ряда технологических приемов (дозы и сроки внесения азотных удобрений, медных и марганцевых микроудобрений, фунгицидов и регуляторов роста) на хлебопекарные качества зерна различных сортов озимой пшеницы.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эффективность действия макро- и микроудобрений, фунгицидной обработки посевов на урожайность и качество сортов озимой пшеницы изучали в полевых опытах в 2010–2013 гг. на опытном поле Гродненского зонального института растениеводства в Щучинском районе Гродненской области. Агрохимическая характеристика пахотного горизонта: pH_{KCl} 5,8–6,0, содержание P_2O_5 – 400–420, K_2O – 300–320мг/кг почвы, гумуса – 1,8–2,0 %.

Схема опыта приведена в таблице 1. Полевой опыт заложен в четырёхкратной повторности. Общая площадь одной делянки – 39 м^2, учётная – 22 м^2. Предшественник озимой пшеницы – овес.

Схема опытов предусматривала внесение азотных удобрений в один прием – в почву до посева совместно с фосфорно-калийными удобрениями и дробно весной в начале возобновления вегетации, в стадии 1 узла, флагового листа, начало колошения, молочной спелости. Обработка посевов медью проводилась также в фазу выхода в трубку, фунгицидом – в фазу появления флагового листа (стадия 37), регулятором роста хлорхолинхлорид – в фазу 1 узла, фунгицидами Фундазолом – в фазу 1 узла и Фальконом – в фазу флагового листа – начало колошения. Химическая прополка проводилась гербицидом Марафон осенью.

Влияние комплексного применения средств химизации на урожайность и качество озимой пшеницы изучалось при возделывании двух сортов Сюита и Финезия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований изучено влияние агрохимических приемов на хлебопекарные качества зерна разных сортов озимой пшеницы. Установлено, что лучшие показатели по стекловидности зерна в среднем за два года в исследованиях с озимой пшеницей Сюита (табл. 1) получены в вариантах с применением оптимальных доз минеральных удобрений (N70 + 30 + 50 + 20 + 10 + P70K150), одной или двух подкормок медными и марганцевыми микроудобрениями, обработкой фунгицидами и ретардантами – 65–72 % (вар. 11, 14, 16).

Важным показателем, характеризующим активность амилазы, является число падения (ЧП). У озимой пшеницы активность α-амилазы высокая, если ЧП меньше 150 с, средняя – 150–300 с, низкая – свыше 300 с. В наших исследованиях в 2011 г. средняя активность α-амилазы, кроме контрольного варианта без внесения удобрений, была установлена при комплексном внесении N180P70K150 с двумя подкормками микроудобрениями, обработкой фунгицидами и ретардантами – 299 с. Близкий показатель числа падения 306 с был установлен также в оптимальном по полученной урожайности варианте с одной подкормкой растений медными и марганцевыми микроудобрениями. В условиях 2012 г. в варианте с внесением N180 в пять сроков и двумя подкормками микроудобрениями была установлена высокая активность α-амилазы – 104 с, во всех других изучаемых вариантах – средняя (166–229 с). В среднем по двум годам исследований число падения соответствовало среднему показателю активности α-амилазы (210–264 с).

Наиболее существенное влияние на содержание белка в зерне озимой пшеницы Сюита и Финезия оказывали дозы и сроки внесения азотных удобрений. Так, в опыте с озимой пшеницей Сюита содержание белка в зерне в среднем за два года исследований в варианте без внесения минеральных удобрений составляло 12,7 % (табл. 2–4). Применение азотных удобрений в дозах 100–180 кг/га д.в. в два-четыре срока: в период возобновления весенней вегетации, в фазу начала трубкования, появления флагового листа, начало колошения – способствовало увеличению содержания белка в зерне до 13,8–13,9 % и было достаточно близким в 2011 и 2012 гг. исследований.

Максимальное содержание клейковины в зерне в опыте с озимой пшеницей Сюита в среднем за два года исследований установлено в варианте с применением 180 кг/га д.в. азотных удобрений в подкормку в пять сроков – 29,6 % с колебаниями по годам исследований соответственно 30,9 и 28,1 %.

Выход муки из зерна в лучшем по полученной урожайности варианте 14 составил 61,7 %, что несколько ниже по сравнению с вариантом 16, где вносилось 180 кг/га д.в. азотных удобрений в сочетании с двумя некорневыми подкормками микроудобрениями, фунгицидами и ретардантом и выход муки составил 62,5 %. В условиях 2012 г. выход муки в вариантах с внесением макро- и микроудобрений был выше, чем в 2011 г.

Анализ качества муки, произведенной из зерна различных вариантов опыта, показывает, что комплексное применение макро- и микроудобрений в сочетании со средствами защиты растений существенно его повышало. Так, показатель силы муки (величина удельной деформации теста) в опыте с озимой пшеницей Сюита в варианте без внесения удобрений составил 183 ед. альвеографа (ед.а.),

Таблица 1

Влияние комплексного применения макро- и микроудобрений, фунгицидов и регуляторов роста на качество зерна озимой пшеницы Сюита, 2011–2012 гг.

№ n/n	Вариант	Общая стекловидность, %			Число падения, с		
		2011 г.	2012 г.	ср.	2011 г.	2012 г.	ср.
1	Без удобрений – контроль	47	45	46	287	203	245
6	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$+ретардант + фунгицид + (N_{50}+фунгицид)	69	68	69	311	220	266
8	$P_{70}K_{150} + N_{70} + N_{30} + N_{50} + N_{20} + N_{10}$	69	68	69	318	198	258
11	P_{70} $K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn) + (N_{50} + Cu + Mn) + $N_{20} + N_{10}$	65	65	65	315	104	210
14	P_{70} $K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + фунгицид)+ $N_{20} + N_{10}$	74	70	72	306	217	262
16	P_{70} $K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + Cu + Mn + фунгицид) + $N_{20} + N_{10}$	67	66	67	299	229	264

что считается удовлетворительным. Комплексное применение азотных удобрений (N180 в пять сроков в сочетании с некорневой подкормкой микроудобрениями, вар. 11) повышало этот показатель в среднем за два года до 240 ед.а. Величина показателя силы муки выше 240 ед. свидетельствует о ее хорошем качестве. По этому показателю лучшим было зерно, полученное при внесении макро- и микроудобрений в 2011 г., когда практически во всех вариантах он составлял от 241 до 272 ед.а. В 2012 г. максимальный показатель силы муки 207 ед.а. был установлен в варианте с внесением N180 в пять сроков и двумя некорневыми подкормками микроудобрениями.

При внесении оптимальных доз минеральных макро- и микроудобрений улучшились также показатели упругости теста и отношения его упругости и растяжимости. В соответствующих вариантах они превышали значения контрольного без внесения удобрений.

Следует отметить положительное влияние комплексного применения макро- и микроудобрений, фунгицидов и ретарданта на показатель устойчивости теста. Если в контрольном варианте время устойчивости теста в среднем за два года исследований составило 4,1 мин, то в удобряемых вариантах оно возрастало до 8,4–9,4 мин Более высокая устойчивость теста была характерна для муки, полученной из зерна в исследованиях 2011 г.

Под влиянием минеральных макро- и микроудобрений (вар. 14, 16) на 0,9–1,4 % возрастала водопоглотительная способность муки. Номер качества муки, обобщенный по всем изучаемым показателям, под влиянием исследуемых факторов возрастал от 45 до 92–109 ед. фаринографа (ед.ф.).

Качество муки в прямой зависимости определяет и качество получаемого хлеба. Контрольная выпечка хлеба из муки, полученной из зерна с различными вариантами применяемых систем удобрений, показала, что лучшая оценка качества хлеба 4,22 балла получена в варианте с применением N180 в подкормку в пять сроков и двумя некорневыми подкормками медными и марганцевыми микроудобрениями. В этом варианте получен и хороший показатель пористости хлеба – 4,6 балла (табл. 5). Сравнение качества выпеченного хлеба из муки с различных вариантов опыта по годам исследований показывает, что лучшее качество хлеба было получено в опыте 2011 г.

По отдельным показателям качество муки и хлеба из зерна озимой пшеницы Финезия (табл. 6) уступало аналогичным озимой пшеницы Сюита, а по некоторым – было выше.

Так, если сравнивать лучшие по полученной урожайности зерна варианты 14 и 16, то стекловидность зерна у озимой пшеницы Финезия на 2–4 % ниже, чем у Сюиты, а число падения на 42 с выше и составляет 306 с, что свидетельствует о хорошем качестве α-амилазы.

Содержание белка в зерне озимой пшеницы Финезия в контрольном варианте без внесения удобрений составило 13,3 %, при увеличении дозы азотных удобрений до 180 кг/га и их дробном внесении в пять сроков оно возрастало до 15,3 %, что на 1,3 % выше по сравнению с содержанием белка в зерне озимой пшеницы Сюита (табл. 7–9). Комплексное применение возрастающих доз

азотных удобрений в сочетании с микроудобрениями, фунгицидами и ретардантом не приводило к увеличению содержания белка в зерне. Следует отметить, что в условиях 2011 г. оно было примерно на 2,0 % выше, чем в 2012 г.

Содержание клейковины в зерне в варианте без внесения удобрений составило 26,7 %, под влиянием минеральных удобрений, микроудобрений и фунгицидов оно возрастало до 29,0–29,8 %. Достаточно близкое содержание клейковины 29,4–29,8 % было получено в вариантах 8 и 16 с внесением N180 в пять сроков и комплексным применением N180 в пять сроков, двух некорневых подкормок медными и марганцевыми микроудобрениями, фунгицидов и ретарданта.

Выход муки из зерна озимой пшеницы Финезия в контрольном варианте без внесения удобрений был несколько выше, чем у Сюиты (62,5 %), однако в лучшем по урожайности варианте с внесением N180 в пять сроков в сочетании с обработками фунгицидами и ретардантом он был ниже и составил 57,2 %. Выход муки из зерна различался в зависимости от погодных условий периодов вегетации и был существенно выше в 2012 г.

По показателю силы муки только в варианте с внесением 150 кг/га д.в. азотных удобрений в три срока, двумя обработками фунгицидами и ретардантом было получено значение, соответствующее хорошему качеству, – 218 ед.а. В других вариантах этот показатель был удовлетворительным, т. е. находился в интервале 179–209 ед.а.

Минеральные макро- и микроудобрения оказывали положительное влияние на формирование водопоглотительной способности муки. Если в муке, полученной из зерна в контрольном варианте без внесения удобрений, водопоглотительная способность составляла 54,4 %, то в варианте с применением их оптимальных доз – 56,1–56,5 %.

Время образования теста, т. е. от начала его замешивания до точки, соответствующей моменту полного его развития, наиболее коротким в среднем за два года исследований было в варианте с внесением 150 кг/га д.в. азотных удобрений в три срока – 2,0 мин. При повышении доз азотных удобрений до 180 кг/га д.в. оно увеличивалось до 2,3 мин.

Устойчивость теста, т. е. время от максимальной точки его образования до точки, в которой кривая начинает снижаться, повышалась при комплексном применении макро- и микроудобрений (N180 в пять сроков) и составляла 9,9–10,9 мин. В вариантах без внесения удобрений, а также без применения микроудобрений это показатель в среднем за два года исследований составлял только 3,8–4,4 мин.

Комплексное применение азотных удобрений, микроудобрений, фунгицидов и ретардантов способствовало улучшению общего номера качества муки от 36 до 58–78 ед.ф. По абсолютному значению этот показатель был ниже, чем у муки из озимой пшеницы Сюита (92–109 ед.ф.), однако в два раза выше, чем у муки, полученной в контрольном варианте без внесения удобрений. Значительно более высокий общий номер качества муки был получен в условиях 2012 г.

Таблица 2

Влияние комплексного применения макро- и микроудобрений, фунгицидов и регуляторов роста на качество муки озимой пшеницы Сюита, 2011–2012 гг.

№ п/п	Вариант	Выход муки, %	Содержание белка, %	Содержание сырой клейковины, %	Сила муки, ед.а.	Упругость теста, мм	Отношение упругости теста к его растяжимости, %	ВПС муки, %	Время образования теста, мин	Устойчивость теста, мин	Разжижение теста, ед.ф.	№ качества, ед.ф.
1	Без удобрений – контроль	61,5	12,7	26,15	183	61	0,72	55,6	2,1	4,1	70	45
6	$P_{70}K_{150}$ + N_{70} + (N_{30} + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + фунгицид)	60,1	13,7	28,5	208	57	0,51	56,1	4,4	8,2	29	100
8	$P_{70}K_{150}$ + N_{70} + N_{30} + N_{50} + N_{20} + N_{10}	59,8	14,0	29,6	193	57	0,54	56,9	4,6	9,4	60	114
11	$P_{70}K_{150}$ + N_{70} + (N_{30} + Cu + Mn) + (N_{50} + Cu + Mn) + N_{20} + N_{10}	61,5	13,6	28,5	240	58	0,48	56,5	3,8	8,2	66	90
14	$P_{70}K_{150}$ + N_{70} + (N_{30} + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + фунгицид) + N_{20} + N_{10}	61,7	13,9	29,2	185	58	0,61	57,0	5,3	7,4	71	92
16	$P_{70}K_{150}$ + N_{70} + (N_{30} + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + Cu + Mn + фунгицид) + N_{20} + N_{10}	62,5	13,8	28,5	192	61	0,66	56,5	5,6	8,5	57	109

Таблица 3

Влияние комплексного применения макро- и микроудобрений, фунгицидов и регуляторов роста на качество муки озимой пшеницы Сюита, 2011 г.

№ n/n	Вариант	Выход муки, %	Содержание белка, %	Содержание сырой клейковины, %	Сила муки, ед.а.	Упругость теста, мм	Отношение упругости теста к его растяжимости, %	ВПС муки, %	Время образования теста, мин	Устойчивость теста, мин	Разжижженность теста, ед.ф.	№ качества, ед.ф.
1	Без удобрений – контроль	61,8	12,3	27,1	210	73	0,89	57,2	1,7	1,8	78	27
6	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + фунгицид)	57,9	13,9	30,3	251	79	0,82	58,2	3,7	9,3	58	106
8	$P_{70}K_{150} + N_{70} + N_{30} + N_{50} + N_{20} + N_{10}$	58,4	14,0	30,9	256	78	0,80	59,2	6,7	13,3	34	160
11	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn) + (N_{50} + Cu + Mn) + $N_{20} + N_{10}$	58,9	14,0	31,1	272	75	0,68	59,2	5,7	12,1	40	142
14	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + фунгицид) + $N_{20} + N_{10}$	58,4	13,8	30,0	235	77	0,84	59,8	5,8	9,1	55	111
16	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + Cu + Mn + фунгицид) + $N_{20} + N_{10}$	58,0	13,7	29,9	241	81	0,93	58,8	6,3	10,4	45	131

Таблица 4

Влияние комплексного применения макро- и микроудобрений, фунгицидов и регуляторов роста на качество муки озимой пшеницы Сюита, 2012 г.

№ п/п	Вариант	Выход муки, %	Содержание белка, %	Содержание сырой клейковины, %	Сила муки, ед.а.	Упругость теста, мм	Отношение упругости теста к его растяжимости, %	ВПС муки, %	Время образования теста, мин	Устойчивость теста, мин	Разжижженность теста, ед.ф.	№ качества, ед.ф.
1	Без удобрений – контроль	61,2	13,0	25,2	156	48	0,54	54,0	2,5	6,3	62	63
6	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + фунгицид)	62,3	13,5	26,7	164	35	0,2	53,9	5,0	7,1	0	93
8	$P_{70}K_{150} + N_{70} + N_{30} + N_{50} + N_{20} + N_{10}$	61,1	13,9	28,3	130	35	0,28	54,6	2,5	5,5	85	68
11	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn) + (N_{50} + Cu + Mn) + $N_{20} + N_{10}$	64,1	13,1	25,8	207	40	0,28	53,7	1,8	4,2	92	37
14	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50}+ фунгицид) + $N_{20} + N_{10}$	64,9	13,9	28,4	135	39	0,37	54,1	4,7	5,6	86	72
16	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + Cu + Mn + фунгицид) + $N_{20} + N_{10}$	66,9	13,8	27,1	143	41	0,39	54,1	4,8	6,6	68	87

Таблица 5

Влияние комплексного применения минеральных макро- и микроудобрений на качество хлеба из муки озимой пшеницы Сюита, 2011–2012 гг.

№ n/n	Вариант	Объем хлеба из 100 г муки, мл			Пористость мякиша, балл			Общая оценка хлеба, балл		
		2011 г.	2012 г.	ср.	2011 г.	2012 г.	ср.	2011 г.	2012 г.	ср.
1	Без удобрений – контроль	670	785	728	3,9	4,5	4,2	3,87	4,44	4,16
6	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + ретардант + фунгицид + $(N_{50}$ + фунгицид)	705	730	718	3,5	4,5	4,0	3,85	4,34	4,10
8	$P_{70}K_{150} + N_{70} + N_{30} + N_{50} + N_{20} + N_{10}$	680	795	738	3,0	4,0	3,5	3,79	4,36	4,08
11	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn) + $(N_{50}$ + Cu + Mn) + $N_{20} + N_{10}$	625	795	710	4,1	5,0	4,6	3,79	4,64	4,22
14	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + $(N_{50}$ + фунгицид) + $N_{20} + N_{10}$	660	725	693	4,0	3,0	3,5	3,86	3,39	3,63
16	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + $(N_{50}$ + Cu + Mn + фунгицид) + $N_{20} + N_{10}$	640	730	685	3,5	3,5	3,5	3,72	3,97	3,85

Таблица 6

Влияние комплексного применения макро- и микроудобрений, фунгицидов и регуляторов роста на качество зерна озимой пшеницы Финезия, 2011–2012 гг.

№ n/n	Вариант	Общая стекловидность, %			Число падения, с		
		2011 г.	2012 г.	ср.	2011 г.	2012 г.	ср.
1	Без удобрений – контроль	44	44	45	341	341	45
6	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + фунгицид)	58	58	58	386	386	58
8	$P_{70}K_{150} + N_{70} + N_{30} + N_{50} + N_{20} + N_{10}$	57	57	57	391	391	57
11	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn) + (N_{50} + Cu + Mn) + $N_{20} + N_{10}$	68	68	69	286	286	69
14	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + фунгицид) + $N_{20} + N_{10}$	67	67	68	328	328	68
16	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + Cu + Mn + фунгицид) + $N_{20} + N_{10}$	63	63	65	350	350	65

Таблица 7

Влияние комплексного применения макро- и микроудобрений, фунгицидов и регуляторов роста на качество муки озимой пшеницы Финезия, 2011–2012 гг.

№ n/n	Варианты	Выход муки, %	Содержание белка, %	Содержание сырой клейковины, %	Сила муки, ед.а.	Упругость теста, мм	Отношение упругости теста к его растяжимости, %	ВПС муки, %	Время образования теста, мин	Устойчивость теста, мин	Разжиженность теста, ед.ф.	№ качества, ед.ф.
1	Без удобрений – контроль	62,5	13,3	26,7	198	56	0,60	54,4	2,0	3,2	72	36
6	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + ретардант + фунгицид) + (N_{50}+ фунгицид)	59,2	14,1	28,8	218	65	0,80	55,9	2,0	3,8	58	40
8	$P_{70}K_{150} + N_{70} + N_{30} + N_{50} + N_{20} + N_{10}$	58,1	15,3	29,4	209	68	1,07	56,5	2,3	4,4	60	46
11	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn) + (N_{50} + Cu + Mn) + $N_{20} + N_{10}$	59,1	15,2	28,9	199	70	1,09	56,4	2,3	7,5	50	62
12*	$P_{70}K_{150} + N_{(40+30)} + (N_{30}$ + Cu + Mn) + $N_{50} + N_{20} + N_{10}$	66,2	13,6	28,6	179	44	0,45	53,6	2,8	4,8	70	51
14	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + фунгицид) + $N_{20} + N_{10}$	58,6	15,0	29,0	207	75	1,14	56,1	2,3	10,9	44	58
16	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + Cu + Mn + фунгицид) + $N_{20} + N_{10}$	57,2	14,4	29,8	198	75	1,24	56,5	2,3	9,9	38	78

Примечание. Данные за 2012 г.

Таблица 8

Влияние комплексного применения макро- и микроудобрений, фунгицидов и регуляторов роста на качество муки озимой пшеницы Финезия, 2011 г.

№ n/n	Варианты	Выход муки, %	Содержание белка, %	Содержание сырой клейковины, %	Сила муки, ед.а.	Упругость теста, мм	Отношение упругости теста к его растяжимости, %	ВПС муки, %	Время образования теста, мин	Устойчивость теста, мин	Разжиженность теста, ед.ф.	№ качества, ед.ф.
1	Без удобрений – контроль	58,5	14,3	28,5	210	60	0,65	56,1	2,2	4,1	49	41
6	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + фунгицид)	53,1	15,3	31,5	245	79	1,05	58,4	1,7	3,4	36	40
8	$P_{70}K_{150} + N_{70} + N_{30} + N_{50} + N_{20} + N_{10}$	50,0	16,9	30,0	194	90	1,76	59,6	2,0	3,3	52	43
11	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn) + (N_{50} + Cu + Mn) + $N_{20} + N_{10}$	51,0	16,8	30,5	211	93	1,69	59,4	2,2	10,7	34	80
14	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + фунгицид) + $N_{20} + N_{10}$	51,7	16,5	30,8	201	88	1,54	59,2	2,5	13,7	29	46
16	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + Cu + Mn + фунгицид) + $N_{20} + N_{10}$	50,2	15,3	32,5	201	91	1,75	58,9	2,5	10,7	33	60

Таблица 9

Влияние комплексного применения макро- и микроудобрений, фунгицидов и регуляторов роста на качество муки озимой пшеницы Финезия, 2012 г.

№ п/п	Варианты	Выход муки, %	Содержание белка, %	Содержание сырой клейковины, %	Сила муки, ед.а.	Упругость теста, мм	Отношение упругости теста к его растяжимости, %	ВПС муки, %	Время образования теста, мин	Устойчивость теста, мин	Разжиженность теста, ед.ф.	№ качества, ед.ф.
1	Без удобрений – контроль	66,4	12,2	24,8	185	51	0,55	52,6	1,8	2,2	94	30
6	P_{70} K_{150} + N_{70} + (N_{30} + ретардант + фунгицид) + (N_{50}+фунгицид)	65,3	12,8	26,0	191	51	0,55	53,3	2,2	4,2	79	39
8	P_{70} K_{150} + N_{70} + N_{30} + N_{50} + N_{20} + N_{10}	66,2	13,7	28,7	224	45	0,38	53,4	2,5	5,4	67	48
11	$P_{70}K_{150}$+ N_{70}+ (N_{30} + Cu + Mn) + (N_{50} + Cu + Mn) + N_{20} + N_{10}	67,2	13,6	27,3	187	47	0,49	53,4	2,4	4,3	65	44
12	$P_{70}K_{150}$+ $N_{(40+30)}$+ (N_{30} + Cu + Mn) + N_{50} + N_{20} + N_{10}	66,2	13,6	28,6	179	44	0,45	53,6	2,8	4,8	70	51
14	P_{70} K_{150} + N_{70} + (N_{30} + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + фунгицид)+ N_{20} + N_{10}	65,4	13,5	27,2	213	61	0,74	52,9	2,0	8,0	58	69
16	P_{70} K_{150} + N_{70} + (N_{30} + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + Cu + Mn + фунгицид) + N_{20} + N_{10}	64,2	13,4	27,0	195	58	0,73	54,1	2,0	9,1	43	96

Таблица 10

Влияние комплексного применения минеральных макро- и микроудобрений на качество хлеба из муки озимой пшеницы Финезия, 2011–2012 гг.

№ п/п	Варианты	Объем хлеба из 100 г муки, мл			Пористость мякиша, балл			Общая оценка хлеба, балл		
		2011 г.	2012 г.	ср.	2011 г.	2012 г.	ср.	2011 г.	2012 г.	ср.
1	Без удобрений – контроль	600	740	670	3,0	4,0	3,5	3,54	4,09	3,82
6	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + фунгицид)	690	725	708	3,5	3,8	3,7	3,81	3,98	3,90
8	$P_{70}K_{150} + N_{70} + N_{30} + N_{50} + N_{20} + N_{10}$	680	700	690	3,5	3,0	3,3	3,67	3,59	3,63
11	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn) + (N_{50} + Cu + Mn) + $N_{20} + N_{10}$	660	780	720	4,0	4,5	4,3	3,68	4,19	3,94
14	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + фунгицид) + $N_{20} + N_{10}$	630	800	715	3,7	3,0	3,4	3,66	4,01	3,84
16	$P_{70}K_{150} + N_{70} + (N_{30}$ + Cu + Mn + ретардант + фунгицид) + (N_{50} + Cu + Mn + фунгицид) + $N_{20} + N_{10}$	585	690	638	3,0	4,5	3,8	3,40	4,09	3,75

Оценка качества хлеба, выпеченного из муки, полученной в различных вариантах исследований, показывает, что в варианте без внесения удобрений пористость хлеба составила 3,5 балла, а дегустационная оценка – 3,82 балла (табл. 10). Лучшими по качеству хлеба были варианты с внесением N180 в пять сроков, а также с дополнительными подкормками микроудобрениями, фунгицидами и ретардантом, где оно было оценено в 3,94 балла, а пористость – в 4,0–4,3 балла. В вариантах с внесением 180 кг/га д.в. азотных удобрений в пять сроков и подкормками микроудобрениями общая оценка хлеба была выше в исследованиях 2012 г.

ВЫВОДЫ

1. Комплексное применение азотных удобрений в сочетании с микроудобрениями, фунгицидами и ретардантом оказало положительное влияние на формирование качественных характеристик зерна и муки озимой пшеницы Сюита и Финезия. Лучшие показатели по стекловидности, числу падения, содержанию белка, клейковины, качеству муки и итоговому показателю – качеству хлеба в исследованиях с озимой пшеницей Сюита были получены при внесении N180 в пять сроков (номер качества муки 114 ед.ф.) и N180 в пять сроков с двумя подкормками микроудобрениями (номер качества муки 109 ед.ф.). По общей оценке качества хлеба варианты с внесением N150 в три срока и N180 в пять сроков с некорневыми подкормками микроудобрениями были примерно одинаковыми, балл качества хлеба в среднем за два года исследований составил соответственно 4,08 и 4,22.

2. Показатели качества зерна, муки и хлеба озимой пшеницы Финезия несколько уступали аналогичным показателям озимой пшеницы Сюита, но влияние комплексного применения удобрений, фунгицидов и ретарданта было одинаковым. Лучший показатель качества муки (78 ед.ф.) в среднем за два года исследований был получен в варианте с внесением N180 в пять сроков, двумя некорневыми подкормками микроудобрениями и обработкой растений фунгицидами и ретардантом. В этом варианте отмечено достаточно высокое содержание белка (14,4 %) и один из лучших показателей содержания клейковины (29,8 %). Указанные характеристики подтверждает и оценка качества хлеба, которая составила 3,7 балла при показателе пористости 3,8 балла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 390 с.

2. Удобрения и качество урожая сельскохозяйственных культур / И.Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Технопринт, 2005. – 274 с.

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

INFLUENCE OF COMPOSITE MINERAL MACRO- AND MICROFERTILIZERS ON BREAD BAKING QUALITIES OF GRAIN OF WINTER WHEAT VARIETIES IN CULTIVATION ON SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL

V.V. Lapa, A.A. Zhagun'

Summary

The results of experiences on the influence of composite macro and microfertilizers, fungicides and growth regulators on bread baking qualities of two winter wheat varieties – Syita and Finesiya are presented. It is found that the best indicators of bread quality in experiences with winter wheat Syita were obtained by application N180 in five times and N180 in five times with two top-dressing by microfertilizers.

Поступила 03.04.13

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ ДОПУСТИМОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ АГРОЛАНДШАФТОВ БЕЛАРУСИ

А.Ф. Черныш[1], А.Н. Червань[1], Ю.П. Качков[2]
[1]Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь
[2]Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Высокий уровень сельскохозяйственного освоения земель в агроландшафтах, широкое распространение площадей пропашных культур и интенсивная обработка почвы на фоне разнообразия почв и компонентного состава почвенного покрова является причиной постепенного разрушения агрономически ценной структуры почвы, ухудшения ее водного, воздушного, теплового и питательного режимов, усиления эрозионных процессов. Недооценка или вовсе игнорирование потенциальной устойчивости почв и почвенных комбинаций к техногенному, в первую очередь сельскохозяйственному воздействию и превышение допустимого уровня антропогенной нагрузки является причиной часто необратимой деградации почв, разрушения экосистем в целом. Необходимость установления допустимого предела такой нагрузки, соблюдение которого максимально снижало бы экологические риски в ходе интенсивного использования земель и гарантировало бы оптимальное сочетание продуктивных и экологических функций почв, выдвигает на первый план задачи экологического нормирования.

Нормирование – важнейший регулятор экологических аспектов хозяйственной деятельности. Нормирование в области охраны окружающей среды осуществляется с целью государственного регулирования воздействия техногенной деятельности, гарантирующего сохранение благоприятной окружающей среды и обеспечение экологической безопасности.

Действующий в республике Закон «Об охране окружающей среды» [5] устанавливает правовые основы охраны окружающей среды, природопользования, сохранения и восстановления биологического разнообразия, природных ресурсов и объектов. Однако ни в данном Законе, ни в Кодексе Республики Беларусь о земле практически не рассматриваются вопросы охраны и неистощительного использования почв, термин «почва» в большинстве случаев подменяется понятием «земля». Между тем термин «земля» является социально-экономической категорией, в то время как «почва» – понятие природно-географическое. Республика Беларусь ратифицировала в 2001 г. Конвенцию ООН по борьбе с опустыниванием/деградацией земель, реализация которой в 2011–2015 гг. предусматривает в первую очередь юридическое закрепление почвы как самостоя-

тельного объекта правоотношений [22]. Вопрос о необходимости подготовки нормативной правовой базы в области охраны почв и почвенного покрова и ее законодательного закрепления неоднократно поднимался в литературе [2, 9, 21, 22]. В Украине подготовлена концепция экологического нормирования допустимой антропогенной нагрузки на почвенный покров [25].

Значение почвы в обеспечении продовольственной безопасности, функционировании экосистем, формировании земельных отношений незаменимо и возрастает прямо пропорционально увеличению численности населения. Сходные проблемы обсуждались и на состоявшейся в ноябре 2012 г. IV международной конференции «Drylands, deserts and desertification» в Государстве Израиль, посвященной результатам Саммита Земли «Рио+20» [19].

На XXIX пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ принят Модельный закон «Об охране почв» (пост. №29–16 от 31 октября 2007 г.), рекомендованный для использования в национальном законодательстве Республики Беларусь [11]. Однако в республике в настоящее время отсутствует в качестве целостной и единой системы нормативно-правовая база, регулирующая неистощительное использование и охрану почв, за исключением статьи 89 Кодекса РБ о земле.

Юридическое закрепление почвы как самостоятельного объекта правоотношений необходимо начать с разработки системы экологического нормирования как основы государственного регулирования деятельности по охране почв. В то же время авторы признают, что это сложный многоэтапный процесс, предусматривающий проведение научно-исследовательских работ по обоснованию нормативов, их экспертизу и утверждение, внедрение в действующую нормативно-правовую базу и технологические процессы, оценку и прогнозирование экологических, социальных, экономических последствий применения.

Достижение научно обоснованного соответствия возможной интенсивности землепользования и устойчивости почв и почвенного покрова к техногенному воздействию является основной задачей экологического нормирования, концептуальные положения и принципы которого рассматриваются в настоящей статье.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Почвы и почвенный покров сельскохозяйственных земель агроландшафтов в почвенно-экологических районах Беларуси являются объектами данной работы. Принципы экологического нормирования техногенной нагрузки, дифференцированной по основным видам воздействия на почвенный покров, выступают в качестве предмета исследований. Этапы определения принципов экологического нормирования предусматривали последовательно обработку имеющихся аналитических данных по оценке современного состояния почв и почвенного покрова, инвентаризацию почвенно-земельных ресурсов выбранных в базе геоданных структуры почвенного покрова ключевых агроландшафтов, оценку локальных и региональных изменений свойств почв по видам техногенного воздействия, разработку собственно концепции и принципов экологического нормирования.

Общей методологической основой экологического нормирования является структурно-функциональный анализ, который предусматривает системное изучение почв и структуры почвенного покрова, характер их функционирования, распространения и эволюции. Семантика терминов и определений, использованных в статье:

система экологического нормирования – совокупность структурных элементов и разных видов обеспечения их функционирования (нормативно-правового, методического, информационного и др.), призванных обеспечить создание и эффективное использование экологических норм;

экологическая норма – 1) обязательные границы, которые обеспечивают сохранение экологического благополучия экосистем, геосистем и их компонентов (почв, почвенных комбинаций); 2) ограничения уровней воздействия хозяйственной и иной деятельности, которые устанавливаются в соответствии с природоохранным законодательством и направлены на регулирование вопросов рационального природопользования и охраны окружающей природной среды (экологические нормативы, регламенты, правила, требования);

экологические нормативы – научно обоснованные критерии допустимых изменений естественных свойств объектов нормирования (почв, почвенного покрова) и максимально допустимых уровней воздействия на них какого-либо вида деятельности;

экологический норматив техногенной нагрузки на почвенный покров – научно обоснованный критерий предельно допустимого воздействия антропогенных факторов, которое не изменяет качества (качественного и количесвтенного состояния) почв и почвенного покрова или изменяет его в допустимых пределах и гарантирует экологическую безопасность для человека и других организмов;

экологическое нормирование – деятельность с целью установления экологических норм и обеспечения оптимального управления функциями почв;

экологический риск – вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для естественной среды и вызванного вредным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Создание системы экологического нормирования в области охраны и неистощительного использования почв предусматривает:

– обеспечение соответствия экологических требований нормативно-правовым актам в области использования и охраны почвенно-земельных ресурсов;

– использование системного подхода и международного опыта в практике нормирования;

– взаимосвязь с государственной системой стандартизации;

– использование информационных систем и технологий.

В системе экологического нормирования принято выделять два основных блока: качество природного объекта хозяйствования и допустимое воздействие на него. В агропочвоведении их взаимосвязь проявляется в том, что нормати-

вы допустимой техногенной нагрузки устанавливаются в соответствии с показателями этой нагрузки, при которых соблюдаются нормативы качества почв и почвенного покрова. К последним авторы относят нормативы, установленные в соответствии с физическими, химическими, биологическими и иными показателями, соблюдение которых минимизирует экологические риски хозяйственной деятельности, в первую очередь использования сельскохозяйственных земель. Нормирование допустимой техногенной нагрузки на почвы и почвенный покров с учетом нормативов их качества необходимо для определения границ устойчивого функционирования естественных экологических систем и сохранения биологического разнообразия.

Стоит отметить, что экологическое нормирование допустимой техногенной нагрузки, с одной стороны, разрабатывается по каждому виду хозяйственной и иной деятельности и, таким образом, связано с конкретными хозяйствующими субъектами. С другой стороны, нормативы допустимой нагрузки устанавливаются по совокупному влиянию всех источников воздействия, а значит, связаны с определенной территорией с характерным почвенным покровом. В последнем случае качественную оценку состояния почв на уровне почвенного покрова – уровне использования земель – целесообразно проводить при помощи системного (геосистемного) подхода.

Целью экологического нормирования допустимой техногенной нагрузки на почвы является установление обязательных нормативов, правил, регламентов, требований для их использования и охраны, соблюдение требований экологической и санитарно-гигиенической безопасности.

Для поддержания продукционных и экологических функций почв в оптимальных границах, обеспечения их устойчивости, возобновления плодородия, сохранения почвенного покрова и земельных ресурсов, минимизации негативного воздействия на почвы в республике целесообразно установление следующих нормативов техногенной нагрузки на почвенный покров [25]:

оптимального соотношения видов земель – оптимальное соотношение земель сельскохозяйственного и другого назначения, оптимальное соотношение пашни и многолетних насаждений, лугов, сенокосов, оптимальное соотношение мелиорированных и естественных земель. Оптимизация возможна путем увеличения площади экологостабилизирующих угодий (лугов, лесонасаждений). Такой подход ведет к уменьшению интенсивности эрозии, существенно приостановит заиление рек, увеличит биологическое разнообразие;

деградации почв, устанавливаются для каждой категории земель с целью избежания ухудшения их состояния и применяются для осуществления контроля за использованием и охраной. Основные причины деградации почв – чрезмерная распаханность, недостаточная защищенность противоэрозионными и другими мероприятиями и не очень высокое качество используемых технологий, дефицит органических и минеральных удобрений. В Беларуси наиболее распространенные виды деградации: эродированность, дегумификация, уплотнение и слитообразование, повышение кислотности, засоление и заболачивание, техногенное загрязнение. Степень деградации характеризуется величиной отклонения параметров аналогичной почвы (почвенной комбинации), принимаемой в качестве недеградированной (эталонной);

устойчивости почв к антропогенным воздействиям, устанавливаются для каждого вида техногенного воздействия;

интенсивности использования земель сельскохозяйственного назначения. К этим нормативам принадлежат перечисление сельскохозяйственных культур и применяемых севооборотов, использование которых ограничивается или запрещается, а также технологий, кроме агротехнических операций, по их возделыванию, нормативы экологически безопасного ведения сельского хозяйства;

ограничения деятельности, которые включают в себя требования к агротехнологиям, режимам и нормам осушения, агрохимикатам и пестицидам, а также удельного давления ходовых частей техники на почву.

При разработке системы экологического нормирования техногенной нагрузки на почвенный покров необходимо руководствоваться следующими основными принципами, формирующими ее структуру, механизмы формирования и функционирования:

– непротиворечивости – установление нормативов согласно действующим нормам и правилам в смежных областях науки и производства;

– функциональности – экологические нормативы должны быть научно обоснованными, максимально объективными, легко контролироваться;

– соподчиненности – предусматривает иерархию уровней структурной организации почв (от молекулярно-ионного до уровня почвенного покрова – [1]) и уровней управления экологически безопасным землепользованием (государственный, областной, районный, местный);

– разъединения и интеграции – экологические нормативы следует разрабатывать дифференцированно для разных типов почв на основании их устойчивости к техногенным воздействиям с учетом их агроэкологического состояния, в то же время должны быть разработаны и интегральные нормативы (в основу этого принципа может быть положена крупномасштабная геосистемная инвентаризация почвенного покрова);

– эффективности – ориентация на достижение максимального социально-экологического эффекта и минимизации негативных изменений от антропогенного влияния на почвы;

– практичности – текущие экологические нормативы должны быть такими, чтобы их могли достигнуть;

– адаптированности – система экологического нормирования должна постоянно адаптироваться к изменчивости природных и антропогенных факторов с соблюдением условий сохранения экологических и продукционных функций почв;

– доступности информации – система экологического нормирования должна быть открытой, все изменения и дополнения должны быть реализованы в сети общего доступа (например, Internet).

Кроме того, в ходе разработки экологических норм должны приниматься во внимание общеэкологические законы, принципы и правила. В частности, в экологическом нормировании необходимо учитывать закон минимума Ю. Либиха, закон взаимодействия факторов, закон ограниченности природных ресурсов, принцип Ле-Шателье-Брауна, которые позволяют на объективной основе нормировать нагрузку на почвенный покров.

Рассмотрим названные принципы экологического нормирования подробнее.

Принцип непротиворечивости. Система экологического нормирования должна разрабатываться в соответствии с Кодексом Республики Беларусь о земле от 04 января 1999 г. № 226–З с изменениями и дополнениями на октябрь 2008 г.; законом Республики Беларусь «Об охране окружающей среды», принятом 26 ноября 1992 г. № 1982–XII с изменениями и дополнениями от 17 мая 2011 г. № 260–З; законом «О мелиорации земель», принятом 23 июля 2008 г. № 423–З; Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 мая 2010 г. № 755 «О некоторых мерах по реализации Закона Республики Беларусь» от 9 ноября 2009 г. «О государственной экологической экспертизе» (вместе с Положением о порядке проведения государственной экологической экспертизы, Положением о порядке проведения оценки воздействия на окружающую среду); Стратегией в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2025 года, одобренной решением коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды (Минприроды) 28.01.2011 г. № 8–Р; ТКП 17.03–01–2010 «Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Правила и порядок определения фонового содержания химических веществ в землях (включая почвы)», утвержденным Постановлением Минприроды от 19.01.2010 г. № 1–Т; ТКП 17.03–02–2010 «Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Правила и порядок определения загрязнения земель (включая почвы) химическими веществами», утвержденным Постановлением Минприроды от 19.01.2010 г. № 1–Т; методическими указаниями по кадастровой оценке земель сельскохозяйственных предприятий и другими нормативно-правовыми актами и инструкциями, прямо или косвенно связанными с обеспечением устойчивого функционирования почв и почвенного покрова.

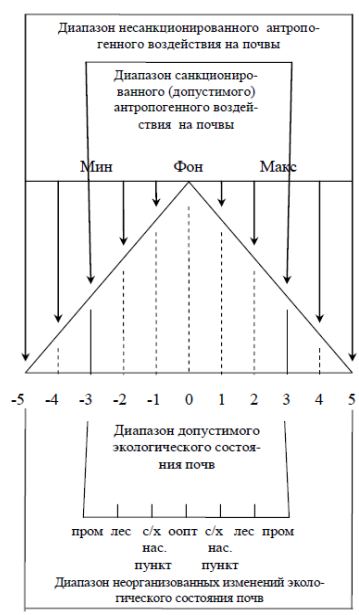


Рис. 1. Схема оценки экологического состояния почв и техногенного воздействия на них с выделением диапазона допустимых значений «состояние-воздействие»

В системе экологического нормирования нормативы допустимого техногенного воздействия на почвы и почвенный покров должны быть установлены согласно нормативам их качества, экологического состояния. Примерный диапазон допустимых значений «состояние-воздействие» указан на рисунке 1. Согласно схеме, для показателей состояния почвенной комбинации достаточно пять градаций (оптимум и по две градации выше и ниже оптимума). Из этого следует максимально возможное ухудшение показателя на две градации, следовательно, достаточно иметь три критериальных уровня устойчивости почв к каждому виду техногенного воздействия для целей ориентировочного нормирования конкретных параметров состояния почвенной комбинации. Значения показателей экологического состояния почвенного покрова прямо пропорциональны величинам степени устойчивости к деградации.

Принцип функциональности. Научное обоснование нормативов допустимой техногенной нагрузки заключается в недопущении снижения плодородия почв обрабатываемых земельных участков, эталонными показателями могут являться данные бонитировки. При разработке нормативов следует принимать во внимание способность к самовосстановлению не почв, а почвенных комбинаций как подсистем геосистем.

Достижение объективности устанавливаемых нормативов возможно при использовании структурно-функционального подхода в качестве методологи ческой основы оценки качества почв и почвенного покрова. Согласно с ним, оценка качества почвенного покрова должна проводиться в границах структур почвенного покрова – почвенных комбинациях. Объективная качественная оценка в границах почвенных комбинаций заключается в учете тенденций урожайности сельскохозяйственных культур на фоне изменения коэффициента неоднородности почвенного покрова. Нормативы допустимой техногенной нагрузки на почвы и почвенный покров (почвенные комбинации) устанавливаются на основе нормативов их качества. Так, исследования трансформации состава и свойств почвообразующих пород под влиянием хозяйственной деятельности человека являются непременным условием установления степени устойчивости почв к антропогенным воздействиям.

Контроль за соблюдением нормативов землепользователями реализуется при помощи мониторинговых наблюдений и данных государственной статистической отчетности (площадь обрабатываемых земель, состав культур, урожайность и др.). Например, в Институте почвоведения и агрохимии на основе многолетних наблюдений создана информационная база данных по дефляционной опасности почв. Мониторинг качественного состояния почв осуществляется санитарно-гигиенической службой РБ, а также организациями, аккредитованными в проведении локального производственного мониторинга почв (Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, БелНИЦЭкология, Институт природопользования НАН Беларуси и др.). Госкомимущество – контроль за использованием и охраной земель с учетом их почвенного покрова согласно целевому назначению земельных участков. Государственный надзор за соблюдением экологическим норм и требований должен проводиться Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды и его территориальными органами, осуществляющим в настоящее время проведение государственной экологической экспертизы.

Принцип соподчиненности. Экологические нормативы устанавливаются согласно уровням структурной организации почвенного покрова: молекулярно-ионному, элементарных почвенных частиц, структурно-агрегатному, горизонтно-

му, уровню почвенного индивидуума и собственно почвенного покрова. Так, например, при установлении таких нормативов техногенной нагрузки, как допустимое механическое давление частей сельскохозяйственных машин необходимо основываться на нормативах качества почв на уровне структурно-агрегатного состава. В ходе установления возможной степени интенсификации землепользования, агроэкологической неустроенности агроландшафтов уже важны показатели состояния на уровне почвенного покрова [10]. Оценка естественного почвенно-ресурсного потенциала агроландшафтов с учетом почвенных комбинаций позволяет определить предпочтительные (экологически безопасные и экономически эффективные) направления сельскохозяйственного использования земель [14].

Предварительные уровни системы управления экологическим нормированием могут соотноситься с уровнями административно-территориального устройства республики: государственный, областной, районный, местный. На каждом уровне важно установление пространственно-временной изменчивости составов и свойств почв в целях выявления степени их устойчивости к антропогенным воздействиям для поиска оптимальных путей их использования и защиты от деградации. Г.В. Добровольский отмечает, что отдельные неблагоприятные для природной среды события перерастают в крупные региональные, поэтому крайне необходимы мероприятия по качественному восстановлению и сохранению освоенных почв [3, 4]. Разрешению проблемы эффективного управления экологическим состоянием почв, в том числе и обоснованию уровней допустимой техногенной нагрузки на почвы конкретного земельного участка, посвящены работы А.С. Яковлева [2, 20, 21]. По его мнению, почва как природный объект однозначно реагирует на любое воздействие изменением своего качества и антропогенное воздействие на почву складывается из суммы депонированного (накопившегося) в почве воздействия и актуального, имеющего место в настоящий момент (современного) воздействия. С вопросами определения антропогенной механической нагрузки на территории регионов, их экодиагностика и эколого-хозяйственные балансы связаны работы Б.И. Кочурова [7,23].

В республике проведены работы по оценке современного экологического состояния почв разного гранулометрического состава, типовой принадлежности и структуры почвенного покрова на республиканском уровне – в северной, центральной и южной почвенно-экологической провинции [13].

Предусмотрено ранжирование на всех уровнях управления – от государственного до местного: почв, структур почвенного покрова – по устойчивости к техногенным воздействиям; техногенного воздействия – по видам (целевому назначению землепользования).

Учитывая изменяющиеся земельные отношения, следует принимать во внимание необходимость определения тех видов техногенной нагрузки, которые могут возникнуть в современных условиях, вызвать новую динамику и привести к территориальным нарушениям (соотношение земельных угодий, севообороты, нормы внесения агрохимикатов и пестицидов), которые обуславливают возможность или необходимость осуществления превентивных мер. Приоритетной задачей экологического нормирования является выявление и нормирование тех видов техногенных нагрузок, которые в первую очередь могут привести к деградации почвенного покрова, обострению экологической ситуации на уровне целого почвенно-экологического района республики.

Принцип разъединения и интеграции. Разнообразие почв республики по составу, свойствам и буферной способности не позволяет перенести методические подходы, используемые для разработки санитарно-гигиенических нормативов, в практику экологического нормирования. Это обуславливает необходимость разработки самостоятельной методической основы данного вида деятельности. Принцип дифференциации и интеграции неразрывно основан на представлении о почве и почвенном покрове в ходе качественной и количественной оценок их состояния как «единстве разнообразия» – подсистемы в ряду «почвенная комбинация – экосистема – геосистема». Комбинации почв представляют собой инвариантные пространственные единицы дифференцированного почвенного покрова. Коэффициент неоднородности структур почвенного покрова может выполнять роль интегрального показателя качественного состояния почвенного покрова. Использование модели эпифации, предложенной В.Б. Сочавой, позволяет качественно оценить динамическое состояние почвенных комбинаций [цит. по 7, с. 89]. Примером использования данного принципа в агроландшафтах могут служить разработанные в Институте почвоведения и агрохимии модели экологически устойчивых почвенно-мелиоративных комплексов Поозерья [15]. Интегральные показатели, по которым устанавливаются экологические нормативы, следует дифференцировать:

– по типам почв (информация туров почвенного и агрохимического обследования, база данных (БД) агрохимических и радиологических свойств почв, БД естественных свойств почв и их агроестественных аналогов, БД агрофизических свойств почв республики). На основе пригодности почв под основные сельскохозяйственные культуры в республике разработана эффективная и экологически безопасная система использования земель и применения почво- и водоохранных технологий в агроландшафтах [16];

– по видам воздействия (нагрузки) или категориям землепользователей – целевому назначению земель (данные автоматизированной системы государственного земельного кадастра);

– по функциям почв: хозяйственной (продукционной), экологической, протекторной (защита сопредельных сред от загрязняющих веществ), просветительской и др. В целях обеспечения экологической и просветительской функций, а также сохранения уникальных, редких и эталонных разновидностей, например, в республике неоднократно поднимался вопрос о создании Красной книги почв. Красные книги почв уже существуют в России не только на федеральном, но и на областном и краевом уровнях [8].

– по времени изменения почвенных свойств: краткосрочные (от нескольких секунд до 2–3 недель), сезонные (от 2–3 недель до 2–4 месяцев), годовые (от одного до нескольких лет), многолетних (от одного до нескольких десятков лет), вековых (от одной до нескольких сотен лет) и т. д. [24].

Интеграция подходов и принципов экологического нормирования в широком смысле подразумевает международное сотрудничество. Реализация концепции нормирования предполагает перенимание мирового опыта в области использования и охраны почвенно-земельных ресурсов. Это в первую очередь сотрудничество с международными организациями системы ООН в области охраны окружающей среды (ЮНЕП – программа ООН по окружающей природной среде, Европейская Экономическая Комиссия ООН, МАГАТЭ – Международное

агенство по атомной энергии ООН, ФАО – организация по сельскому хозяйству и продовольствию, Комиссия устойчивого развития, Глобальный Экологический Фонд и др.), ISO (Международная организация стандартизации); общественными организациями – ISTRO (Международная организация по обработке почв), ESCO (Товарищество по охране почв), IUSS (Международный союз почвоведов).

Принцип эффективности. Нормативы изменения свойств почв можно рассматривать в трех аспектах. Первый аспект – устанавливаются допустимые границы минимальных изменений показателей структурно-функциональных свойств почв и почвенного покрова, в пределах которых почва (почвенный покров) либо не меняют своего таксономического положения, либо продуктивность агроэкосистем не становится ниже 20 % от оптимальной, либо загрязнение почвы и сельскохозяйственных земель не превышает существующих государственных нормативов (например, ПДК). Допустимые границы, увязанные с деградационными процессами, могут соответствовать средней степени деградации. Второй аспект – критические границы изменений показателей характеризуют деградационные процессы, приводящие к необратимым изменениям свойств почв, и дальнейшее использование почв для получения растительной продукции нерационально. Эти границы могут соответствовать сильной степени деградации [24]. Третий аспект относится к оптимальным значениям показателя почвенного состояния, которые обеспечивают максимальную продуктивность при хорошем качестве растительной продукции. Критерием оптимальности в таком случае должна выступать только потребность растений. Соотношение между допустимыми и критическими границами изменений свойств почв может быть как при минимальных возможных значениях изменения показателя, так и максимальных.

Внедрение системы экономического стимулирования экологически безопасного земледелия, повышения плодородия почв или восстановления деградированных почв способствует достижению баланса положительного и негативного эффектов техногенного влияния на почвенный покров. Например, такой баланс относительно процессов водной эрозии реализован в разработанной технологической документации на формирование почвозащитных систем земледелия с применением геоинформационных систем [18]. Нормативы качества почв обрабатываемых земель должны соответствовать показателям качества сельскохозяйственной продукции. Минимизация необходимых мер по поддержке экологически устойчивого состояния почвенного покрова основывается на учете способности почв к самовосстановлению. Например, характеристика почвенных комбинаций по устойчивости к загрязнению поллютантами дана для территории Островецкого района Гродненской области (табл.). Номенклатура почвенных комбинаций (начиная с определения водораздельного, депрессивного или пойменного функционирования) определяет, имеют ли выход потоки вещества за ее пределы или происходит концентрация поступающих веществ, а также интенсивность движения поллютантов. Подобный анализ структуры почвенного покрова позволяет выявить наименее устойчивые территории в отношении техногенного загрязнения вне зависимости от существующего экологического состояния. Инвентаризация почвенного покрова с картометрическим анализом почвенных комбинаций и оценкой почвенно-ресурсного потенциала позволяет осуществить

типизацию экологических норм в зависимости от природных условий местности, определить такие экологические нормативы техногенной нагрузки, как оптимальное соотношение видов земель и интенсивность их использования.

Принцип практичности. В системе экологического нормирования нормативы техногенной нагрузки на почвенный покров должны основываться не на единых значениях нормативов качества почв и почвенного покрова, а на диапазоне этих значений – от минимально требуемого до максимально возможного при заданных условиях. Например, противоэрозионная организация территории в агроландшафтах предусматривает пять градаций потенциального смыва почв под действием водной эрозии (рис. 2) [18].

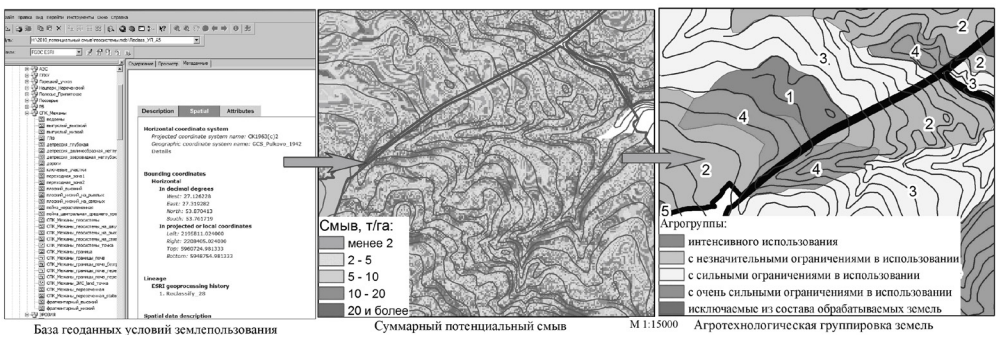


Рис. 2 . Противоэрозионная организация агроландшафтов (фрагмент)

В целях улучшения соблюдения землепользователями нормативов (стремление достичь экологически безопасных значений нормативов) возможно использование методов экономического стимулирования. В первом приближении информационной основой методики стимулирования может служить изученное влияние элементов почвозащитного земледелия на показатели эрозионной устойчивости почв [6].

Принцип адаптированности. Использование данного принципа в системе экологического нормирования предполагает приспособление его методов и задач к устойчивости почв к антропогенному воздействию, а также к изменяющимся внешним условиям, как естественным (в том числе, объекта нормирования), так и техногенным. Реализация адаптации нормативов антропогенного влияния на фоне динамики естественных условий предусматривает проведение мониторинговых наблюдений. Изменение техногенных условий – условий хозяйствования – можно учесть через обременение потенциального землепользователя почвенными экологическими нормами при каждом юридическом отводе земельного участка, возможно, ввести их в ряд ограничений землепользования. В настоящее время одним из факторов, сдерживающих внедрение системы экологического нормирования, является отсутствие в государственном земельном кадастре учетных данных о количественном и качественном составе почв. В то же время сделаны первые шаги по определению количественных параметров различных видов и степени деградации почв и почвенного покрова в разработке методики оценки экологического и экономического ущербов сельскому хозяйству от деградации [12].

Таблица

Дифференциация почвенных комбинаций по устойчивости к химическому загрязнению (способность природных систем к самоочищению) [17]

Категория устойчивости	Почвенная комбинация	Факторы устойчивости	
		поверхностный сток	емкость катионного обмена
Устойчивые	1. Водоразделы фрагментарные высокие (очень сильно неоднородные) 2. Водоразделы фрагментарные высокие (сильно неоднородные) 5. 6. Водоразделы выпуклые высокие на моренных суглинках с покровом супесей	нормальный	высокая
Среднеустойчивые	3. Низкие фрагментарные водоразделы на моренных суглинках	замедленный	высокая
	7. Водоразделы выпуклые низкие на водно-ледниковых супесях и песках	замедленный	средняя
	8. Водоразделы выпуклые низкие на водно-ледниковых супесях с близким подстиланием морены	замедленный	высокая
	9. Водоразделы выпуклые низкие на моренных суглинках	замедленный	высокая
	11. Водоразделы плоские высокие на водно-ледниковых супесях, подстилаемых с глубины менее 1 м мореной	замедленный	средняя
	12. Водоразделы плоские низкие на водно-ледниковых песках	замедленный	высокая
	13. Водоразделы плоские низкие на водно-ледниковых и моренных супесях и суглинках, подстилаемых мореной с глубины менее 1 м	замедленный	высокая
	14. Депрессии неглубокие на водно-ледниковых песках и супесях	медленный	высокая
	15. Депрессии неглубокие на водно-ледниковых песках и супесях, подстилаемых с глубины менее 1 м мореной	медленный	высокая
	18. Поймы нерасчлененные равнинные и гривистые	нормальный	низкая
	19. Поймы расчлененные прирусловые, реже центральные, среднего уровня	нормальный	низкая

Окончание табл.

Категория устойчивости	Почвенная комбинация	Факторы устойчивости	
		поверхностный сток	емкость катионного обмена
Неустойчивые	4. Водоразделы выпуклые высокие на песках и водно-ледниковых супесях	замедленный	низкая
	10. Водоразделы плоские высокие на водно-ледниковых песках	медленный	низкая
	16. Депрессии глубокие (низинные болота)	медленный	высокая
	17. Депрессии глубокие (переходные болота)	медленный	высокая
	20. Поймы (заторфованные) центральные и притеррасные, низкого уровня	замедленный	высокая
	21. Переходные зоны	нормальный – медленный	высокая – низкая

Принцип доступности информации. Нормативы качества почв (почвенного покрова) и допустимой техногенной нагрузки должны быть открыты для информирования в сетях общего пользования. В рамках системы экологического нормирования целесообразно создать единую автоматизированную систему законодательных, нормативных, методических, справочных материалов в области экологического нормирования, реализованную в сети Internet. В качестве информационной структуры экологического нормирования могут выступить геоинформационные системы, связывающие базы данных об антропогенной нагрузке с базами данных о природной организации агроландшафтов.

В составе данной системы необходимо учесть: географическую привязку согласно почвенно-экологическому (природно-сельскохозяйственному) районированию, название почвы, временной масштаб, значения фоновых (неизмененных) показателей структуры почвенного покрова и свойств почвы, допустимые границы изменения этих показателей и их оптимальные значения, модели прогноза изменения показателей от того или иного антропогенного воздействия в изученном диапазоне условий в виде конкретных математических формул, цифровых таблиц или графиков [24].

Реализация этого принципа позволит учесть возможные трудности в ходе использования новых (в настоящее время в республике это в первую очередь предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ) и уже разработанных существующих экологических нормативов. Открытый доступ для участия общественности усилит контроль в системе нормирования, так как позволит определить предпочтительные объекты мониторинга качества почв и почвенного покрова.

ВЫВОДЫ

Осознание невозможности обеспечения полного исключения сегодня и в ближайшем будущем антропогенной нагрузки на почвенный покров даже при условии постоянного совершенствования агротехнологий делает необходимым научное обоснование допустимых уровней техногенного влияния на почвенный покров, в первую очередь в агроландшафтах.

Соблюдение описанных в статье принципов и осуществление мероприятий по реализации концепции экологического нормирования позволит в будущем законодательно закрепить научное обоснование допустимой техногенной нагрузки на почвы и почвенный покров в агроландшафтах для устойчивого землепользования на фоне продовольственной и экологической безопасности республики.

В республике к настоящему времени накоплен огромный аналитический материал по результатам исследования гранулометрического состава, физико-химических свойств, плотности, структурно-агрегатного состава, минералогического и валового химического составов, гумусного состояния почв, который может служить информационной базой в ходе разработки государственной системы экологического нормирования качества почв и почвенного покрова и допустимой техногенной нагрузки на них.

Первым шагом к внедрению в практику адаптивно-ландшафтных систем земледелия в агроландшафтах может служить применение геосистемного подхода, позволяющего на основе типизированных почвенных комбинаций, обладающих единством ресурсного потенциала и реакции на техногенные воздействия, достичь концептуальной согласованности существующих подходов к оценке состояния почв и экологическому нормированию нагрузок на почвенный покров.

Реализация и функционирование системы экологического нормирования предусматривает тесное сотрудничество многих министерств и ведомств республики. В связи с этим в рамках Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2030 года необходимо разработать государственную научно-техническую программу экологического нормирования, в которой будет дано научное обоснование приоритетным направлениям деятельности, предложены методология и методологические подходы к экологическому нормированию, направления фундаментальных и прикладных научных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балюк, С.А. Принципы экологического нормирования допустимой антропогенной нагрузки на почвенный покров Украины / С.А. Балюк, Н.Н. Мирошниченко, А.И. Фатеев // Почвоведение. – № 12. – 2008. – С. 1501–1509.

2. Вопросы комплексной оценки и нормирования в области охраны окружающей природной среды / А.С. Яковлев // Нормативное и методическое обеспечение экологического мониторинга и контроля в пределах зоны антропогенного воздействия субъектов на окружающую среду. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2007. – С. 10–18.

3. Деградация и охрана почв: монография / под ред. Г.В. Добровольского. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 654 с.

4. Добровольский, Г.В. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв) / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Наука, 1990. – 270 с.

5. Об охране окружающей среды: Закон Респ. Беларусь, 6 мая 2010 г., № 127–З.

6. Изучить влияние элементов почвозащитного земледелия на показатели эрозионной устойчивости почв: отчет о НИР (заключ.) / Ин-т почвоведения и агрохимии НПЦ по земледелию НАН Беларуси. – Минск, 2002. – 23 с.

7. Кочуров, Б.И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории. – Смоленск: СГУ, 1999. – 154 с.

8. Красная книга почв России: объекты Красной книги и кадастра особо ценных почв / науч. ред.: Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: МАКС Пресс, 2009. – 576 с.

9. Макаров, О.А. Матрицы экологического нормирования качества почв / О.А. Макаров // Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования: материалы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева, Всероссийская с международным участием научная конференция, Петрозаводск-Москва, 13–18 августа 2012 г., школа-семинар для молодых ученых «Знания о почве – развитию страны». – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. – Кн. 1. – С. 246–248.

10. Методика оценки агроэкологической неустроенности и ресурсного потенциала земель в эрозионных и заболоченных агроландшафтах Беларуси / Ин-т почвоведения и агрохимии НПЦ по земледелию НАН Беларуси. – Минск, 2009. – 15 с.

11. Об охране почв: постановление Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ, 31 окт. 2007 г., № 29–16.

12. Научное обеспечение принципов оценки экономического и экологического ущерба от различных видов деградации почв. Разработка методики оценки экологического и экономического ущерба сельскому хозяйству от деградации: отчет о НИР (заключ.) / Ин-т почвоведения и агрохимии НПЦ по земледелию НАН Беларуси. – Минск, 2012. – 26 с.

13. Оценить современное экологическое состояние почв различного генезиса и гранулометрического состава. Выявить факторы, оказывающие наибольшее негативное влияние на экологическое состояние почвенного покрова. Определить типы почв наиболее уязвимые и территории наименее устойчивые к антропогенному воздействию: отчет о НИР (заключ.) / Ин-т почвоведения и агрохимии НПЦ по земледелию НАН Беларуси. – Минск, 2011. – 72 с.

14. Оценка ресурсного потенциала эрозионных и заболоченных ландшафтов Беларуси и обоснование направления их эффективного и экологически безопасного использования: отчет о НИР (заключ.) / Ин-т почвоведения и агрохимии НПЦ по земледелию НАН Беларуси. – Минск, 2010. – 100 с.

15. Разработать модели экологически устойчивых почвенно-мелиоративных комплексов Белорусского Поозерья: отчет о НИР (заключ.) / Ин-т почвоведения и агрохимии НПЦ по земледелию НАН Беларуси. – Минск, 2005. – 30 с.

16. Разработать эффективную и экологически безопасную систему использования земель Беларуси на основе оценки пригодности почв под сельскохозяйственные культуры и применения почво-и водоохранных технологий в эрозионных агроландшафтах северной, центральной и южной зон: отчет о НИР (заключ.) / Ин-т почвоведения и агрохимии НПЦ по земледелию НАН Беларуси. – Минск, 2006. – 41 с.

17. Романова, М.Л. Использование геосистемного подхода в комплексных исследованиях 30-километровой зоны проектируемой АЭС // М.Л. Романова, Ч.А. Романовский, А.Н. Червань // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. докл. V междунар. науч.-практ. конф. / НИИ ПБиЧС МЧС Беларуси; редкол.: Э.Р. Бариев [и др.]. – Минск: НИИ ПБиЧС МЧС Беларуси. – 2009. – Т. 2. – С. 251–257.

18. Технологическая документация на формирование почвозащитных систем земледелия в разных почвенно-эрозионных зонах Беларуси с применением ГИС-технологий / Ин-т почвоведения и агрохимии НПЦ по земледелию НАН Беларуси. – Минск, 2010. – 44 с.

19. Червань, А.Н. В продолжение Саммита по устойчивому развитию «Рио+20» / А.Н. Червань, Д.А. Чиж // Земля Беларуси. – № 4. – 2012. – С. 5.

20. Методика экологической оценки состояния почвы и нормирования ее качества / А.С. Яковлев [и др.] // Почвоведение. – № 8. – 2009. – С. 984–995.

21. Яковлев, А.С. Экологическое нормирование почв и управление их качеством / А.С. Яковлев, М.В. Евдокимова // Почвоведение. – № 5. – 2011. – С. 582–596.

22. Яцухно, В.М. О необходимости правового обеспечения использования и охраны почв Республики Беларусь / В.М. Яцухно // Плодородие почв и эффективное применение удобрений: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию основания ин-та, Минск, 5–8 июля 2011 г. / редкол.: В.В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – С. 170–172.

23. Кочуров, Б.И. Определение антропогенной механической нагрузки на территории регионов // Б.И. Кочуров, А.В. Корягин, И.Ю. Сливицкая // Проблемы региональной экологии. – 1999. – № 1. – С. 12–17.

24. Зонально-провинциальные нормативы изменений агрохимических, физико-химических и физических показателей основных пахотных почв европейской территории России при антропогенных воздействиях: метод. рекомендации // А.С. Фрид [и др.]; Рос. акад. с.-х. наук, Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. – 174 с.

25. Концепція екологічного нормірованія допустімого антропогенного навантажання грунтовій покрів / за ред.: С.А. Балюка, М.В. Ромощенко. – Київ: Аграрни науки. – 2004. – 32 с.

PRINCIPLES OF ENVIRONMENTAL REGULATION OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON SOIL COVER OF LANDSCAPES OF BELARUS

A.F. Chernysh, A.N. Chervan', Y.P. Kachkov

The article describes the principles of environmental regulation of anthropogenic impact on soil cover of landscapes of Belarus. The detailed characterization and description of the conditions for their implementation are given in the framework of development of the state system of environmental regulation.

Поступила 29.04.13

УДК 631.4:549.905.8

КСЕРОФИТНО-ЛЕСНЫЕ ЧЕРНОЗЕМЫ МОЛДОВЫ: ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА И ЕГО ТРАНСФОРМАЦИИ

В.Е. Алексеев, В.В. Чербарь, А.Н. Бургеля, Е.Б. Варламов
Институт почвоведения, агрохимии и защиты почв им. Н.А. Димо, г. Кишинев, Молдова

ВВЕДЕНИЕ

Специфические почвы, ксерофитно-лесные черноземы, получили распространение в сухих лесах юга Молдовы (гырнецах). Особенностью этих лесов является хорошо развитая под ними кустарниковая и травянистая растительность и изреженное распределение по площади древесного яруса. Это обстоятельство сыграло важную роль в формировании микроклимата, при котором интенсивное развитие получил черноземный процесс с образованием высокогумусированных почв [8–10]. По этой причине, как считается, деградационные процессы, связанные с влиянием лесной растительности, в этих почвах не получили развития [8]. В установлении большей ясности в этом вопросе могут помочь исследования состава первичных и глинистых минералов, характера их изменения и распределения по почвенному профилю.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучены 3 разреза ксерофитно-лесных черноземов. Заложены они в южной части Молдовы на увалообразных водоразделах близ сел Верхние Андрюши Кагульского района (разрез 1м, абс. выс. 227 м), Калфа-Гырбовец (разрез 2м, абс. выс. 165 м) и Пугой (разрез 3м, абс. выс. 222м) Новоаненского района. Интервал высот залегания ксерофитно-лесных черноземов в Молдове находится в пределах 140–240 м [8], так что представленные разрезы вполне ему соответствуют. Из свойств ксерофитно-лесных черноземов отметим показатели по pH и карбонатам. Значения pH в верхней части профиля находятся в пределах 5,9–6,9, с глубиной увеличиваются до 7,4–8,0 и свидетельствуют о слабокислой реакции верхних горизонтов. Наиболее низкие показатели принадлежат разрезу 3м. Карбонаты в разрезе 1м отмечаются с глубины 70 см, в разрезе 2м – с 85 см, в разрезе 3м – со 113 см. Привязка разрезов к водораздельным пространствам позволяет объективнее оценить почвообразовательный потенциал ксерофитно-лесных черноземов.

Изучен состав первичных и глинистых минералов. Первичные минералы исследованы во фракции >1мкм, глинистые – во фракции <1мкм. Фракционное разделение образцов проведено по методике [6]. Органическое вещество и карбонаты перед фракционированием образцов удалялись. Состав первичных и глинистых минералов изучен методом рентгеновской дифрактометрии. Качественный состав первичных и глинистых минералов установлен по рекомендациям [11, 12].

Количественный анализ проведен по методикам [3, 7] с некоторой их детализацией по [1]. Точность анализа первичных минералов оценена коэффициентом вариации результатов съемок их стандартных калибровочных смесей (съемка 3 препаратов по 3 раза). В зависимости от содержания минералов в смесях он характеризуется следующими параметрами (в %): кварц – 2,9–3,3; полевые шпаты – 3,8–8,9; слюды – 4,7–20; хлорит – 15–26. Те же данные для глинистых минералов (съемка 3 препаратов фракции <1мкм по 3 раза): группа смектита – 2,5–3,0; иллит –2,2–2,6; хлорит (ил) – 12–25; каолинит (ил) – 15–25, каолинит (фр. > 1мкм) – 20–30. При анализе первичных и глинистых минералов конечным результатом являлось среднее значение из 4-х измерений (две съемки двух препаратов). При очередной съемке препарат поворачивался на 90° с целью снижения влияния возможного неоднородного распределения суспензии на стекле.

Оценка распределения минералов по профилю почв и влияния на них процессов педогенеза проведена с помощью 10 показателей (К1, К2, К3, К4, ПИИС, ПНИС, ПИКС, ПНКС, ПИКИ, ПНКИ). Эта система показателей разработана для степных и лесостепных черноземов [1]. Использование ее для ксерофитнолесных черноземов является проверкой ее работоспособности на этих почвах. В основе показателей лежат соотношения содержания по профилю между устойчивыми к выветриванию кварцем и диоктаэдрическим иллитом, с одной стороны, и менее устойчивыми группами минералов, с другой. Помимо высокой устойчивости к выветриванию, кварц и диоктаэдрический иллит, образованный по мусковиту, характеризуются высоким содержанием в черноземах, первого – в крупном материале размера >1мкм, второго – в тонком размера <1мкм. Это обстоятельство имеет существенное значение для повышения точности анализа, а также «чувствительности» оценочных показателей.

Соотношения К1, К2, К3 характеризуют степень выветривания полевых шпатов (суммарно плагиоклазов и калиевых полевых шпатов, К1), слоистых силикатов (суммарно слюд, хлорита и каолинита, К2), тех и других вместе (К3). Рассчитываются как отношения содержания в процентах кварца к содержанию указанных групп минералов в каждом горизонте, деленные на такое же отношение в породе. При допущении однородности породы показатель более 1 свидетельствует о разрушении соответствующей группы минералов. Величина отношения пропорциональна размерам разрушения. Значения отношения ниже 1 или их колебания по профилю между значениями больше и меньше 1 указывают на разные виды проявления неоднородности породы. В основе такого заключения лежит, как известно, неспособность неустойчивых минералов вулканического происхождения при нормальных температурах и давлениях к воспроизводству. Их содержание по отношению к кварцу в автоморфных почвах средних широт может только уменьшаться.

К4 представляет собой отношение содержания в процентах кварца к содержанию безгумусного бескарбонатного ила (фракции <1мкм или фракции глинистых минералов) по профилю, деленное на такое же отношение в породе. Сочетание К4 менее 1 с К3 более 1 будет указывать на наличие процесса оглинивания, поскольку свидетельствует о новообразовании глинистых минералов за счет материала первичных минералов. Возможны другие комбинации значений К4 и К3

по профилю черноземов в зависимости от характера преобразования силикатной части почвы под влиянием процессов выветривания и почвообразования или проявлений неоднородности породы [2].

Показатель интенсивности выветривания, иллит-смектитовый (ПИИС) оценивает интенсивность преобразования фракции <1мкм по горизонтам почвы в аспекте изменения соотношения иллит/смектит. Представляет собой отношение содержания в процентах устойчивого диоктаэдрического иллита к содержанию неустойчивого смектита во фракции, умноженное на 10 с целью получения целого числа. Среди иллитов вероятна примесь триоктаэдрического иллита, который не учитывался, поскольку в присутствии диоктаэдрического иллита его небольшая примесь диагностике не поддается.

Показатель напряженности выветривания, иллит-смектитовый (ПНИС) характеризует одной цифрой 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-смектитовый (ПНКС) характеризует одной цифрой напряженность минеральных преобразований по всему профилю и представляет разницу в ПИКС между верхним горизонтом и породой.

Показатель интенсивности выветривания, кварц-иллитовый (ПИКИ) представляет собой отношение содержания в процентах кварца к содержанию иллита в каждом горизонте. Особенность этого показателя заключается в том, что его значения вверх по профилю уменьшаются. Объясняется это тем, что в результате процессов выветривания и почвообразования относительное накопление иллита в почве опережает относительное накопление в ней кварца.

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. Особенность данного показателя заключается в том, что он приобретает отрицательное значение в силу того, что его значение в верхнем горизонте ниже, чем в породе.

Разработка показателей напряженности выветривания (иллит-смектитового, кварц-смектитового и кварц-иллитового) оказалась возможной и эффективной в диагностике преобразований глинистой части черноземов Молдовы благодаря особенности этого типа почв, формирующегося на достаточно однородных лессовидных породах, и характерного для него закономерного, как правило, увеличения с глубиной содержания смектита и вверх по профилю содержания иллита [2].

Особенности минералогического состава ксерофитно-лесных черноземов рассмотрены в сопоставлении с таковыми окружающих зональных обыкновенных черноземов юга Молдовы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первичные минералы. Содержание первичных минералов в почве определяется содержанием фракции > 1мкм. Ее количество в исследуемых ксерофитно-лесных черноземах находится в пределах 53–67 % (табл. 1). Наиболее легким гранулометрическим составом отличается почва разреза 1м – показатели по указанной фракции находятся в пределах 65–67 %, в разрезах 2м и 3м – в пределах 53–60 %. Распределение данной фракции по профилю изученных почв неоднотипно: в разрезе 1м повышенное ее содержание отмечается в средней части профиля, в разрезе 2м – в верхней, в разрезе 3м – в нижней. Здесь наиболее вероятно влияние почвообразующей породы. Фракция > 1мкм на 53–68 % представлена кварцем. Во всех разрезах его содержание в самой фракции увеличивается вверх по профилю на 5–10 %.

Содержание плагиоклазов – 11–15, калиевых полевых шпатов – 8–10, слюд – 7–15, хлорита – 1–4 и глинистого минерала каолинита – 1–5 % (табл. 1). Те же показатели для почвы в целом выглядят таким образом: кварц – 33–39 %, плагиоклазы – 6–10, калиевые полевые шпаты – 4–6, слюды – 5–8, хлорит – 1–3, каолинит – 1–3 %. Содержание кварца вверх по профилю увеличивается, слюд и каолинита – уменьшается. По предварительным наблюдениям, состав первичных минералов и характер распределения их по профилю в ксерофитно-лесных черноземах от такового в территориально близких к ним зональных обыкновенных черноземах принципиально не отличается [5]. Более детальная оценка полученных результатов по показателям выветривания и почвообразования будет дана далее.

Глинистые минералы. Эта группа минералов формирует фракцию <1мкм. Ее содержание в разрезе 1м находится в пределах 32–35 %, в двух других – 40–47 %. В разрезах 1м и 2м фракция <1мкм по профилю распределена сравнительно равномерно, в разрезе 3м ее содержание увеличи-вается к верхним горизонтам. В исследуемых почвах эта фракция представлена на 43–69 % смекти-том, на 20–40 – иллитом, на 4–8 – хлоритом и на 5–11 % – каолинитом (табл. 2). В пересчете на почву те же данные по смектиту – 15–28 % , иллиту – 8–17, хлориту – 2–3 и каолиниту – 2–4 %. Содержание смектита и хлорита с глубиной увеличивается, иллита и каолинита – уменьшается. Причину следует усматривать в разрушении смектита и хлорита в верхних горизонтах и относительном накоплении в них иллита и каолинита, поскольку первые два минерала менее устойчивы к выветриванию, чем вто-рые. В отношении иллита существуют и другие причины. Ассоциация глинистых минералов в ксеро-фитно-лесных черноземах та же, что и в регионально близких зональных обыкновенных черноземах [5].

Более детальную и емкую количественную характеристику распределения минералов по профилю в ксерофитно-лесных черноземах в сравнении с зональными обыкновенными можно получить на основании показателей выветривания и почвообразования, полученных в результате обработки данных анализов по обеим группам почв, представленных в таблицах 1 и 2. Содержание показателей приведено в методической части. Полученный новый материал содержит большой объем генетической информации и требует внимательного рассмотрения (табл. 3).

Таблица 1

Первичные минералы, %

Горизонт	Глубина, см	Фракция >1мкм, %	Фракция >1мкм						Почва					
			Кварц	Плагиоклазы	Калишпаты	Слюды	Хлорит	Каолинит	Кварц	Плагиоклазы	Калишпаты	Слюды	Хлорит	Каолинит
Разрез 1м. Верхние Андрюши, увалообразный водораздел, абс. выс. 227 м														
Ahț1	0–10	65,2	60,1	15,0	9,2	9,4	3,7	2,7	39,2	9,8	6,0	6,1	2,4	1,7
Ah	25–47	65,4	60,1	14,5	8,9	10,0	2,8	3,7	39,3	9,5	5,8	6,6	1,8	2,4
Bhk2	70–85	67,4	56,6	15,0	9,2	11,3	3,4	4,4	38,2	10,1	6,2	7,6	2,3	3,0
BCk1	97–110	67,9	56,0	15,4	9,4	11,0	3,7	4,4	38,1	10,5	6,4	7,4	2,5	3,0
Ck	160–180	64,7	53,2	15,8	9,7	12,7	4,1	4,6	34,4	10,2	6,3	8,2	2,7	3,0
Разрез 2м. Калфа-Гырбовец, увалообразный водораздел, абс. выс. 165 м														
Ahț1	0–10	59,4	64,4	13,3	10,6	7,4	2,2	2,1	38,3	7,9	6,3	4,4	1,3	1,3
Ah	25–46	58,7	63,6	12,5	10,6	8,5	1,8	3,1	37,3	7,3	6,2	5,0	1,1	1,8
Bh1	64–85	60,2	58,9	12,5	9,7	12,4	2,7	3,9	35,4	7,5	5,8	7,5	1,6	2,4
Bhk2	100–115	55,9	58,7	12,7	9,7	11,9	3,1	3,9	34,5	7,5	5,7	7,0	1,8	2,3
Ck	160–180	57,3	59,6	11,8	9,1	11,2	3,3	5,0	34,1	6,8	5,2	6,4	1,9	2,9
Разрез 3м. Пугой, увалообразный водораздел, абс. выс. 222м														
Ahț1	0–10	55,9	68,8	11,8	9,3	7,2	1,4	1,5	38,5	6,6	5,2	4,0	0,8	0,9
Ah	25–50	53,1	66,9	11,1	8,6	9,9	1,3	2,2	35,5	5,9	4,6	5,3	0,7	1,2
Bhw1	65–85	54,8	61,8	11,4	8,7	12,7	2,4	3,1	33,8	6,2	4,8	7,0	1,3	1,7
Bhw2	100–113	58,1	61,5	11,0	9,0	12,8	2,5	3,2	35,7	6,4	5,2	7,5	1,5	1,8
Ck	160–180	58,8	57,2	11,5	9,1	15,1	3,0	4,1	33,6	6,7	5,4	8,9	1,8	2,4

Таблица 2

Глинистые минералы , %

Горизонт	Глубина, см	Фракция <1мкм	Фракция <1мкм				Почва			
			Смектит	Иллит	Хлорит	Каолинит	Смектит	Иллит	Хлорит	Каолинит
Разрез 1м. Верхние Андрюши, увалообразный водораздел, абс. выс. 227 м										
Ahţ1	0–10	34,8	43,1	38,3	7,4	11,2	15,0	13,3	2,6	3,9
Ah	25–47	34,6	47,4	33,7	8,7	10,3	16,4	11,6	3,0	3,6
Bhk2	70–85	32,6	51,3	29,4	7,9	11,4	16,7	9,6	2,6	3,7
BCk1	97–110	32,1	52,2	26,4	8,6	12,7	16,8	8,5	2,8	4,1
Ck	160–180	35,3	60,2	25,0	8,6	6,1	21,3	8,8	3,0	2,2
Разрез 2м. Калфа-Гырбовец, увалообразный водораздел, абс. выс. 165 м										
Ahţ1	0–10	40,6	44,0	39,2	5,1	11,7	17,9	15,9	2,1	4,7
Ah	25–46	41,3	48,1	35,1	6,6	10,2	19,9	14,5	2,7	4,2
Bh1	64–85	39,8	52,5	30,3	6,1	11,1	20,9	12,1	2,4	4,4
Bhk2	100–115	41,1	52,5	31,6	5,9	10,0	21,6	13,0	2,4	4,1
Ck	160–180	42,7	60,2	24,8	4,6	10,4	25,7	10,6	1,9	4,4
Разрез 3м. Пугой, увалообразный водораздел, абс. выс. 222м										
Ahţ1	0–10	44,1	47,7	40,5	4,0	7,9	21,0	17,8	1,8	3,5
Ah	25–46	46,9	54,3	34,2	4,7	6,8	25,5	16,0	2,2	3,2
Bhw1	64–85	45,2	56,5	32,0	5,8	5,7	25,5	14,5	2,6	2,6
Bhw2	100–115	41,9	60,4	27,6	4,9	7,1	25,3	11,5	2,1	3,0
Ck	160–180	41,2	69,2	20,7	4,1	5,9	28,5	8,5	1,7	2,4

Таблица 3

Среднестатистические параметры минералогического состояния силикатной части ксерофитно-лесных и обыкновенных черноземов

Горизонт	К1	К2	К3	К4	ПИИС	ПНИС	ПИКС	ПНКС	ПИКИ	ПНКИ
Ксерофитно-лесные черноземы (X ± s, n = 3)										
Ад	1,10±0,13	1,99±0,59	1,40±0,22	1,13±0,06	8,76±0,23	5,00±0,43	2,19±0,39	0,82±0,17	2,50±0,40	–1,19±0,52
А	1,14±0,15	1,65±0,25	1,34±0,16	1,07±0,13	6,90±0,53		1,89±0,50		2,72±0,59	
В1	1,05±0,10	1,17±0,15	1,11±0,12	1,08±0,15	5,73±0,06		1,77±0,48		3,09±0,83	
В2	1,04±0,10	1,16±0,14	1,09±0,12	1,10±0,10	5,21±0,74		1,76±0,45		3,41±0,95	
Ск	1,00	1,00	1,00	1,00	3,76±0,66		1,38±0,22		3,69±0,40	
Обыкновенные черноземы (X ± s, n = 3)										
Ап	1,17±0,05	1,31±0,16	1,24±0,07	1,11±0,06	6,51±1,23	3,00±0,96	2,22±0,26	0,57±0,10	3,45±0,24	–1,33±0,56
А	1,14±0,04	1,29±0,09	1,21±0,04	1,10±0,10	6,46±0,63		2,27±0,29		3,52±0,26	
В1	1,14±0,06	1,19±0,18	1,16±0,11	1,09±0,16	4,30±0,91		1,96±0,45		4,56±0,25	
В2	1,04±0,03	1,02±0,03	1,03±0,03	1,05±0,07	3,72±0,60		1,82±0,31		4,94±0,62	
Ск	1,00	1,00	1,00	1,00	3,51±0,49		1,65±0,17		4,78±0,58	

Примечание. X – среднее; s – стандартное отклонение; n – количество разрезов.

Прежде всего видно, что рассчитанные показатели минералогического состояния почв изменяются по профилю почв закономерно: они в большинстве случаев увеличиваются вверх по профилю, кроме кварц-иллитового (ПИКИ), который, напротив, уменьшается. О нем далее будет сказано подробнее. Закономерное распределение показателей по профилю почв свидетельствует об относительной однородности почвообразующей породы, позволяющей на ее фоне выявить изменения, обусловленные процессами выветривания и почвообразования. Причина увеличения показателей к верхним горизонтам почв заключается в том, что по отношению к кварцу, наиболее устойчивому к выветриванию минералу, все остальные минералы подвергаются разрушению. Это относится как к полевым шпатам (К1), так и к слоистым силикатам (К2), а также к тем и другим вместе (К3). Показатели К1–К3 характеризуют состояние первичных минералов. В сравнении с теми же показателями в обыкновенных черноземах в ксерофитно-лесных они по абсолютным значениям выше, кроме показателя К1, контролирующего выветривание полевых шпатов. Этот показатель в обыкновенных черноземах оказался неожиданно высок, что нами отмечалось и ранее [4]. В целом показатели выветривания первичных минералов в ксерофитно-лесных черноземах по абсолютным значениям выше, чем в обыкновенных, что указывает на более интенсивное разрушение этой группы минералов в лесных черноземах.

Другие 7 показателей характеризуют минералогическое состояние глинистой части почв. Показатель К4 интегрально отражает состояние глинистых минералов. Он в ксерофитно-лесных черноземах также увеличивается вверх по профилю, что свидетельствует о разрушении и этой группы минералов. Но изменяется он по профилю, в отличие от обыкновенных черноземов, не строго закономерно, что является, вероятнее всего, следствием некоторой неоднородности породы, проявляющейся через разное распределение фракции <1мкм в профилях изученных трех разрезов. ПИИС характеризует соотношение по профилю между иллитом и смектитом в иле. Его значения в верхних горизонтах ксерофитно-лесных черноземов достигают 8,8 против 6,6 в обыкновенных и указывают на более интенсивное накопление в первых иллита и относительное снижение содержания смектита. Это же подтверждается более высоким ПНИС, который в ксерофитно-лесных черноземах равен 5 против 3 в обыкновенных. ПИКС контролирует в почвах соотношение кварц/смектит. Значения этого показателя в обыкновенных черноземах выше, чем в ксерофитно-лесных, чего на фоне предшествующего анализа, казалось бы, не должно быть. На самом деле эти данные являются следствием того обстоятельства, что исходная порода обыкновенных черноземов несколько легче по гранулометрическому составу и содержит кварца больше (ПИКС = 1,65), чем таковая в ксерофитно-лесных черноземах (ПИКС = 1,38). На более интенсивный вынос смектита из ксерофитно-лесных черноземов указывает ПНКС, который в этих почвах равен 0,82 против 0,57 в обыкновенных (табл. 3). Значения ПИКИ (соотношение кварц/иллит) в отличие от других показателей вверх по профилю уменьшаются. Это явление объясняется тем, что накопление в почвах иллита опережает накопление кварца. В результате ПНКИ приобретают отрицательные величины. Значения ПИКИ в ксерофитно-лесных черноземах (2,50–3,69) ниже в сравнении с таковыми в обыкновенных (3,45–4,78) как следствие более высокого содержания иллита по отношению к кварцу в ксерофитно-лесных черноземах. Последнее объясняется пониженным

содержанием в них кварца, но в основном более высоким содержанием в иле этих почв иллита как следствие более интенсивной физической диспергации слюд грубого материала с перемещением их в гидратированном виде в ил, а также более энергичным выносом смектита. Нельзя в этом случае исключать также влияние необменной фиксации высокозарядным смектитом биоцикличе-ского калия с образованием иллитоподобных структур [2]. Низкое абсолютное значение ПНКИ в ксерофитно-лесных черноземах (1,19 против 1,33 в обыкновен-ных) свидетельствует о более высокой степени накопления иллита в их верхних горизонтах. Отрицательные значения ПНКИ – результат уменьшения значений ПИКИ вверх по профилю почв.

Таким образом, практически все показатели минералогического состояния ксерофитно-лесных черноземов (кроме аномалии по полевым шпатам) указы-вают на то, что преобразование их силикатной основы под воздействием про-цессов выветривания и почвообразования в сравнении с обыкновенными черно-земами происходит более интенсивными темпами. Все изменения связаны с разрушением как первичных (прежде всего слоистых силикатов), так и глинистых минералов (особенно смектита) и выносом продуктов разрушения из почвенной части профиля, т. е. они имеют элювиальную природу. Свидетелем потери ми-нерального вещества является накопление в почвах устойчивого кварца. Наряду с этим, происходит физическая диспергация слюд, пополняющая иллитом или-стую фракцию почв. Интенсивность процессов нарастает вверх по профилю, в верхних горизонтах которого относительно накапливается не только кварц, но и иллит, причем накопление иллита опережает накопление кварца. В результате этих процессов в ксерофитно-лесных черноземах на данном этапе их развития наблюдается нарастание в минеральной части изменений деградационного характера: разрушаются неустойчивые минералы и накапливаются инертный кварц в крупном материале и иллит в глинистой части.

На основании этих данных приходим к заключению, что они не подтверждают выдвинутое ранее положение, что черноземный процесс в ксерофитно-лесных черноземах связан только с прогрессивным накоплением гумуса без развития какого-либо рода деградационных процессов [8]. Лесная растительность оказы-вает свое влияние, и процессы деградации их минеральной основы приобретают значительные размеры.

ВЫВОДЫ

1. Минералогические исследования специфических почв юга Молдовы, ксерофитно-лесных черноземов, выявили ряд их особенностей в сравнении с зональными черноземами, регионально близкими обыкновенными черноземами, а также общие с ними черты.

2. При близком составе минералов и характере распределения их по профи-лю почв в минералогическом состоянии ксерофитно-лесных черноземах установ-лены значительные отличия от такового зональных обыкновенных черноземов. Практически все показатели ксерофитно-лесных черноземов указывают на то, что преобразование их силикатной основы под воздействием процессов выве-тривания и почвообразования в сравнении с обыкновенными происходит более

интенсивными темпами. Все изменения связаны с разрушением как первичных, так и глинистых минералов и выносом продуктов разрушения из почвенной части профиля, т. е. они имеют элювиальную природу.

3. Установлено также, что в ксерофитно-лесных черноземах, как и в обыкновенных, происходит физическая диспергация слюд, пополняющая иллитом илистую фракцию почв. Интенсивность процесса нарастает вверх по профилю, в верхних горизонтах которого относительно накапливается не только кварц, но и иллит, причем накопление иллита опережает накопление кварца.

4. В результате указанных процессов в ксерофитно-лесных черноземах на данном этапе их развития наблюдается нарастание в минеральной части изменений деградационного характера: разрушаются неустойчивые минералы и накапливается инертный кварц в крупном материале и иллит в глинистой части. Описанные процессы в ксерофитно-лесных черноземах в сравнении с обыкновенными протекают более энергично, что не подтверждает выдвинутое ранее положение, что черноземный процесс в ксерофитно-лесных черноземах не сопряжен с процессами деградации.

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

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

4. Элювиальный процесс и гипергенная геохимическая трансформация силикатной части покровных отложений водоразделов Молдовы / В.Е. Алексеев [и др.] // Buletinul Institutului de geologie şi seismologie al AŞM. – 2010. – № 1. – P. 52–60.

5. Алексеев, В.Е. Педогенная трансформация минералогического состава четвертичного суглинка на Юге Молдовы / В.Е. Алексеев, А.Н. Бургеля, Е.Б. Варламов // Buletinul Institutului de geologie şi seismologie al AŞM. – 2006. – № 2. – P. 74–81.

6. 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.

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

8. Крупеников, И.А. Черноземы Молдавии / И.А. Крупеников. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1967. – 427 с.

9. Почвы Молдавии: генезис, экология, классификация и систематическое описание почв. – Кишинев: Штиинца, 1984. – Т. 1. – 352 с.

10. Почвы Молдавии: география почв, описание почвенных провинций, районов и микрорайонов. – Кишинев: Штиинца, 1985. – Т. 2. – 239 с.

11. Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов / под ред. Г. Брауна. – М.: Мир, 1965. – 599 с.

12. Рентгенография основных типов породообразующих минералов / редкол.: В.С. Власов [и др.]. – Л.: Недра, 1983. – 359 с.

XEROPHYTIC FOREST CHERNOZEMS OF MOLDOVA: FEATURES OF MINERALOGICAL COMPOSITION AND ITS TRANSFORMATION

V.E. Alekseyev, V.V. Cherbari, A.N. Burghelya, E.B. Varlamov

Summary

Composition of primary and clay minerals of xerophytic forest chernozems (specific soils of the southern Moldova) was studied. A number of its characteristics was identified in comparison to regionally close ordinary chernozems, and also their common features. It was found that nearly all characteristics of mineralogical state of xerophytic forest chernozems indicate a more intense transformation of their silicate base in comparison to ordinary chernozems.

Поступила 06.02.13

УДК 631.4:549.905.8

КСЕРОФИТНО-ЛЕСНЫЕ ЧЕРНОЗЕМЫ: БАЛАНС МИНЕРАЛОВ

В.Е. Алексеев, В.В. Чербарь, А.Н. Бургеля, Е.Б. Варламов
Институт почвоведения, агрохимии и защиты почв им. Н.А. Димо, г. Кишинев, Молдова

ВВЕДЕНИЕ

Специфические почвы, ксерофитно-лесные черноземы, получили распространение в сухих лесах юга Молдовы (гырнецах). Особенностью этих лесов является хорошо развитая под ними кустарниковая и травянистая растительность и изреженное распределение по площади древесного яруса. Это обстоятельство сыграло важную роль в формировании микроклимата, при котором интенсивное развитие получил черноземный процесс с образованием высокогумусированных почв [8–10]. По этой причине, как считается, деградационные изменения, связанные с влиянием лесной растительности в этих почвах, не получили развития [8]. В установлении ясности в этом вопросе помогают исследования состава первичных и глинистых минералов и оценка по ним минералогического состояния

ксерофитно-лесных черноземов, что было сделано в предыдущей статье. Более полную картину о минералогическом состоянии этих почв позволяют получить результаты расчета баланса минералов по профилю, чему посвящена данная статья.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучены 3 разреза ксерофитно-лесных черноземов южной части Молдовы. Их характеристика приведена в предыдущей статье.

Определен состав первичных и глинистых минералов. Первичные минералы исследованы во фракции >1мкм, глинистые – во фракции <1 мкм. Фракционное разделение образцов проведено по методике [4]. Органическое вещество и карбонаты перед фракционированием образцов удалялись. Состав первичных и глинистых минералов изучен методом рентгеновской дифрактометрии. Качественный состав первичных и глинистых минералов установлен по известным рекомендациям [9, 10]. Количественный анализ проведен по методикам [3, 5] с некоторой их детализацией по [1]. Коэффициент вариации результатов анализа, установленный по стандартным калибровочным смесям минералов, в зависимости от содержания минералов в смеси характеризуется следующими параметрами (в %): 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. Все расчеты произведены на минеральную и бескарбонатную части фракций и почвы. Другие детали методики можно найти в предыдущей статье.

Осуществлен расчет баланса минералов. Его особенность заключается в том, что он проведен на уровне потерь и прибавок их процентного содержания в генетических горизонтах по отношению к породе или, что то же самое, потерь и прибавок, выраженных в кг/100 кг породы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ксерофитно-лесных черноземах с их достаточно однородной породой расчет баланса минералов позволяет детализировать преобразования их минеральной части под воздействием педогенеза. Он дает возможность оценить размеры потерь и прибавок минералов по генетическим горизонтам и подвести общий баланс минералов по профилю. Особенности баланса минералов в ксерофитно-лесных черноземах проанализированы нами в сравнении с таковым регионально близких обыкновенных черноземов юга Молдовы (табл. 1–4).

Баланс первичных минералов в ксерофитно-лесных и обыкновенных черноземах можно проследить по данным правой части таблиц 1 и 2. В левой и средней частях этих таблиц представлены соответственно исходное содержание первичных минералов в почве и их содержание в горизонтах, приведенное к содержанию кварца в породе. Баланс практически везде отрицательный, исключая разрез 2м ксерофитно-лесного чернозема, в котором наблюдаются положительные его показатели по полевым шпатам в 0,3–0,6 кг/100 кг породы, что указывает на наличие в этом разрезе некоторой неоднородности породы, поскольку полевые шпаты по отношению к кварцу могут только разрушаться. Наибольшие потери минералов в обеих группах почв связаны со слюдами. В верхних

горизонтах ксерофитно-лесных черноземов они составили 2,8–5,4 кг/100 кг, в обыкновенных – 0,3–2,8 кг/100 кг, т.е. в последних потери менее значительны. Суммарные потери первичных минералов в верхних горизонтах ксерофитно-лесных черноземов выразились величинами в 4,3–9,9 кг/100 кг, в обыкновенных черноземах они опять же оказались в целом ниже и составили 4,9–6,6 кг/100 кг.

С балансом глинистых минералов можно ознакомиться по данным таблиц 3 и 4. Таблицы построены по тому же принципу, что и для первичных минералов. В обеих группах почв наибольшие потери глинистых минералов принадлежат смектиту. В ксерофитно-лесных черноземах, в их верхних горизонтах, они максимальные и выразились величинами в 8,1–10,2, в обыкновенных они ниже – 5,3–6,0 кг/100 кг от веса исходной породы. Положительный баланс по иллиту в верхних горизонтах ксерофитно-лесных черноземов составил 2,9–7,1 (табл. 3), в обыкновенных – 3,1–4,0 кг/100 кг (табл. 4). В разрезах 1м и 3м ксерофитно-лесных черноземов отмечается положительный баланс по каолиниту в 0,6–1,3 кг/100 кг, происхождение которого может быть связано, по аналогии с иллитом, с физической диспергацией каолинита, содержащегося во фракции >1 мкм, а также и с относительным накоплением в связи с потерей главным образом смектита. Суммарный баланс глинистых минералов в ксерофитно-лесных черноземах отрицательный и измеряется в верхних горизонтах величинами в 2,7–6,4 кг/100 кг (табл. 3), в обыкновенных – он ниже и равен 1,9–5,2 кг/100 кг (табл. 4).

Следует обратить внимание на случаи явно незакономерного, с точки зрения генезиса почв, поведения отдельных минералов. Это относится как к первичным, так и глинистым минералам, когда общий ход изменений содержания минерала по профилю нарушается. Например, сюда можно, отнести случаи положительного баланса полевых шпатов или более высокие потери минерала в более глубоких горизонтах в сравнении с вышележащими и другие, что теоретически, как правило, невозможно. Обычно такие аномалии проявляются одновременно в одном горизонте и на разных минералах, тогда возникают все основания говорить о наличии неоднородности почвообразующей породы. Бывает так, что неоднородность породы перекрывается наложенным на нее почвенным процессом и общий ход изменений по профилю сохраняется, но в ослабленной или, наоборот, более выраженной форме. Отмеченные случаи имели место как среди данных по ксерофитно-лесным, так и по обыкновенным черноземам.

Общий баланс по первичным и глинистым минералам в обеих группах почв отрицательный, что совершенно определенно указывает на элювиальную природу происходящих в этих почвах процессов [4, 5]. В ксерофитно-лесных черноземах общий отрицательный баланс в верхних, наиболее измененных, горизонтах в сравнении с породой измеряется величинами в 10,7–12,6 кг/100 кг (табл. 3), в обыкновенных – в 6,8–10,8 кг/100 кг (табл. 4). Таким образом, в лесных черноземах юга Молдовы процессы элювиальной трансформации их минеральной основы протекают со значительно большей интенсивностью, чем в окружающих зональных обыкновенных черноземах. В этом их отличие от степных черноземов.

Таблица 1

Баланс первичных минералов силикатной части ксерофито-лесных черноземов

Горизонт	Глубина, см	Весовой % в почве							Мгп, кг/100кг породы							Мд, кг/100кг породы						
		КВ	П	КШ	С	Х	КЛ	Фракция >1 мкм	КВ	П	КШ	С	Х	КЛ	Сумма	КВ	П	КШ	С	Х	КЛ	Бпм
Разрез 1м. Верхние Андрюши, увалообразный водораздел, абс. выс. 227 м																						
Ahț1	0–10	39,2	9,8	6,0	6,1	2,4	1,7	65,2	34,4	8,6	5,3	5,4	2,1	1,5	57,3	0,0	–1,6	–1,0	–2,8	–0,6	–1,4	–7,4
Ah	25–47	39,3	9,5	5,8	6,6	1,8	2,4	65,4	34,4	8,3	5,1	5,7	1,6	2,1	57,2	0,0	–1,9	–1,2	–2,5	–1,1	–0,8	–7,5
Bhk2	70–85	38,2	10,1	6,2	7,6	2,3	3,0	67,4	34,4	9,1	5,6	6,9	2,1	2,7	60,7	0,0	–1,1	–0,7	–1,3	–0,6	–0,3	–4,0
BCk1	97–110	38,1	10,5	6,4	7,4	2,5	3,0	67,9	34,4	9,5	5,8	6,7	2,3	2,7	61,4	0,0	–0,7	–0,5	–1,5	–0,4	–0,3	–3,3
Ck	160–180	34,4	10,2	6,3	8,2	2,7	3,0	64,7	34,4	10,2	6,3	8,2	2,7	3,0	64,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Разрез 2м. Калфа-Гырбовец, увалообразный водораздел, абс. выс. 165 м																						
Ahț1	0–10	38,3	7,9	6,3	4,4	1,3	1,3	59,4	34,1	7,0	5,6	3,9	1,2	1,1	53,0	0,0	0,3	0,4	–2,5	–0,7	–1,7	–4,3
Ah	25–46	37,3	7,3	6,2	5,0	1,1	1,8	58,7	34,1	6,7	5,7	4,5	1,0	1,6	53,7	0,0	–0,1	0,5	–1,9	–0,9	–1,2	–3,6
Bh1	64–85	35,4	7,5	5,8	7,5	1,6	2,4	60,2	34,1	7,2	5,6	7,2	1,6	2,3	58,0	0,0	0,5	0,4	0,8	–0,3	–0,6	0,7
Bhk2	100–115	34,5	7,5	5,7	7,0	1,8	2,3	58,9	34,1	7,4	5,7	6,9	1,8	2,3	58,2	0,0	0,6	0,4	0,5	–0,1	–0,6	0,9
Ck	160–180	34,1	6,8	5,2	6,4	1,9	2,9	57,3	34,1	6,8	5,2	6,4	1,9	2,9	57,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Разрез 3м. Пугой, увалообразный водораздел, абс. выс. 222 м																						
Ahț1	0–10	38,5	6,6	5,2	4,0	0,8	0,9	55,9	33,6	5,8	4,6	3,5	0,7	0,7	48,9	0,0	–1,0	–0,8	–5,4	–1,1	–1,7	–9,9
Ah	25–50	35,5	5,9	4,6	5,3	0,7	1,2	53,1	33,6	5,6	4,3	5,0	0,6	1,1	50,3	0,0	–1,1	–1,1	–3,9	–1,1	–1,3	–8,5
Bhw1	65–85	33,8	6,2	4,8	7,0	1,3	1,7	54,8	33,6	6,2	4,7	6,9	1,3	1,7	54,4	0,0	–0,5	–0,6	–2,0	–0,5	–0,7	–4,4
Bhw2	100–113	35,7	6,4	5,2	7,5	1,5	1,8	58,1	33,6	6,0	4,9	7,0	1,4	1,7	54,7	0,0	–0,7	–0,5	–1,9	–0,4	–0,7	–4,1
Ck	160–180	33,6	6,7	5,4	8,9	1,8	2,4	58,8	33,6	6,7	5,4	8,9	1,8	2,4	58,8	0,0	0	0	8,9	0	0	0,0

Примечание. Мгп – содержание минерала в горизонте, приведенное к содержанию кварца в породе; Мд – убыль (прибавка) минерала в сравнении с породой; КВ – кварц; П – плагиоклазы; КШ – калиевые полевые шпаты; С – слюды; Х – хлорит; КЛ – каолинит; СМ – смектит; И – иллит; Бпм – баланс первичных минералов; Бгм – баланс глинистых минералов; Бо – общий баланс минералов; К – коэффицент увлажнения.

Таблица 2

Баланс первичных минералов силикатной части обыкновенных черноземов юга Молдовы

Гори-зонт	Глубина, см	Весовой % в почве							Мгп, кг/100кг породы							Мд, кг/100кг породы						
		КВ	П	КШ	С	Х	КЛ	Фракция >1 мкм	КВ	П	КШ	С	Х	КЛ	Сумма	КВ	П	КШ	С	Х	КЛ	Бпм
Разрез 1. Кортен, плато, абс. выс. 100 м																						
Ап	0–31	40,4	7,2	5,3	7,2	1,9	1,8	63,8	36,6	6,5	4,8	6,5	1,7	1,6	57,8	0,0	–1,0	–0,9	–1,1	–1,8	–1,9	–6,6
A	40–43	38,5	7,4	5,2	6,7	2,1	2,9	62,8	36,6	7,0	4,9	6,4	2,0	2,8	59,7	0,0	–0,5	–0,8	–1,2	–1,5	–0,7	–4,7
B1	60–70	36,4	7,2	5,1	7,1	2,2	3,4	61,4	36,6	7,2	5,1	7,1	2,2	3,4	61,7	0,0	–0,3	–0,6	–0,5	–1,3	–0,1	–2,7
BCk	100–110	36,9	7,5	5,2	8,0	2,9	3,1	63,6	36,6	7,4	5,2	7,9	2,9	3,1	63,1	0,0	–0,1	–0,5	0,3	–0,6	–0,4	–1,3
Ck	190–200	36,6	7,5	5,7	7,6	3,5	3,5	64,4	36,6	7,5	5,7	7,6	3,5	3,5	64,4	0,0	0	0	7,6	0	0	0,0
Разрез 5. Казаклия, терраса, абс. выс. 90 м																						
Ап	0–28	35,4	8,7	7,3	10,9	2,4	3,0	67,7	31,6	7,7	6,5	9,7	2,2	2,7	60,4	0,0	–1,1	–0,7	–0,3	–1,7	–1,8	–5,6
A	40–50	36,3	8,9	7,1	9,6	2,4	3,4	67,6	31,6	7,7	6,2	8,4	2,1	3,0	58,8	0,0	–1,1	–1,0	–1,7	–1,8	–1,6	–7,2
B2	60–70	36,7	8,6	7,0	8,4	2,9	4,1	67,7	31,6	7,4	6,0	7,2	2,5	3,6	58,2	0,0	–1,4	–1,2	–2,8	–1,4	–1,0	–7,8
BCk	100–110	31,9	9,0	7,0	10,1	4,0	4,8	66,8	31,6	8,9	7,0	10,0	4,0	4,7	66,2	0,0	0,1	–0,2	–0,1	0,1	0,2	0,2
Ck	190–200	31,6	8,8	7,2	10,1	3,8	4,5	66,0	31,6	8,8	7,2	10,1	3,8	4,5	66,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Разрез 9. Балабану, терраса, абс. выс. 80 м																						
Ап	0–31	39,3	7,9	5,2	7,7	1,9	3,0	65,0	36,6	7,4	4,8	7,2	1,8	2,8	60,5	0,0	–2,0	–0,8	–0,4	–0,8	–0,8	–4,9
A	31–41	39,5	7,8	6,0	7,5	2,2	2,8	65,8	36,6	7,2	5,6	6,9	2,0	2,6	61,0	0,0	–2,2	0,0	–0,7	–0,6	–1,0	–4,4
B1	55–65	39,2	8,2	5,7	7,3	3,1	3,8	67,3	36,6	7,7	5,3	6,8	2,9	3,5	62,8	0,0	–1,7	–0,3	–0,8	0,3	–0,1	–2,6
BCk	100–110	38,6	9,0	5,7	6,6	3,4	4,2	67,5	36,6	8,5	5,4	6,3	3,2	4,0	64,0	0,0	–0,9	–0,2	–1,3	0,6	0,4	–1,4
Ck	190–200	36,6	9,4	5,6	7,6	2,6	3,6	65,4	36,6	9,4	5,6	7,6	2,6	3,6	65,4	0,0	0	0	7,6	0	0	0,0

Таблица 3

Баланс глинистых и общий баланс минералов силикатной части ксерофитно-лесных черноземов

Горизонт	Глубина, см	Весовой % в почве					Мгп, кг/100кг породы					Мд, кг/100кг породы					Баланс минералов		
		СМ	И	Х	КЛ	Фракция <1 мкм	СМ	И	Х	КЛ	Сумма	СМ	И	Х	КЛ	Бгм	Бпм	Бгм	Бо
Разрез 1м. Верхние Андрюши, увалообразный водораздел, абс. выс. 227 м																			
Ahţ1	0–10	15,0	13,3	2,6	3,9	34,8	13,2	11,7	2,3	3,4	30,6	–8,1	2,9	–0,8	1,3	–4,7	–7,4	–4,7	–12,1
Ah	25–47	16,4	11,6	3,0	3,6	34,6	14,3	10,2	2,6	3,1	30,3	–6,9	1,4	–0,4	0,9	–5,0	–7,5	–5,0	–12,5
Bhk2	70–85	16,7	9,6	2,6	3,7	32,6	15,1	8,7	2,3	3,3	29,4	–6,2	–0,2	–0,7	1,2	–5,9	–4,0	–5,9	–9,9
BCk1	97–110	16,8	8,5	2,8	4,1	32,1	15,2	7,7	2,5	3,7	29,0	–6,1	–1,2	–0,6	1,5	–6,3	–3,3	–6,3	–9,6
Ck	160–180	21,3	8,8	3,0	2,2	35,3	21,3	8,8	3,0	2,2	35,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Разрез 2м. Калфа-Гырбовец, увалообразный водораздел, абс. выс. 165 м																			
Ahţ1	0–10	17,9	15,9	2,1	4,7	40,6	16,0	14,2	1,9	4,2	36,3	–9,7	3,6	–0,1	–0,2	–6,4	–4,3	–6,4	–10,7
Ah	25–46	19,9	14,5	2,7	4,2	41,3	18,2	13,3	2,5	3,9	37,8	–7,5	2,7	0,6	–0,6	–4,9	–3,6	–4,9	–8,5
Bh1	64–85	20,9	12,1	2,4	4,4	39,8	20,1	11,6	2,3	4,3	38,3	–5,6	1,0	0,4	–0,2	–4,3	0,7	–4,3	–3,6
Bhk2	100–115	21,6	13,0	2,4	4,1	41,1	21,3	12,8	2,4	4,0	40,6	–4,4	0,5	0,5	–0,4	–3,9	0,9	–3,9	–3,0
Ck	160–180	25,7	10,6	1,9	4,4	42,7	25,7	10,6	1,9	4,4	42,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Разрез 3м. Пугой, увалообразный водораздел, абс. выс. 222 м																			
Ahţ1	0–10	21,0	17,8	1,8	3,5	44,1	18,4	15,6	1,5	3,0	38,5	–10,2	7,1	–0,1	0,6	–2,7	–9,9	–2,7	–12,6
Ah	25–50	25,5	16,0	2,2	3,2	46,9	24,1	15,2	2,1	3,0	44,4	–4,4	6,6	0,4	0,6	3,2	–8,5	3,2	–5,4
Bhw1	65–85	25,5	14,5	2,6	2,6	45,2	25,4	14,4	2,6	2,6	44,9	–3,2	5,8	0,9	0,1	3,7	–4,4	3,7	–0,6
Bhw2	100–113	25,3	11,5	2,1	3,0	41,9	23,8	10,9	1,9	2,8	39,4	–4,7	2,3	0,3	0,3	–1,8	–4,1	–1,8	–5,9
Ck	160–180	28,5	8,5	1,7	2,4	41,2	28,5	8,5	1,7	2,4	41,2	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0

Таблица 4

Баланс глинистых и общий баланс минералов силикатной части черноземов юга Молдовы

Горизонт	Глубина, см	Весовой % в почве					Мгп, кг/100кг породы					Мд, кг/100кг породы					Баланс минералов		
		СМ	И	Х	КЛ	Фракция <1 мкм	СМ	И	Х	КЛ	Сумма	СМ	И	Х	КЛ	Бгм	Бпм	Бгм	Бо
Разрез 1. Кортен, плато, абс. выс. 100 м																			
Ап	0–31	20,0	11,0	2,6	2,5	36,1	18,1	10,0	2,4	2,3	32,7	–5,6	3,1	0,5	–0,8	–2,9	–6,6	–2,9	–9,5
А	40–43	19,3	11,9	2,9	3,2	37,3	18,3	11,3	2,8	3,0	35,5	–5,4	4,4	0,9	–0,1	–0,1	–4,7	–0,1	–4,8
В1	60–70	24,7	8,4	3,4	2,1	38,6	24,8	8,4	3,4	2,1	38,8	1,1	1,5	1,5	–1,0	3,2	–2,7	3,2	0,5
ВСk	100–110	23,9	7,2	2,1	3,0	36,2	23,7	7,1	2,1	3,0	35,9	0,0	0,2	0,2	–0,1	0,3	–1,3	0,3	–1,0
Ck	190–200	23,7	6,9	1,9	3,1	35,6	23,7	6,9	1,9	3,1	35,6	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
Разрез 5. Казаклия, терраса, абс. выс. 90 м																			
Ап	0–28	16,6	10,2	2,2	3,3	32,3	14,8	9,1	2,0	2,9	28,8	–5,3	1,5	–0,6	–0,8	–5,2	–5,6	–5,2	–10,8
А	40–50	16,2	9,8	2,5	3,9	32,4	14,1	8,5	2,2	3,4	28,2	–6,0	0,9	–0,3	–0,4	–5,8	–7,2	–5,8	–13,1
В2	60–70	17,2	7,9	2,9	4,3	32,3	14,8	6,8	2,5	3,7	27,8	–5,3	–0,9	–0,1	0,0	–6,2	–7,8	–6,2	–14,0
ВСk	100–110	18,0	7,9	2,9	4,4	33,2	17,8	7,9	2,9	4,3	32,9	–2,3	0,3	0,3	0,6	–1,0	0,2	–1,0	–0,9
Ck	190–200	20,1	7,6	2,6	3,7	34,0	20,1	7,6	2,6	3,7	34,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Разрез 9. Балабану, терраса, абс. выс. 80 м																			
Ап	0–31	15,6	12,3	2,9	4,3	35,1	14,5	11,5	2,7	4,0	32,7	–5,3	4,0	–0,2	–0,4	–1,9	–4,9	–1,9	–6,8
А	31–41	15,3	11,0	3,2	4,8	34,3	14,2	10,2	3,0	4,4	31,8	–5,6	2,7	0,1	0,0	–2,8	–4,4	–2,8	–7,2
В1	55–65	16,7	8,7	3,0	4,2	32,6	15,6	8,1	2,8	3,9	30,4	–4,2	0,6	–0,1	–0,5	–4,2	–2,6	–4,2	–6,7
ВСk	100–110	17,9	7,1	3,1	4,5	32,6	17,0	6,7	2,9	4,3	30,9	–2,8	–0,8	0,0	–0,1	–3,7	–1,4	–3,7	–5,1
Ck	190–200	19,8	7,5	2,9	4,4	34,6	19,8	7,5	2,9	4,4	34,6	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0

Таблица 5

Среднестатистический баланс первичных, глинистых и общий баланс минералов в ксерофитно-лесных и обыкновенных черноземах (кг/100 кг породы)

Горизонт	Ксерофитно-лесные			Обыкновенные		
	Бпм	Бгм	Бо	Бпм	Бгм	Бо
Ад, Ап	–7,2	–4,6	–11,8	–5,7	–3,3	–9,0
А	–6,5	–2,2	–8,7	–5,4	–2,9	–8,3
В1	–2,6	–2,2	–4,8	–4,4	–2,4	–6,8
В2	–2,2	–4,0	–6,2	–0,8	–1,5	–2,3
Ск	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Более интенсивное преобразование минеральной силикатной основы по элювиальному типу в ксерофитно-лесных черноземах еще раз наглядно подтверждает среднестатистический баланс по первичным, глинистым и общему балансу минералов, рассчитанный по 3 разрезам ксерофитно-лесных и 3 разрезам обыкновенных черноземов (табл. 5). Отклонения от общей закономерности в ксерофитно-лесных черноземах (гор. В1, В2) скорее всего связаны с проявлениями некоторой неоднородности в них почвообразующей породы.

Таблица 6

Тенденция зависимости размеров потерь силикатов в верхних горизонтах почв от высоты местности

Ксерофитно-лесные черноземы			Обыкновенные черноземы		
Разрезы	Абсолютные отметки, м	Потери, кг/100 кг	Разрезы	Абсолютные отметки, м	Потери, кг/100 кг
1м	227	12,1	1	100	9,5
2м	165	10,7	5	90	10,8
3м	222	12,6	9	80	6,5

Важно отметить то обстоятельство, что, несмотря на участие лесной растительности в формировании минералогических профилей ксерофитно-лесных черноземов, они (профили) не обнаруживают иллювиальных проявлений, т. е. отсутствуют признаки, характерные для обычных лесных почв Молдовы. В этом можно видеть сходство лесных черноземов с черноземами степными. Следует отметить также то, что с повышением абсолютных отметок водоразделов размеры потерь силикатов в почвенном профиле черноземов увеличиваются. Данное явление было установлено ранее [2]. На примере разрезов ксерофитно-лесных черноземов эта закономерность получила подтверждение: общие потери минерального вещества на абсолютных высотах в 222–227 м (разрезы 1м и 3м) в

верхних горизонтах составили около 12–13 кг/100 кг породы, тогда как на высоте в 165 м (разрез 2м) они ниже и равняются 10–11 кг/100 кг. То же самое можно наблюдать по отношению к обыкновенным черноземам (табл. 6).

ВЫВОДЫ

1. Расчет баланса минералов показал, что в лесных черноземах юга Молдовы процессы трансформации их минеральной основы протекают по элювиальному типу и со значительно большей интенсивностью, чем в окружающих зональных обыкновенных черноземах.

2. Несмотря на участие лесной растительности в формировании минералогических профилей ксерофитно-лесных черноземов, они (профили) не обнаруживают иллювиальных проявлений, свойственных другим лесным почвам. В этом можно видеть сходство лесных черноземов со степными.

3. С высотой местности, как ранее было обнаружено в отношении зональных черноземов, размеры потерь силикатов в почвенном профиле ксерофитно-лесных черноземов имеют тенденцию увеличиваться. На примере ксерофитно-лесных черноземов эта закономерность получила подтверждение.

4. По природным условиям образования, приобретенным свойствам и эволюционным проявлениям в сфере минералогии ксерофитно-лесные черноземы в генетическом плане занимают промежуточное положение между контактными зональными степными черноземами и типичными лесными почвами Молдовы под сомкнутыми дубравами. Как лесные почвы они несут признаки более выраженной деградации минеральной силикатной основы в сравнении с регионально близкими черноземами юга. Данное обстоятельство не подтверждает ранее выдвинутое утверждение об отсутствии таковых признаков. По-видимому, по таким признакам, как развитие под лесом, хотя и специфическим, а также по более выраженной деградации минеральной основы в сравнении с черноземами ксерофитно-лесные черноземы правильнее относить к лесным почвам.

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. Гипергенез, возраст черноземов, кор выветривания и покровных отложений водоразделов Молдовы // Buletinul Institutului de geologie şi seismologie al AŞM. – 2011. – № 1. – P. 124–142.

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

4. Элювиальный процесс и гипергенная геохимическая трансформация силикатной части покровных отложений водоразделов Молдовы / В.Е. Алексеев [и др.] // Buletinul Institutului de geologie şi seismologie al AŞM. – 2010. – № 1. – P. 52–60.

5. Алексеев, В.Е. Педогенная трансформация минералогического состава четвертичного суглинка на Юге Молдовы / В.Е. Алексеев, А.Н. Бургеля, Е.Б. Варламов // Buletinul Institutului de geologie şi seismologie al AŞM. – 2006. – № 2. – P. 74–81.

6. 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.

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

8. Крупеников, И.А. Черноземы Молдавии / И.А. Крупеников. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1967. – 427 с.

9. Почвы Молдавии: генезис, экология, классификация и систематическое описание почв. – Кишинев: Штиинца, 1984. – Т. 1. – 352 с.

10. Почвы Молдавии: география почв, описание почвенных провинций, районов и микрорайонов. – Кишинев: Штиинца, 1985. – Т. 2. – 239 с.

11. Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов / под ред. Г. Брауна. – М.: Мир, 1965. – 599 с.

12. Рентгенография основных типов породообразующих минералов / редкол.: В.С. Власов [и др.]. – Л.: Недра, 1983. – 359 с.

XEROPHYTIC FOREST CHERNOZEMS: BALANCE OF MINERALS

V.E. Alekseyev, V.V. Cherbari, A.N. Burghelya, E.B. Varlamov

Summary

Calculation of the balance of minerals showed that in xerophytic forest chernozems of the Southern Moldova processes of transformation of their mineral base go according to the eluvial type and with much greater intensity than in surrounding zonal ordinary chernozems. It was also found that these soils do not exhibit of illuvial properties typical to other forest soils, but for a more pronounced degradation of the mineral base in comparison to regional chernozems, xerophytic forest chernozems seemingly should be treated as forest soils.

Поступила 06.03.13

УДК 631.4:549.905.8

КСЕРОФИТНО-ЛЕСНЫЕ ЧЕРНОЗЕМЫ: ПРИРОДНЫЕ РЕЗЕРВЫ КАЛИЯ

В.Е. Алексеев, В.В. Чербарь, А.Н. Бургеля, Е.Б. Варламов
Институт почвоведения, агрохимии и защиты почв им. Н.А. Димо
г. Кишинев, Молдова

ВВЕДЕНИЕ

Калий (К) является одним из важнейших элементов для роста растений. Калийные удобрения широко используются в сельском хозяйстве во всем мире (около 28 млн т в 2006–2007 гг. в соответствии с ФАО [15]). В то же время известно, что запасы К в природных экосистемах ограничены [27].

В агрохимической практике при оценке обеспеченности почвы калием обычно руководствуются определением водорастворимого, обменного, необменного и реже валового калия [8]. Наряду с этим, существуют и другие подходы к оценке резервов калия в почве. Исследования в Западной Европе показали, что большой вклад в обеспечение сельскохозяйственных культур К принадлежит почвенным минералам [20]. Учет этого источника увеличивает возможность оптимизации использования питательных веществ.

Помимо решения теоретических вопросов, изучение ксерофитно-лесных черноземов предполагало оценку этих почв по резервам и доступности растениям заключенного в них калия на основании их минералогического состава.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучены 3 разреза ксерофитно-лесных черноземов южной части Молдовы. Они описаны в предыдущих статьях.

Определен состав первичных и глинистых минералов. Первичные минералы исследованы во фракции >1мкм, глинистые – во фракции <1 мкм. Фракционное разделение образцов проведено по методике [4]. Органическое вещество и карбонаты перед фракционированием образцов удалялись. Состав первичных и глинистых минералов изучен методом рентгеновской дифрактометрии. Качественный состав первичных и глинистых минералов установлен по известным рекомендациям [9, 10]. Количественный анализ проведен по методикам [3, 5] с некоторой их детализацией по [1]. Коэффициент вариации результатов анализа, установленный по стандартным калибровочным смесям минералов, в зависимости от содержания минералов в смеси характеризуется следующими параметрами (в %): 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. Все расчеты произведены на минеральную и бескарбонатную части фракций и почвы.

На территории стран СНГ по минералогическим критериям, условно говоря, резервы почвенного калия было принято оценивать по Горбунову [6]. Согласно его концепции, к непосредственному резерву относится обменный калий

(по Масловой). Во вторую категорию по доступности растениям, ближний резерв, входит калий, содержащийся в глинистых минералах. Этот калий, в применении к черноземам, заключен в таких минералах как иллит и смешаннослойный иллит-смектит. Наименее доступный или потенциальный резерв калия принадлежит грубодисперсным минералам размерности более 0,001 мм. Сюда относятся слюды и калиевые полевые шпаты. Вместе с тем расчет резервов калия по методике Горбунова ведется по результатам не минералогического, а химического анализа, поскольку на тот период проблема количественного минералогического анализа не была достаточно разработана, поэтому определялось валовое содержание калия в почве, содержание калия в илистой фракции и обменный калий. Последний относился к непосредственному резерву, калий ила – к ближнему резерву. По разнице между суммой непосредственного и ближнего резервов и валовым калием устанавливался его потенциальный резерв.

Исследования за рубежом показали, что важная роль как источника природного К принадлежит 2:1 глинистым минералам, среди которых указывается иллит, почвенный вермикулит, смешаннослойный иллит-смектит (13, 14, 17 и др.). Эти данные лежат в русле концепции Горбунова. Установлено также, что растения могут освобождать К из слоев иллита, что сопровождается расширением 1 нм иллитовых слоев до 1,4 нм вермикулитовых слоев (19, 21, 25 и др.). Напротив, иллитизация приводит к сокращению слоев вермикулита с 1,4 нм до 1 нм в результате поглощения ионов К (18, 23 и др.). Некоторые авторы отмечают смектизацию, проявляющуюся в увеличении количества смектитовых слоев в смешаннослойных иллит-смектитах в результате потери К (26, 28), и иллитизацию в тех же смешаннослойных иллит-смектитах при поглощении К (22, 24). Предпринимаются попытки количественной оценки участия различных К-содержащих минералов в питании растений [11, 12].

Таблица 1

Элементный состав ксерофитно-лесного чернозема (гор. Ад, глубина 0–10 см) по данным минералогического анализа (весовой процент)

Минералогический состав	H_2O	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Содержание минерала/оксидов
Глубина 0–10 см									
Кварц		39,2							39,2
Плагиоклаз (15 %An)		6,3	2,2		0,3			0,9	9,8
Калиевый полевой шпат		3,9	1,1				**0,783**	0,2	**6**
Мусковит	0,3	2,7	2,4				**0,678**		**6,1**
Хлорит (фр. >1 мкм)	0,3	0,6	0,5	0,6		0,5			2,4
Каолинит (фр. >1 мкм)	0,3	0,7	0,7						1,7
Иллит-смектит	2,1	7,9	2,8	1,8	0,2	0,2	**0,103**		**15,0**
Иллит	1,0	6,8	3,5	0,8		0,4	**0,813**		**13,3**
Хлорит (фр. <1 мкм)	0,2	0,6	0,5	0,6		0,6			2,6
Каолинит (фр. <1 мкм)	0,5	1,8	1,6						3,9
Сумма	4,8	70,5	15,2	3,8	0,6	1,6	**2,377**	1,1	100,1

Расчет резервов калия осуществлен по результатам минералогического анализа. При этом мы руководствовались выводами в приведенных выше зарубежных исследованиях, согласно которым после обменного калия (непосредственный резерв) наиболее доступным растениям является калий, принадлежащий иллиту и иллит-смектиту (в нашем случае иллиту и иллит-смектиту с высокой нормой смектитовых пакетов, ближний резерв), наименее доступен калий калиевых полевых шпатов и мусковита (потенциальный резерв). В основе расчетов лежат данные по обменному калию (по Масловой), количеству в почвах соответствующих калийсодержащих минералов и содержанию калия в них согласно химическим формулам. Пример расчета приведен в таблице 1. В правой крайней графе представлены данные по содержанию в почве минералов и составляющих их оксидов. Жирным шрифтом выделены калийсодержащие минералы, содержание в них K_2O и их содержание в почве.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общий резерв калия в форме K_2O в исследуемых ксерофитно-лесных черноземах по разрезам изменяется в узких пределах, что главным образом объясняется их близкими гранулометрическим и минералогическим составами. Общий резерв весьма высок: он находится в пределах 2215–2474 мг/100 г почвы, определенной закономерности изменения его содержания по профилю не обнаруживается. Иная ситуация складывается с другими резервами.

Таблица 2

Резервы калия (K_2O) в ксерофитно-лесных черноземах по данным минералогического анализа (мг/100 г)

Горизонт	Глубина, см	Непосредственный	Ближний	Потенциальный	Общий
Разрез 1м. Верхние Андрюши, увалообразный водораздел, абс. выс. 227 м					
Ад	0–10	33	916	1460	2409
А	25–47	16	822	1490	2328
Вк	70–85	н.о.	702	1653	2355
ВСк	97–110	н.о.	635	1657	2292
Ск	160–180	н.о.	685	1733	2418
Разрез 2м. Калфа-Гырбовец, увалообразный водораздел, абс. выс. 165 м					
Ад	0–10	46	1095	1311	2452
Ah	25–46	18	1024	1364	2406
В1	64–85	н.о.	884	1590	2474
В2к	100–115	н.о.	944	1521	2465
Ск	160–180	н.о.	825	1389	2214
Разрез 3м. Пугой, увалообразный водораздел, абс. выс. 222 м					
Ад	0–10	74	1233	1123	2430
А	25–50	19	1154	1189	2362
В1	65–85	н.о.	1062	1404	2466
В2	100–113	н.о.	877	1512	2389
Ск	160–180	н.о.	716	1693	2409

Примечание. Н.о. – не определялся.

Непосредственный резерв составляет от общего 1–3 % и максимальных величин достигает в верхних дерновых горизонтах (46–74 мг/100 г). Это значительно выше, чем в пахотных обыкновенных черноземах (около 20–25 мг/100 г [2]). С глубиной содержание непосредственного резерва резко снижается.

Ближний резерв, заключенный в глинистых минералах (иллит, иллит-смектит), составляет 25–50 % от общего. Его содержание изменяется в широких пределах – 600–1200 мг/100 г. Вверх по профилю он увеличивается, что связано с увеличением в этом направлении содержания иллита, продукта главным образом физической диспергации обломочных слюд. Определенную роль в относительном накоплении в верхних горизонтах иллита играет фитоциклический калий, который необменно фиксируется высокозарядным смектитом с образованием иллитоподобных структур со слоями в 1 нм [2]. Это явление привлекает все большее внимание исследователей [16].

Потенциальный резерв калия в ксерофитно-лесных черноземах заключен в калиевых полевых шпатах и слюдах, преимущественно в мусковите. В отличие от ближнего резерва, потенциальный, напротив, вверх по профилю уменьшается: его размеры в полтора раза больше и составляют 1100–1700 мг/100 г. Калий этих минералов растениям малодоступен. Под влиянием процессов выветривания и почвообразования грубодисперсные калийсодержащие минералы верхних горизонтов подвергаются физической диспергации, пополняют собою глинистую часть почвы, и доступность из них калия возрастает. Большой общий резерв, а также повышенное содержание непосредственного и ближнего резервов калия в верхних горизонтах ксерофитно-лесных черноземов создают исключительно благоприятный фон в обеспечении растений этим важным элементом.

ВЫВОДЫ

Ксерофитно-лесные черноземы обладают большим общим резервом калия, достигающим 2500 мг/100 г почвы в форме K_2O. В сравнении с пахотными черноземами для них характерен высокий непосредственный резерв обменного калия в дерновых горизонтах (до 3 % от общего). Ближний резерв калия, заключенный в глинистых минералах, в этих почвах также увеличивается к верхним горизонтам. Его содержание измеряется в 600–1200 мг/100 г. Потенциальный резерв, связанный с первичными минералами, напротив, возрастает в направлении породы и по своему размеру существенно превышает ближний резерв калия, составляя до 1100–1700 мг/100 г.

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

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

4. 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.

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

6. Горбунов, Н.И. Минералогия и физическая химия почв / Н.И. Горбунов. – М.: Наука, 1978. – 294 с.

7. Дурынина, Е.П. Агрохимический анализ почв, растений, удобрений / Е.П. Дурынина, В.С. Егоров. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 113 с.

8. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.

9. Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов / под ред. Г. Брауна. – М.: Мир. – 1965. – 599 с.

10. Рентгенография основных типов породообразующих минералов / ред-кол.: В.С. Власов [и др.]. – Л.: Недра, 1983. – 359 с.

11. Assessing potassium reserves in northern temperate grassland soils: a perspective based on quantitative mineralogical analysis andaqua-regiaextractable potassium / Y. Andrist-Rangel [et al.] // Geoderma. – 2010. – № 158. – P. 303–314.

12. Mineralogical budgeting of potassiumin soil: a basis for understanding standardmeasures of reserve potassium / Y. Andrist-Rangel [et al.] // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. – 2006. – № 169. – P. 605–615.

13. Arkcoll, D.B. Traces of 2:1 layer silicate clays in oxisols from Brazil and their significance for potassium nutrition / D.B. Arkcoll, K.B.T. Goulding, J.C. Hughes // Journal of Soil Science. – 1985. – № 36. – P. 123–128.

14. Arnold, P.W. Nature and mode of weathering of soil-potassium reserves / P.W. Arnold // J. Sci. Food Agric. – 1960. – № 11. – P. 285–292.

15. Which 2:1 clay minerals are involved in the potassium reservoirs? Insights from potassium addition or removal experiments on three temperate grassland clay assemblages / P. Barre [et al.]. – Geoderma. – 2008. – № 146. – P. 216–223.

16. Barre, P. Dynamic role of “illite–like” clay minerals in temperate soils: facts and hypothesis / P. Barre, B. Velde, L. Abbadie // Biogeochemistry. – 2007. – № 82. – P. 77–88.

17. Hinsinger, P. Potassium // Encyclopedia of Soil Science. – New-York: Marcel Dekker, 2002.

18. Hinsinger, P. Root-induced release of interlayer K and vermiculitization of phlogopite as related to K depletion in the rhizosphere of ryegrass / P. Hinsinger, B. Jaillard // Journal of Soil Science. – 1993. – № 44. – P. 525–534.

19. Hinsinger, P. Rapid weathering of a trioctahedral mica by the roots of ryegrass / P. Hinsinger, B. Jaillard, E.D. Dufey // Soil Science Society of America Journal. – 1992. – № 56. – P. 977–982.

20. Application of the PROFILE model to estimate potassium release from mineral weathering in Northern European agricultural soils / J. Holmqvist [et al.] // European Journal of Agronomy. – 2003. – № 20. – P. 149–163.

21. Mojallali, M. Weathering of micas by mycorrhizal soybean plants / M. Mojallali, S.B. Weed // Soil Science Society of America Journal. – 1978. – № 42. – P. 367–372.

22. Soil mineralogy evolution in the INRA 42 plots experiment (Versailles, France) / A. Pernes-Debuyser [et al.] // Clays and Clay Minerals. – 2003. – № 51. – P. 577–584.

23. Ross, G.J. Transformation of vermiculite to pedogenic mica by fixation of potassium and ammonium in a 6-year field manure application experiment / G.J. Ross, P.A. Phillips, J.L.R. Culley // Canadian Journal of Soil Science. – 1985. – № 65. – P. 599–603.

24. Potassium release and fixation as a function of fertilizer application rate and soil parent material / M. Simonsson [et al.] // Geoderma. – 2007. – № 140. – P. 188–198.

25. The mineralogy and potassium supplying power of some loessial and related soils of New Zealand / A. Surapaneni [et al.] // Geoderma. – 2002. – № 110. – P. 191–204.

26. Effect of potassium removal by crops on transformation of illitic clay minerals / H. Tributh [et al.] // Soil Science. – 1987. – № 143. – P. 404–409.

27. Patterns in K dynamics in forest ecosystems / C.E. Tripler [et al.] // Ecology Letters. – 2006. – № 9. – P. 451–466.

28. Velde, B. Clay mineral changes in the Morrow Experimental Plots / B. Velde, T. Peck // Clays and Clay Minerals. – 2002. – № 50. – P. 364–370.

XEROPHYTIC-FOREST CHERNOZEMS: NATURAL POTASSIUM RESERVES

V.E. Alekseyev, V.V. Cherbari, A.N. Burghelya, E.B. Varlamov

Summary

Xerophytic forest chernozems have a large total reserve of potassium, composing in the form of K_2O up to 2500 mg per 100 g of soil. High available reserve of exchange potassium in the turf horizons up to 3 % from the total. The middle reserve of potassium enclosed in clay minerals in these soils also increases to the upper horizons and constitutes 600–1200 mg per 100 g. Potential reserve associated with the primary minerals, however, increases in the direction of rock and by its size substantially exceeds the middle reserve of potassium constituting 1100–1700 mg per 100 g.

Поступила 06.02.13

УДК 631.459.23

АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФЛЯЦИИ ПОЧВ ПОЛЕСЬЯ

Н.А. Лихацевич
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Для определения интенсивности выдувания почвы в эмпирических моделях дефляции в соответствии с теорией размерностей и подобия физических величин используются опорные показатели в виде безразмерных комплексных параметров [1, 2]. Например, в «экспоненциальной» модели дефляции В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова опорные показатели дефляции организованы в виде двух параметров:

$$B_{ГГ} = \frac{q_{ГГ}\,U}{\tau_{ГГ}} = \frac{q_{ГГ}}{\alpha\,\rho_B\,U} \quad , \qquad (1)$$

$$A_{ГГ} = U_K^{\,2} / U^{\,2}, \qquad (2)$$

где $B_{ГГ}$ – параметр массообмена (безразмерная величина); $q_{ГГ}$ – интенсивность выдувания почвы (кг/м^{2}с); $\tau_{ГГ}$ – касательное напряжение трения, вызываемое ветром на поверхности почвы (Н/м^2 = кг/м·с^2); α – эмпирический коэффициент; ρ_B – плотность воздуха (кг/м^3); $A_{ГГ}$ – относительный показатель, характеризующий ветровую нагрузку на почвенную поверхность; U, U_K – заданная и критическая скорости ветра (м/с) соответственно. Индекс «*ГГ*» показывает принадлежность перечисленных показателей «экспоненциальной» модели В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова.

Полученные опытные данные В.М. Гендугов и Г.П. Глазунов использовали при выводе так называемого «эмпирического закона выдувания почвы» [1]:

$$\ln B_{ГГ} = \alpha_1 + \alpha_2\,(U_K^{\,2} / U^{\,2}), \qquad (3)$$

где α_1, α_2 – эмпирические коэффициенты.

При разработке «степенной» модели дефляции нами также получены безразмерные параметры, подобные (1) и (2) [2]:

$$B = \frac{q\left(U - U_0\right)}{\tau} \quad , \qquad (4)$$

,

$$D = \frac{U - U_0}{U_{KP} - U_0} \quad , \qquad (5)$$

где B – показатель дефляции (параметр массообмена в «степенной» модели дефляции); D – дефляционный потенциал ветра; U_0 – пороговая скорость ветра, с которой на почву начинает действовать касательное напряжение трения, вызываемое воздушным потоком, м/с (U_0 = 4м/с) [3]; U_{KP} – критическая скорость ветра в «степенной» модели дефляции, м/с.

Зависимость касательного напряжения трения в «степенной» модели дефляции аппроксимируется функцией [3]:

$$\tau = a_0 \rho_B (U - U_0)^2 \quad , \qquad (6)$$

где τ – касательное напряжение трения, вызванное ветром на поверхности почвы при скорости $U > U_0$, Н/м^2; a_0 – эмпирический коэффициент, подобный коэффициенту «a» в (1).

С учетом (6) комплексный показатель (4) будет равен:

$$B = \frac{q(U - U_0)}{\tau} = \frac{q}{a_0 \rho_B (U - U_0)} \quad . \qquad (7)$$

Характеристика (7) отличается от аналогичной, предложенной В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым (1), учетом дефляционной составляющей скорости воздушного потока ($U - U_0$), а не ее абсолютного значения (U). Вторая характеристика (5), помимо указанного, отличается от (2) отсутствием второй степени, в которую авторы [1] возвели отношение критической скорости к фактической. Последнее отличие не принципиально, поскольку из теории размерностей и подобия физических величин известно, что любые арифметические операции с полученными безразмерными соотношениями (например, умножение или деление на натуральные числа или возведение в степень) не изменяют физической сущности полученных безразмерных характеристик.

Для качественной оценки воздействия ветра на разные почвенные поверхности нами было предложено ранжировать дефляционные потенциалы ветра (ДПВ) [2]. В уточненном варианте данное ранжирование имеет вид:

I – $D < 1$ – слабый ДПВ;
II – $1 \le D < 1{,}5$ – умеренный (средний) ДПВ;
III – $1{,}5 \le D < 2$ – высокий ДПВ;
IV – $2 \le D < 2{,}5$ – очень высокий ДПВ;
V – $2{,}5 \le D$ – разрушающий ДПВ, (8)

где I, II, III, IV, V – области ранжирования.

В соответствии с зависимостью (5), чем выше критическая скорость ветра для почвенной поверхности, тем больше диапазон скоростей, входящих в заданную градацию дефляционного потенциала ветра (8). На рис. 1 приведены графики, показывающие области ветровой нагрузки, соответствующие указанным градациям (8) дефляционного потенциала ветра.

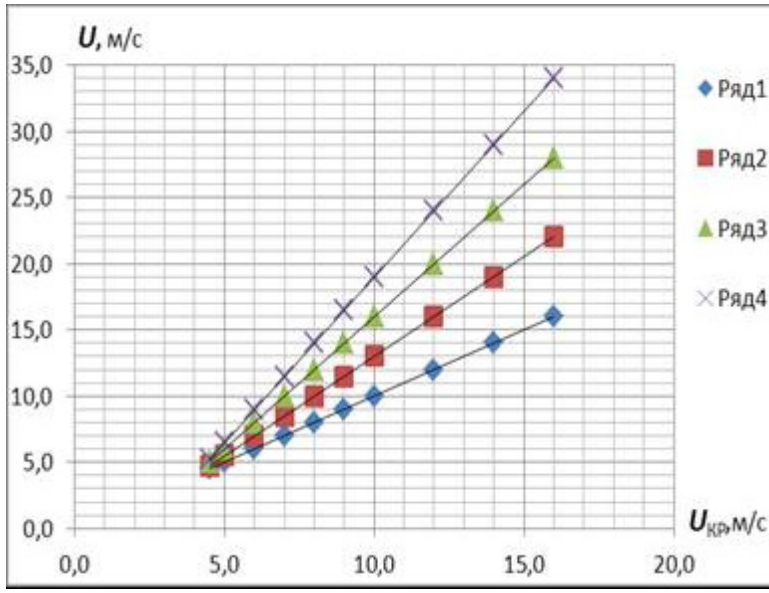


Рис. 1. Градации дефляционных потенциалов ветра

Для определения показателя дефляции почвы (7) необходимо знать фактическую интенсивность выдувания (q) и эмпирический коэффициент (α_0). Поскольку значения этих характеристик не всегда известны, для упрощения вычислений нами использовано отношение показателей дефляции [2]:

$$b = \frac{B}{B_{KP}} \quad , \qquad (9)$$

где b – относительный показатель дефляции; B_{KP} – показатель дефляции при критической скорости ветра.

Используя дефляционный потенциал ветра (5) и относительный показатель дефляции (9), можно определить интенсивность дефляции любой почвенной поверхности, начиная от рыхлосложенных пылеватых частиц и завершая твердыми (сцементированными) поверхностями, по формуле:

$$q = q_{KP}\, b\, D, \qquad (10)$$

где q, q_{KP} – интенсивность дефляции (кг/м^{2}с) при заданной и при критической скоростях ветра соответственно в «степенной» модели выдувания почвы [2].

С учетом (7) получены формулы для расчета относительного показателя дефляции (9) в «степенной» модели [2]:

– в области $U_0 \le U < U_{KP}$

$$b = \frac{q}{q_{KP}}\left(\frac{U_{KP} - U_0}{U - U_0}\right) = \left(\frac{U - U_0}{U_{KP} - U_0}\right)^{n_0 - 1}; \quad (11.1)$$

– в области $U_{KP} \le U$

$$b = \frac{q}{q_{KP}}\left(\frac{U_{KP} - U_0}{U - U_0}\right) = \left(\frac{U - U_H}{U_{KP} - U_H}\right)^2 \left(\frac{U_{KP} - U_0}{U - U_0}\right), \quad (11.2)$$

где U_H – «начальная квадратичная» скорость ветра (м/с) в «степенной» модели выдувания почвы [2]; n_0 – показатель степени:

$$n_0 = 2 + \frac{U_H - U_0}{U_{KP} - U_H} \quad . \quad (12)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравним приведенные выше выводы «степенной» модели дефляции с подобными выводами, приведенными в монографии В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова [1]. Для этого установим связь между относительными показателями дефляции (11.1) и (11.2) и дефляционным потенциалом ветра (5).

В области докритических скоростей ветра ($U_0 \le U < U_{KP}$) при дефляционном потенциале ветра меньше единицы ($D < 1$) относительный показатель дефляции (11.1) равен:

$$b = D^{n_0 - 1}. \quad (13)$$

В свою очередь из (5) следует:

$$U = U_0 + D\,(U_{KP} - U_0). \quad (14)$$

С учетом (14) из (11.2) получим значение относительного показателя дефляции для области посткритических скоростей ветра ($U \ge U_{KP}$) при значениях дефляционного потенциала ветра от единицы и больше ($D \ge 1$):

$$b = \frac{1}{D}\left[D + (D - 1)\left(\frac{U_H - U_0}{U_{KP} - U_H}\right)\right]^2 \quad . \quad (15)$$

С помощью формул (13) и (15) можно установить диапазон колебаний относительного показателя дефляции (*b*) в пределах любой из выделенных градаций дефляционных потенциалов ветра (8). Например, при *D* = 1 из (15) получим *b* = 1, а при *D* = 2 соответственно

$$b = \frac{1}{2}\left[2 + \left(\frac{U_H - U_0}{U_{KP} - U_H}\right)\right]^2 \text{ и т. д.}$$

Причем расчеты показывают, что значения относительных показателей дефляции (*b*) во всех градациях ДПВ изменяются в значительных пределах – от единиц до нескольких тысяч. Для охвата такого диапазона колебаний на одном графике обычно используется операция логарифмирования. Именно такой прием использовали в своих исследованиях В.М. Гендугов и Г.П. Глазунов при анализе взаимосвязи предложенных ими комплексных характеристик выдувания почвы (1) и (2).

На рис. 2а приведены графики зависимости логарифма относительного показателя дефляции от дефляционного потенциала ветра, а на рис. 2б – от обратной ему величины, которая характеризует сопротивляемость почвы ветровому воздействию (СПВ). Характеристика сопротивляемости почвы ветровому воздействию (величина, обратная ДПВ) введена в анализ с целью прямого сопоставления полученных нами результатов с выводами В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова [1], которые при разработке «экспоненциальной» модели дефляции (нуль-модели выдувания почвы) использовали показатель (2). В «степенной» модели ему соответствует показатель

$$d = \frac{1}{D} = \frac{U_{KP} - U_0}{U - U_0}, \qquad (16)$$

где *d* – характеристика сопротивляемости почвы ветровому воздействию (СПВ).

Ранжирование по показателю сопротивляемости почвы ветру (СПВ), представленное на рис. 2б, при качественной оценке воздействия ветра на разные почвенные поверхности симметрично ранжированию по дефляционным потенциалам ветра (8) относительно единицы:

I – $d > 1$ – сильная СПВ;
II – $0{,}67 < d \le 1$ – умеренная (средняя) СПВ;
III – $0{,}5 < d \le 0{,}67$ – слабая СПВ;
IV – $0{,}4 < d \le 0{,}5$ – очень слабая СПВ;
V – $d \le 0{,}4$ – потеря сопротивляемости ветру. (17)

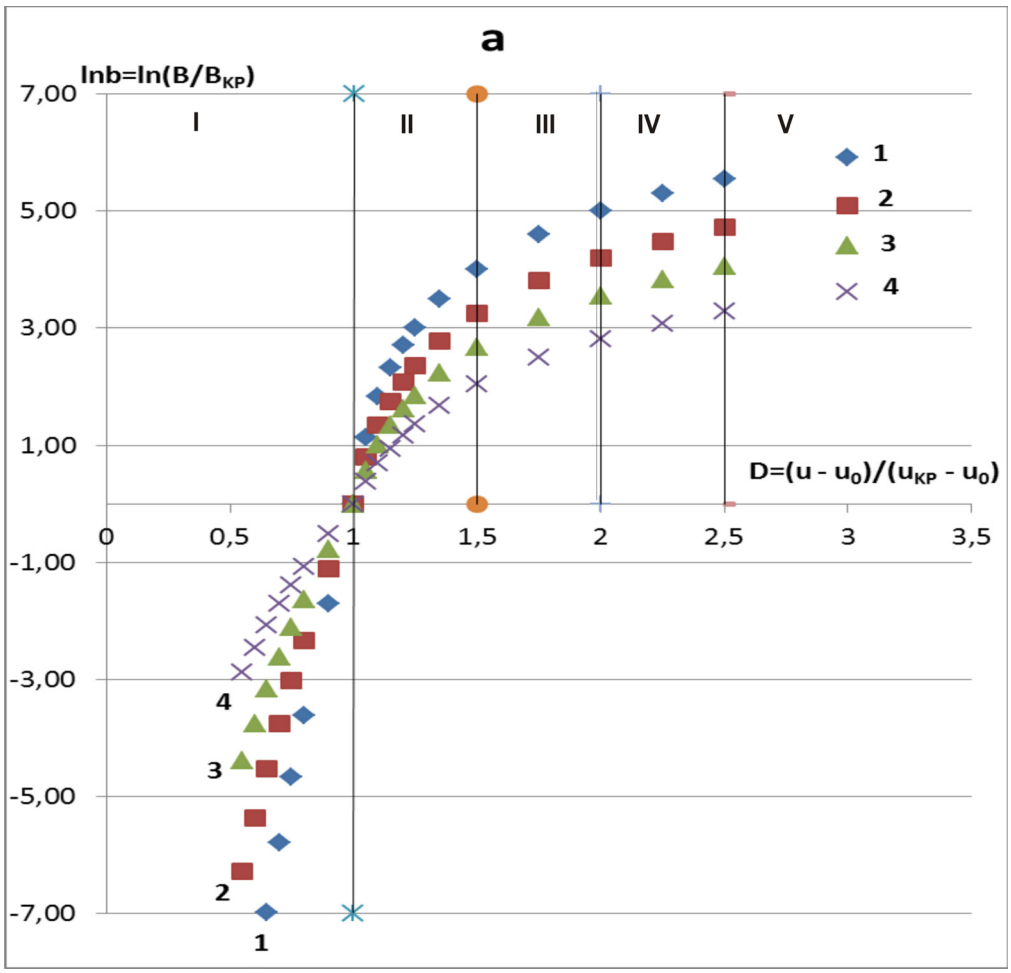


Рис. 2. Графики взаимосвязи комплексных характеристик выдувания для почв с различной критической скоростью ветра: а – зависимость ln*b* от дефляционного потенциала ветра (ДПВ); б – зависимость ln*b* от показателя сопротивляемости почвы ветровому воздействию (СПВ):
ряд 1 – $U_{КР}$ = 5 м/с; ряд 2 – $U_{КР}$ = 8 м/с; ряд 3 – $U_{КР}$ = 12 м/с; ряд 4 – $U_{КР}$ = 20 м/с;
I, II, III, IV, V – области ранжирования воздействия ветра на почву

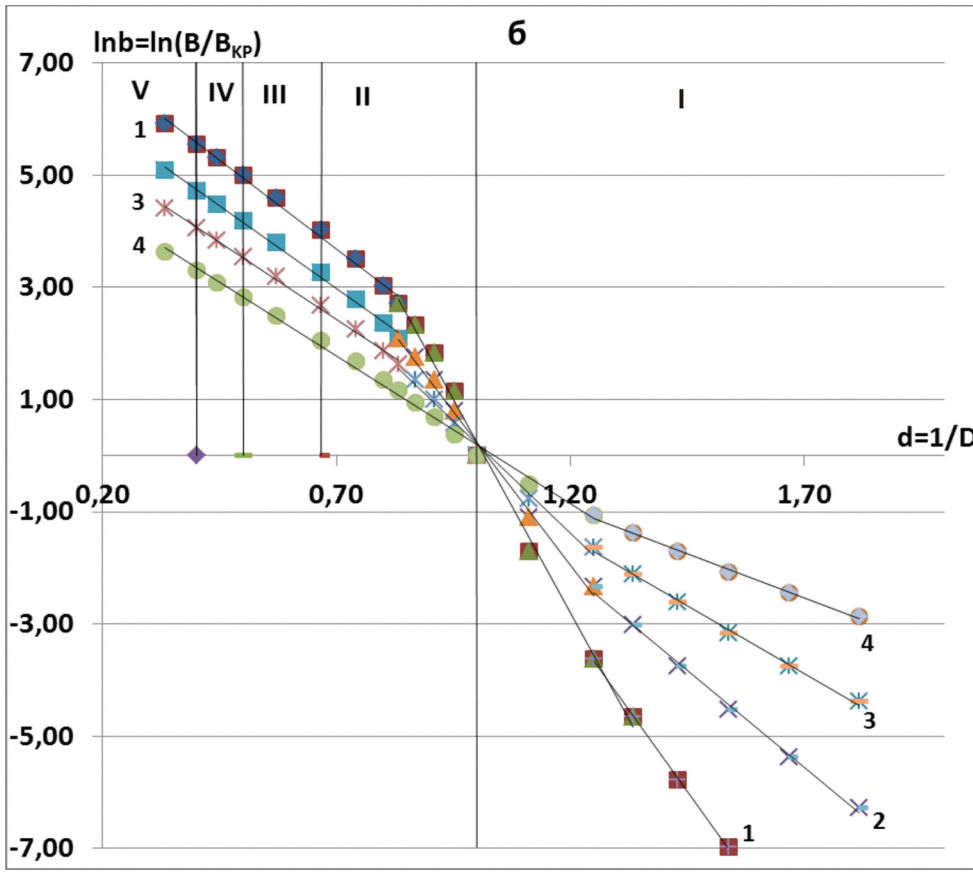


Рис. 2. Графики взаимосвязи комплексных характеристик выдувания для почв с различной критической скоростью ветра: а – зависимость ln*b* от дефляционного потенциала ветра (ДПВ); б – зависимость ln*b* от показателя сопротивляемости почвы ветровому воздействию (СПВ):
ряд 1 – $U_{КР}$ = 5 м/с; ряд 2 – $U_{КР}$ = 8 м/с; ряд 3 – $U_{КР}$ = 12 м/с; ряд 4 – $U_{КР}$ = 20 м/с;
I, II, III, IV, V – области ранжирования воздействия ветра на почву

На рис. 2а вертикальными линиями показаны границы диапазонов, соответствующие ранжированию (8), а на рис. 2б – соответствующие ранжированию (17). Как видим по рис. 2б, графики зависимости ln*b* от характеристики сопротивляемости почвы ветровому воздействию (СПВ) в окрестностях критической скорости ветра по форме близки к прямой линии.

Таким образом, рис. 2б подтверждает эффективность линейного представления процесса дефляции с использованием комплексных показателей. Данные показатели (1) и (2) В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым были использованы при выводе так называемого «эмпирического закона выдувания почвы» (3) с высокими корреляционными характеристиками [1]. На графиках, подобных рис. 2б, разработчики «нуль-модели выдувания почвы» доказывают возможность и эффективность описания процесса дефляции с помощью логарифмической функции (3).

Заметим, что графики на рис. 3б в окрестностях критической скорости ветра также могут быть эмпирически представлены логарифмической функцией:

$$\ln b = \alpha_1 + \alpha_2 d = \alpha_1 + \alpha_2 \left(\frac{U_{KP} - U_0}{U - U_0} \right). \qquad (18)$$

Однако следует заметить, что в соответствии с рис. 2б аппроксимация функции $\ln b = f(d)$ в виде прямой справедлива в сравнительно узком диапазоне (приблизительно в пределах $0{,}8 < d < 1{,}3$). Близкий к этому диапазон исследовали в своих опытах В.М. Гендугов и Г.П. Глазунов.

Проверим справедливость «степенной» модели дефляции, графически представленной на рис. 2а и 2б, используя данные лабораторных опытов В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова по выдуванию воздушным потоком в аэродинамической трубе песка с разным размером фракций [1, рис. 4.1.1, с. 69]. Для этого по опытным данным, представленным в таблице, вычислим комплексные показатели, соответствующие «экспоненциальной» (1), (2) и «степенной» модели (13), (15), (16).

В первых двух столбцах таблицы приведены исходные опытные данные ($\ln B_{ГГ}$ и $U_к^2/U^2$), послужившие В.М. Гендугову и Г.П. Глазунову основанием для разработки «экспоненциальной» модели (3). По этим же данным далее выполним расчет комплексных показателей дефляции (5), (9), (11), (13), (15) и (16), соответствующих «степенной» модели.

Результаты расчета представлены в таблице. По ним построены соответствующие графики (рис. 3). В связи с наблюдаемым значительным диапазоном изменения параметра массообмена (4) в области посткритических скоростей ветра ось ординат представлена логарифмами данного параметра, а по оси абсцисс расположены значения относительного показателя (5).

Таблица

Расчет комплексных показателей (5), (9),(11) и (15) в «степенной» модели дефляции по данным лабораторного опыта В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова [1, рис. 4.1.1, с. 69]

ln $B_{гг}$	$u_к^2/u^2$	u^2	u	$u–u_0$	D	d	$q/q_{КР}$	b	lnb
Песок 0,1–0,25 ($u_Н$ = 5 м/с; $u_{КР}$ = 5,067м/с; $u_{КР}–u_0$ = 1,067 м/с; $u_{КР}–u_Н$ = 0,067м/с; n_0 = 16,9)									
–1,75	0,77	32,47	5,70	1,70	1,59	0,63	108,54	68,20	4,22
–1,72	0,80	31,13	5,58	1,58	1,48	0,68	74,87	50,57	3,92
–4,26	0,87	28,60	5,35	1,35	1,26	0,79	27,02	21,38	3,063
–6,00	0,94	26,46	5,14	1,14	1,07	0,93	4,58	4,28	1,453
–6,30	0,96	25,99	5,10	1,10	1,03	0,97	2,13	2,07	0,728
–7,67	0,99	25,25	5,02	1,02	0,96	1,04	0,509	0,530	–0,636
–9,25	1,08	23,15	4,81	0,81	0,76	1,32	0,0097	0,0127	–4,362
–11,0	1,16	21,55	4,64	0,64	0,60	1,66	0,0002	0,00031	–8,077
–11,0	1,29	19,33	4,40	0,40	0,37	2,69	0,00000006	1,5E–07	–15,72
–9,55	1,32	18,88	4,34	0,34	0,32	3,09	0,00000001	1,6E–08	–17,95
Песок 0,8–1,0 ($u_Н$ = 9 м/с; $u_{КР}$ = 9,634м/с; $u_{КР}–u_0$ = 5,634 м/с; $u_{КР}–u_Н$ = 0,634м/с; n_0 = 9,9)									
–3,8	0,47	172,3	13,1	9,13	1,62	0,62	42,39	26,16	3,26
–5,2	0,52	155,8	12,5	8,48	1,51	0,66	30,14	20,02	3,00
–5,5	0,55	147,3	12,1	8,14	1,44		24,46	16,94	2,83
–6,5	0,6	135	11,6	7,62	1,35	0,74	17,06	12,62	2,54
–6,8	0,65	124,6	11,2	7,16	1,27	0,79	11,64	9,16	2,21
–7,1	0,67	120,9	11	6,99	1,24	0,81	9,9	7,98	2,08
–9,3	0,75	108	10,4	6,39	1,13	0,88	4,82	4,25	1,45
–9,4	0,8	101,3	10,1	6,06	1,08	0,93	2,81	2,61	0,96
–10,0	0,86	94,19	9,7	5,7	1,01	0,99	1,24	1,22	0,20
–10,1	0,9	90,00	9,49	5,49	0,97	1,03	0,77	0,79	–0,24
–10,1	0,95	85,26	9,23	5,23	0,93	1,08	0,48	0,52	0,66
–11	1,05	77,14	8,78	4,78	0,85	1,18	0,2	0,23	–1,46
–12	1,12	72,32	8,5	4,5	0,8	1,25	0,11	0,136	–1,99
–12	1,22	66,39	8,15	4,15	0,74	1,36	0,048	0,066	–2,72
–11	1,55	52,26	7,23	3,23	0,57	1,74	0,004	0,007	–4,95
–10	1,7	47,65	6,9	2,9	0,52	1,94	0,0014	0,0027	–5,9
–12	1,8	45	6,71	2,71	0,48	2,08	0,0007	0,0015	–6,52

Рис. 3 наглядно показывает преимущества «степенной» модели дефляции. Во-первых, точность аппроксимации опытных точек по выдуванию с ее использованием в области как докритических, так и посткритических скоростей ветра даже несколько выше, чем полученная с применением «экспоненциальной» модели В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова только в области посткритических скоростей ветра. Во-вторых, известно, что в области докритических скоростей ветра ($U < U_{KP}$) «экспоненциальная» модель вообще не может использоваться, о чем неоднократно упоминается в монографии [1] и наглядно видно на рис. 3а и 3в. В то же время предложенная нами «степенная» модель дефляции и в этой области вполне убедительно систематизирует опытные данные В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова (рис. 3б и 3г). Причем заметим, что опытные точки на этих рисунках повторяют рис. 2б.

Работоспособность «степенной» модели дефляции в области докритических скоростей ветра ($U < U_{KP}$) достигнута, прежде всего, за счет введения в формулу (11.1) пороговой скорости ветра (U_0) [3]. Именно данный параметр позволил выстроить хаотично разбросанные на рис. 3а и 3в опытные точки в области докритических скоростей ветра ($U_K^2 / U^2 > 1$), объединив их с опытными точками в области посткритических скоростей ветра ($U_K^2 / U^2 > 1$) в одну закономерность, что наглядно представлено на рис. 3б и 3г.

Безусловно, важное значение в алгоритме расчета имеют также начальная квадратичная и критическая скорости ветра, знание которых позволяет определить величину показателя степени (n_0), входящего в формулу (11.1), и установить характеристики сопротивляемости почвы ветровому воздействию (СПВ).

Заметим, что показанное на рис. 3 преимущество «степенной» модели дефляции, прекрасно объясняющей закономерности процесса выдувания почвы в области докритических скоростей ветра ($U < U_K$), справедливо не только для песчаных почв с указанными размерами фракций, но и для других размеров фракций песка, а также для других типов почв.

Использование при анализе предложенной нами относительной характеристики (9) позволило обобщить функции (18) для разных почв, представив их в виде комплекса графиков (прямых линий) на одном рисунке (рис. 2а и 2б). Ограничение анализа «нуль-модели выдувания почвы» В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым только параметрами (1) и (2) не позволило авторам выполнить обобщение «нуль-модели выдувания почвы» путем совмещения графиков параметров массообмена и их представления в виде комплекса согласованных графиков (прямых линий) для разных почв на одном рисунке.

Помимо этого, следует отметить, что введение в «степенную» модель дефляции пороговой скорости ветра (U_0) и ее присутствие в определениях дефляционного потенциала ветра (D) и показателя сопротивляемости ветру (d) для конкретной почвы [2] позволило при качественной оценке воздействия ветра на разные почвенные поверхности провести ранжирование как по дефляционному потенциалу ветра (ДПВ), так и по показателю сопротивляемости почвы ветру (СПВ), чего нет и в принципе не может быть в «экспоненциальной» модели выдувания почвы В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова. Это подтверждает универсальность «степенной» модели дефляции.

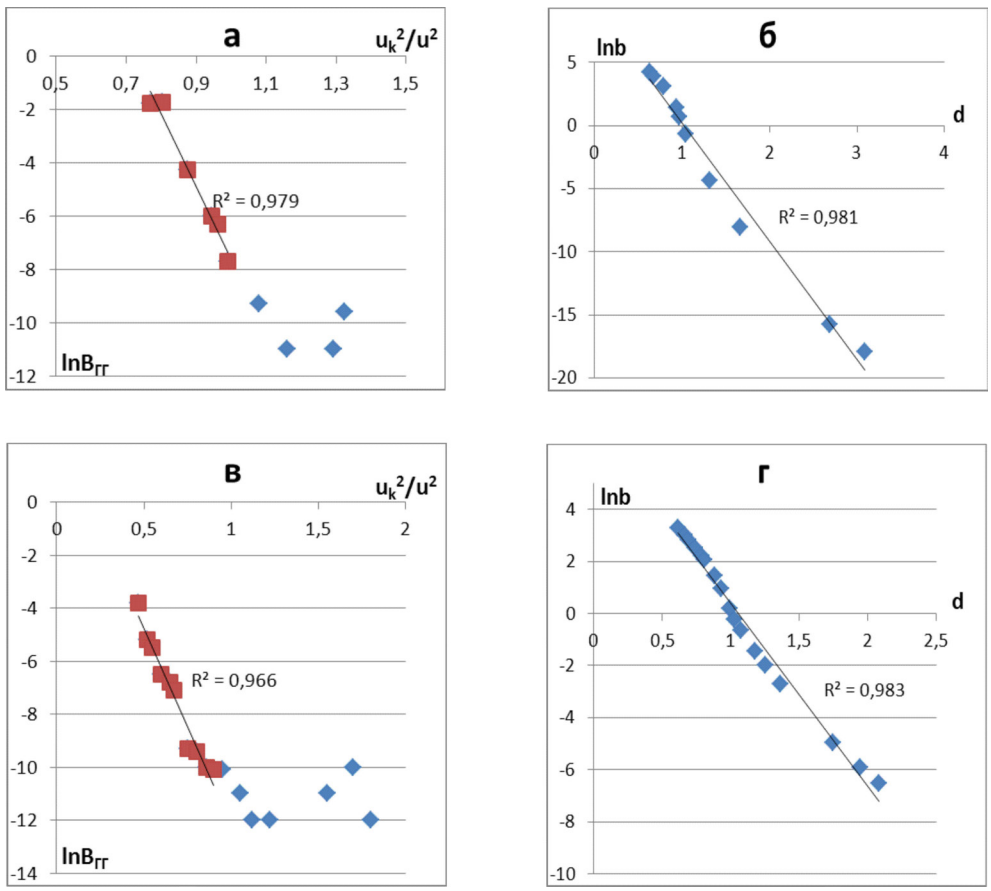


Рис. 3. Зависимость логарифма параметра массообмена (ln$B_{гг}$) от отношения квадратов скоростей ветра ($U_к^2/U^2$) в «экспоненциальной» модели дефляции (графики а, в), а также логарифма относительного показателя дефляции (ln*b*) от характеристики сопротивляемости почвы ветровому воздействию (*d*) в «степенной» модели дефляции (графики б, г): а, б – соответственно для песка с размером частиц 0,1–0,25 мм; в, г – для песка с размером частиц 0,8–1,0 мм

Отметим, что, согласно рис. 3б и 3г, аппроксимация функции $\ln b = f(d)$ в виде прямой по статистическим характеристикам оказалась применимой даже в пределах $0{,}7 < d < 3$. Вместе с тем проявляемое на рис. 3б и 3г *e*-образное расположение опытных точек полностью соответствует «степенной» модели дефляции, графически представленной на рис. 2б.

ВЫВОДЫ

1. Анализ исходных положений «нуль-модели выдувания почвы» В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова и выводов, полученных на основании разработанной нами «степенной» модели дефляции, подтвердил их близкие статистические характеристики в области посткритических скоростей ветра. Показано, что положенное в основу «нуль-модели выдувания почвы» («экспоненциальной» модели дефляции) отношение критической (для данной почвы) к фактической скорости ветра аналогично полученному нами показателю сопротивляемости почвы ветровому воздействию (СПВ).

2. Использование опорных показателей «степенной» модели дефляции (пороговой, начальной квадратичной и критической скоростей ветра) позволяет определять комплексные параметры дефляции и интенсивность выдувания почвы в области не только посткритических, но и докритических скоростей ветра. Действие «экспоненциальной» модели дефляции В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова не распространяется на область докритических скоростей ветра.

3. Использование относительной характеристики дефляции позволяет обобщать функции дефляционных потенциалов ветра (ДПВ) и сопротивляемости почвы ветровому воздействию (СПВ) для разных почв, представляя их в виде комплекса графиков на одном рисунке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гендугов, В.М. Ветровая эрозия почвы и запыление воздуха / В.М. Гендугов, Г.П. Глазунов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 240 с.

2. Лихацевич, Н.А. Комплексные характеристики процесса выдувания почвы / Н.А. Лихацевич, А.Ф. Черныш // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 27–33.

3. Лихацевич, Н.А. О пороговой скорости ветра при количественной оценке интенсивности дефляции / Н.А. Лихацевич // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 1(48). – С. 38–44.

ANALYSIS OF COMPLEX SOIL WIND EROSION CHARACTERISTICS OF POLESYE

N.A. Lihatsevich

Summary

The joint analysis of “soil blowing null model“ reference positions by V.M. Gendugov and G.P. Glazunov and conclusions derived on the basis of developed by us wind erosion ‘power’ model confirmed their identical effectiveness in the postcritical range of wind velocities. Application of threshold, initial quadratic and critical velocities introduced by us in wind erosion “power“ model allows to widen its

scope, determining complex wind erosion parameters and soil blowing intensity in the undercritical range of wind velocities. The “exponential” wind erosion model effect by V.M. Gendugov and G.P. Glazunov do not spread out this range. Has shown, that the ratio of critical speed (for given soil) to factual wind velocity, laid down in the ground of “soil blowing null model“ by V.M. Gendugov and G.P. Glazunov, is similar to received by us soil resistance of wind exposure parameter (SRW).

Поступила 16.04.13

УДК 631.459.23

ПРОГНОЗ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЫДУВАНИЯ ПОЧВЫ НА ЗЕМЛЯХ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

А.Ф. Черныш, Н.А. Лихацевич
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Для расчета интенсивности выдувания почвы в разработанной нами «степенной» модели дефляции в соответствии с теорией размерностей и подобия физических величин используются опорные показатели в виде безразмерных комплексных параметров [1]:

$$B = \frac{q(U - U_0)}{\tau} \quad , \qquad (1)$$

$$D = \frac{U - U_0}{U_{KP} - U_0} \quad , \qquad (2)$$

где B – показатель дефляции (параметр массообмена); q – интенсивность выдувания почвы (кг/м^{2}с); U, U_{KP} – заданная и критическая скорости ветра (м/с) соответственно; U_0 – пороговая скорость ветра (U_0 = 4 м/с) [1]; τ – касательное напряжение трения, вызываемое ветром на поверхности почвы (Н/м^2 = кг/м*с^2); D – дефляционный потенциал ветра.

Для определения показателя дефляции (1) необходимо знать фактическую интенсивность выдувания и касательное напряжение трения, вызываемое ветром на поверхности почвы. Поскольку эти показатели не всегда известны, для упрощения вычислений нами использовано отношение показателей дефляции [1]:

$$b = \frac{B}{B_{KP}} \quad , \qquad (3)$$

где b – относительный показатель дефляции; B_{KP} – показатель дефляции (параметр массообмена) при критической скорости ветра.

С учетом (1) получены формулы для расчета относительного показателя дефляции (3) в «степенной» модели [1]:

– в области $U_0 \le U < U_{KP}$

$$b = \frac{q}{q_{KP}}\left(\frac{U_{KP}-U_0}{U-U_0}\right) = \left(\frac{U-U_0}{U_{KP}-U_0}\right)^{n_0-1}; \qquad (4)$$

– в области $U_{KP} \le U$

$$b = \frac{q}{q_{KP}}\left(\frac{U_{KP}-U_0}{U-U_0}\right) = \left(\frac{U-U_H}{U_{KP}-U_H}\right)^2\left(\frac{U_{KP}-U_0}{U-U_0}\right), \qquad (5)$$

где q_{KP} – интенсивность выдувания почвы при критической скорости ветра, кг/м^{2}с; U_H – «начальная квадратичная» скорость ветра, м/с; n_0 – показатель степени,

$$n_0 = 2 + \frac{U_H - U_0}{U_{KP} - U_H}. \qquad (6)$$

Для качественной оценки воздействия ветра на разные почвенные поверхности нами было предложено ранжировать дефляционные потенциалы ветра (ДПВ) [1]. В уточненном варианте данное ранжирование имеет вид:

$D < 1$ – слабый ДПВ;
$1 \le D < 1{,}5$ – умеренный (средний) ДПВ;
$1{,}5 \le D < 2$ – высокий ДПВ;
$2 \le D < 2{,}5$ – очень высокий ДПВ;
$2{,}5 \le D$ – разрушающий ДПВ. (7)

Используя дефляционный потенциал ветра (2) и относительный показатель дефляции (3), можно определить интенсивность дефляции любой почвенной поверхности по формуле [1]:

$$q = q_{KP} b D. \qquad (8)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для расчета интенсивности дефляции (8) необходимо прежде всего определить расчетную скорость ветра, от величины которой зависят значения комплексных характеристик выдувания почвы (2), (4), (5). Однако скорость ветра весьма

существенно изменяется как по территории, так и во времени. Возникает вопрос, какую же скорость ветра следует использовать в расчетах – наибольшую, или среднюю за период, или найденную другим способом.

Для ответа на этот вопрос напомним, что ветры с одной скоростью в пределах конкретного участка встречаются с определенной повторяемостью, которая обычно измеряется в процентах от общей продолжительности расчетного периода. Если весь спектр наблюдаемых скоростей ветра разделить на градации, то ветры со скоростью в пределах одной скоростной градации будут наблюдаться с определенной периодичностью. Учесть данную изменчивость можно путем вычисления средневзвешенной величины. Именно средневзвешенная скорость ветра является показателем, обобщенно характеризующим особенности ветрового режима в течение расчетного периода в пределах любой территории.

Таким образом, для учета изменчивости скорости ветра в пределах одного участка будем использовать средневзвешенное значение скорости ветра, которое учитывает повторяемость ветров выделенных скоростных градаций в течение расчетного периода. Определять средневзвешенное значение скорости ветра будем по средним скоростям ветра в пределах каждой градации, а «взвешивать» – по повторяемости ветров каждой скоростной градации, т. е.

$$U_{CP} = \sum_{i=1}^{i=K} \left(P_i U_i\right) \left(\sum_{i=1}^{i=K} P_i\right)^{-1}, \qquad (9)$$

где U_{CP} – средневзвешенная скорость ветра за расчетный период, м/с; K – число скоростных градаций (i-х значений скорости ветра), участвующих в расчете; P_i – повторяемость ветров i-й скоростной градации, в % от общего числа наблюдений за расчетный период; U_i – заданное (фиксированное в соответствии с установленными скоростными градациями) i-е значение скорости ветра, м/с.

Продолжительность расчетного периода можно выбирать в любом диапазоне: от минут, часов, суток до месяца и года. В качестве исходных данных для определения средневзвешенной скорости ветра за расчетный период можно использовать имеющиеся данные метеорологических наблюдений за ветровым режимом на территории Беларуси более чем за 50-летний период. Например, среднегодовая средневзвешенная скорость ветра рассчитывается по годовому распределению скоростей ветра или путем сложения ежемесячных значений и деления полученного результата на число месяцев, участвующих в расчете.

С использованием средневзвешенной скорости ветра определяются дефляционный потенциал ветра (2) и относительные показатели дефлируемости почвы за расчетный период в докритической (4) и посткритической (5) областях скоростей ветра для любой почвенной поверхности, характеризуемой конкретным значением «критической» скорости. При этом следует разграничить понятия «критическая», «начальная квадратичная» и «пороговая» скорости. В методических указаниях [3] приводится термин «пороговая» скорость. Но эта «пороговая» скорость, как и «критическая», в монографии В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова [4], соответствует «начальной квадратичной» скорости ветра в предложенной нами «степенной» модели дефляции. В свою очередь, «критическая» скорость в «степенной» модели дефляции несколько больше «начальной квадратичной»

скорости ветра. Взаимосвязь между ними, как показал выполненный нами анализ [5] данных опытов В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова по выдуванию почв в аэродинамической трубе, можно представить в виде уравнения:

$$u_{KP} = \frac{76u_H}{80 - u_H} \quad . \qquad (10)$$

При оценке дефляционной опасности наибольший интерес представляют не среднегодовые величины комплексных характеристик выдувания почвы, а их значения за наиболее дефляционноопасные периоды года (апрель, май, сентябрь и октябрь), когда почвы сельскохозяйственных земель в наибольшей степени подвержены ветровому воздействию. С учетом этого приведем алгоритм пользования методикой расчета комплексных характеристик выдувания почвы по данным конкретной метеорологической станции. Например, за апрель в районе метеорологической станции Славгород зафиксирована повторяемость скоростей ветра: в диапазоне 5–6 м/с – 40,46 %, 9–10 м/с – 4,99 %, 14–16 м/с – 0,35 % [3]. Определим по формуле (9) средневзвешенную скорость ветра за апрель в районе метеорологической станции Славгород:

$$U_{CP} = (40{,}46 \cdot 5{,}5 + 4{,}99 \cdot 9{,}5 + 0{,}35 \cdot 15)(40{,}46 + 4{,}99 + 0{,}35)^{-1} =$$
$$(222{,}53 + 47{,}405 + 5{,}25)45{,}8^{-1} = 6{,}0 \text{ м/с}.$$

Следуя установленным закономерностям, «начальными квадратичными» скоростями ветра для минеральных, легких по гранулометрическому составу почв являются скорости в 5–6 м/с, а для осушенных торфяников – 7–10 м/с [3]. Найдем по (10) критические скорости ветра для свободных от растительности, легких по гранулометрическому составу минеральных почв ($U_Н$ = 5,5 м/с) и осушенных торфяников ($U_Н$ = 9,5 м/с):

$$U_{КР}(5{,}5) = 76 \cdot 5{,}5 / (80 - 5{,}5)418/74{,}5 = 5{,}61 \text{ м/с};$$

$$U_{КР}(9{,}5) = 76 \cdot 9{,}5 / (80 - 9{,}5) = 722 / 70{,}5 = 10{,}24 \text{ м/с}.$$

Подставив в расчетное уравнение (2) значения средневзвешенной скорости ветра за апрель и критические скорости ветра, вычислим дефляционные потенциалы ветра в апреле для легких по гранулометрическому составу минеральных почв ($U_Н$ = 5,5 м/с, $U_{КР}$ = 5,57 м/с) и осушенных торфяников ($U_Н$ = 9,5 м/с, $U_{КР}$ = 10,44 м/с):

$$D^{IV}_{ср}(5{,}5) = (6{,}0 - 4)(5{,}61 - 4)^{-1} = 2 / 1{,}61 = 1{,}24;$$

$$D^{IV}_{ср}(9{,}5) = [(6{,}0 - 4)(10{,}24 - 4)^{-1} = 2 / 6{,}24 = 0{,}32.$$

Согласно полученным результатам, для минеральных, легких по гранулометрическому составу почв дефляционный потенциал ветра в среднем за апрель равен 1,27 и в соответствии с приведенным выше ранжированием ДПВ (7) является умеренным. В то же время для осушенных торфяников ДПВ в апреле можно отнести к разряду слабых.

По исходным параметрам можно определить относительные показатели дефлируемости почвы в докритической (4) и посткритической (5) областях скоростей ветра. Для этого используется значение средневзвешенной величины скорости ветра (9), учитывающее повторяемость ветров заданных скоростных градаций:

– в области $U_0 \le U_{СР} < U_{КР}$

$$b = \frac{q}{q_{КР}}\left(\frac{U_{КР}-U_0}{U_{СР}-U_0}\right) = \left(\frac{U_{СР}-U_0}{U_{КР}-U_0}\right)^{n_0-1}, \qquad (11)$$

– в области $U_{КР} \le U_{СР}$

$$b = \frac{q}{q_{КР}}\left(\frac{U_{КР}-U_0}{U_{СР}-U_0}\right) = \left(\frac{U_{СР}-U_H}{U_{КР}-U_H}\right)^2\left(\frac{U_{КР}-U_0}{U_{СР}-U_0}\right). \qquad (12)$$

Поясним алгоритм вычисления относительного показателя дефляции для *K* градаций скоростей ветра. Например, используя данные метеостанции Славгород оценим характеристики выдувания за апрель для минеральных, легких по гранулометрическому составу почв ($U_Н$ = 5,5 м/с; $U_{КР}$ = 5,61 м/с) и осушенных торфяников ($U_Н$ = 9,5 м/с; $U_{КР}$ = 10,24 м/с). Напомним, что за апрель зафиксирована следующая повторяемость скоростей ветра: в диапазоне 5–6 м/с – 40,46 %, 9–10 м/с – 4,99 %, 14–16 м/с – 0,35 %.

Согласно результату вычислений ($U_{СР}$ = 6,0 м/с), средневзвешенная скорость ветра за апрель больше, чем критическая для минеральных, легких по гранулометрическому составу почв. Следовательно, расчет относительного показателя дефляции будем проводить по формуле (12):

$$b^{IV}(5{,}5) = \left(\frac{6{,}0-5{,}5}{5{,}61-5{,}5}\right)^2\left(\frac{5{,}61-4}{6{,}0-4}\right) = 4{,}545^2 \cdot 0{,}805 = 16{,}6.$$

В свою очередь, для осушенных торфяников средневзвешенная скорость ветра за апрель меньше, чем критическая. Следовательно, расчет относительного показателя дефляции будем проводить по формуле (11), но прежде определим показатель степени в (11).

Для осушенных торфяников с $U_Н$ = 9,5 м/с и $U_{КР}$ = 10,24 м/с, согласно (6), получим:

$$n_0 = 2 + \frac{9{,}5-4}{10{,}24-9{,}5} = 2 + 7{,}43 = 9{,}43; \quad n_0 - 1 = 9{,}43 - 1 = 8{,}43.$$

Следовательно,

$$b^{IV}(9,5) = \left(\frac{6,0-4}{10,24-4}\right)^{8,43} = 0,32^{8,43} = 6,74 \cdot 10^{-5}.$$

Как видим, для осушенных торфяников величина относительного показателя дефляции существенно ниже, чем для минеральных, легких по гранулометрическому составу почв. Заметим, что значения ДПВ и относительного показателя дефляции получены для трех градаций со средними скоростями ветра в 5,5, 9,5 и 15 м/с. В то же время показательными будут являться дефляционный потенциал ветра и относительный показатель дефляции для ветра, например, со скоростью не менее 15 м/с, хотя его повторяемость равна всего 0,35 %. Сильный ветер может вызвать дефляцию даже при столь низкой повторяемости. В качестве примера определим продолжительность периода с ветром со скоростью 15 м/с, которая при повторяемости 0,35 % составит за апрель существенную величину, а именно: t_{15} = (0,35 % / 100 %) * (30 сут./мес.) * (24 ч/сут.) = 2,52 ч/мес. Следовательно, в течение двух с половиной часов ветер со скоростью более 15 м/с будет иметь в апреле следующий дефляционный потенциал:

$$D^{IV}_{5,5} = \frac{15-4}{5,61-4} = 6,83;$$

$$D^{IV}_{9,5} = \frac{15-4}{10,24-4} = 1,76.$$

Как видим, в течение 2,52 ч в апреле в районе метеостанции Славгород дефляционный потенциал ветра для легких по гранулометрическому составу минеральных почв равнялся 6,83, что могло катастрофически отразиться на этих почвах через выдувание верхнего, наиболее плодородного слоя. Для торфяников для этого периода получен ДПВ, равный 1,76. Это также весьма высокое значение ДПВ. Однако следует заметить, что ветер со скоростью более 15 м/с не дул в апреле непрерывно в течение 151 мин. Данная продолжительность получена суммированием периодов с подобными ветрами за весь месяц (так же, как рассчитывалась их повторяемость). Вместе с тем очевидно, что при оценке опасности ветрового режима для конкретной почвы все же необходимо анализировать ДПВ скоростных градаций с очень низкой повторяемостью, начиная, например, от 0,05–0,1 % и выше.

Аналогичным образом для периода со скоростью ветра 15 м/с рассчитывается относительный показатель дефляции:

$$b^{IV}_{5,5} = \left(\frac{15,0-5,5}{5,61-5,5}\right)^{2}\left(\frac{5,61-4}{15,0-4}\right) = 86,36^{2} \cdot 0,146 = 1089;$$

$$b^{IV}(9,5) = \left(\frac{15,0-9,5}{10,24-9,5}\right)^2\left(\frac{10,24-4}{15,0-4}\right) = 7,432^2 \cdot 0,567 = 31,3.$$

Полученное значение относительного показателя дефляции в апреле для легких по гранулометрическому составу минеральных почв при скорости ветра 15 м/с оказалось на два порядка больше, чем при этой же скорости ветра для торфяников. Однако следует заметить, что интенсивность выдувания почвы при критической скорости ветра на легких по гранулометрическому составу минеральных почвах на порядок меньше, чем на торфяниках. Поэтому в соответствии с (8) значения расчетной (прогнозируемой) интенсивности дефляции легких по гранулометрическому составу минеральных почв и торфяников будут различаться не столь существенно. Покажем это на примере оценки прогнозируемых темпов выдувания почвы для агротехнологических групп земель Беларуси (табл.).

Выполненные нами расчеты показали, что для прогнозной оценки дефляции средневзвешенную скорость ветра следует определять в области скоростей, превышающих критическую скорость ветра для данной почвы. Например, для трех заявленных скоростных градаций со средними скоростями ветра 5,5; 9,5 и 15 м/с с повторяемостью в районе метеостанции Славгород соответственно 40,46 %, 4,99 % и 0,35 % средневзвешенная скорость ветра для легких по гранулометрическому составу минеральных почв в области $U \geq U_{КР}$ (при $U_{КР} = 5,61$ м/с), согласно (9), составит:

$$U_{СР} = (4,99 \cdot 9,5 + 0,35 \cdot 15) \cdot (4,99 + 0,35)^{-1} = (47,405 + 5,25) \cdot 5,34^{-1} \approx 9,9 \text{ м/с}.$$

В свою очередь, для торфяников, согласно заявленной выше повторяемости ветров в районе метеостанции Славгород, средневзвешенная дефляционноопасная скорость ветра в течение апреля будет равна 15 м/с. Это явно завышенное значение скорости, поэтому следует учитывать, что определение средневзвешенной скорости ветра по небольшому количеству скоростных градаций дает весьма приблизительный результат расчета. Для получения более точного значения необходимо использовать большее число градаций скоростей ветра.

В таблице приведены результаты оценки темпов дефляции для агротехнологических групп земель, которые установлены с учетом типизации почвенного покрова Белорусского Полесья с разными исходными характеристиками – начальной квадратичной и критической скоростями ветра. В пределах данной территории выделено пять типов земель, которые рассматриваются в качестве агротехнологических групп земель, характеризующихся определенным компонентным составом почв и степенью дефляционной опасности [3]. Заметим, что диапазон изменения указанных в таблице начальной квадратичной и критической скоростей ветра, от которых зависят прогнозируемые среднемноголетние темпы дефляции в пределах одной агротехнологической группы, определяется состоянием почвенного покрова и применяемыми системами обработки почвы.

Таблица

Прогнозируемые среднемноголетние темпы дефляции для агротехнологических групп земель Беларуси

Агротехнологическая группа земель	1				2				3				4				5			
Начальная скорость ветра ($U_н$, м/с)	7,5 – 10,0				6,5 – 8,0				6,0 – 7,0				5,6 – 6,4				до 5,9			
Критическая скорость ветра ($U_{кр}$, м/с)	7,9 – 11,0				6,7 – 8,5				6,1 – 7,3				5,7 – 6,6				до 6,0			
Осредненные исходные показатели для прогноза	$U_н$ = 8,5 м/с $U_{кр}$ = 9,1 м/с $q_{кр}$ = 0,038 т/га*год				$U_н$ = 7,0 м/с $U_{кр}$ = 7,3 м/с $q_{кр}$ = 0,018 т/га*год				$U_н$ = 6,5 м/с $U_{кр}$ = 6,7 м/с $q_{кр}$ = 0,012 т/га*год				$U_н$ = 6,0 м/с $U_{кр}$ = 6,1 м/с $q_{кр}$ = 0,007 т/га*год				$U_н$ = 5,5 м/с $U_{кр}$ = 5,6 м/с $q_{кр}$ = 0,006 т/га*год			
Расчетные показатели дефляции почв																				
$U_{ср}$, м/с	D	b	$q/q_{кр}$	q, т/га*год	D	b	$q/q_{кр}$	q, т/га*год	D	b	$q/q_{кр}$	q, т/га*год	D	b	$q/q_{кр}$	q, т/га*год	D	b	$q/q_{кр}$	q, т/га*год
8	-	-	-	-	1,21	9,18	11,1	0,20	1,48	38	56,2	0,67	1,90	211	400	2,8	2,50	250	625	3,7
10	1,18	5,30	6,25	0,24	1,82	54,9	100	1,80	2,22	138	306	3,67	2,86	392	$1,1*10^3$	7,7	3,75	533	$2*10^3$	12,2
12	1,57	21,7	34,0	1,29	2,42	115	278	5,00	2,96	255	756	9,07	3,81	604	$2,3*10^3$	16,1	5,00	840	$4,2*10^3$	25,3
14	1,96	42,9	84,0	3,19	3,03	180	544	9,80	3,70	378	$1,4*10^3$	16,9	4,76	860	$4,1*10^3$	28,7	6,25	1156	$7,2*10^3$	43,3
16	2,35	66,4	156	5,93	3,64	247	900	16,2	4,44	5,18	$2,3*10^3$	27,1	5,71	1120	$6,4*10^3$	44,8	7,50	1470	$1,1*10^4$	66,1

Обозначения: U – скорость ветра, на которую рассчитываются показатели дефляции, м/с; D – дефляционный потенциал ветра; b – относительный показатель дефляции почвы; $q_{кр}$ – интенсивность дефляции при критической скорости ветра, т/га*год; q – прогнозная интенсивность дефляции при заданной скорости ветра, т/га*год($q = q_{кр} D b$).

Примечания:

1) Ошибка расчета дефляции не превышает ± 0,07q.

2) Средняя скорость дефляционноопасных ветров в Беларуси колеблется в пределах 10–14 м/с.

Оценочный расчет показывает, что при увеличении средней скорости ветра с 10 до 12 м/с годовые темпы дефляции легкой по гранулометрическому составу минеральной почвы ($U_н$ = 5,5 м/с) возрастают вдвое (с 12,2 до 25,3 т/га в год), поэтому очевидна эффективность мер по повышению устойчивости почвы к выдуванию ветром. Например, использование мероприятий, способствующих увеличению начальной квадратичной скорости ветра с 5,5 до 7 м/с (применение мелиорантов, совершенствование систем обработки почвы и внедрение почвозащитных севооборотов), позволяет более чем в 4 раза снизить прогнозируемую интенсивность дефляции, а повышение начальной квадратичной скорости до 8,5 м/с в подобных условиях снижает темпы дефляции более чем на порядок (в 10–50 раз).

ВЫВОДЫ

1. Для оценки дефляционного потенциала ветра относительно конкретной почвенной поверхности необходимо знать повторяемость ветров различных скоростных градаций, критическую скорость ветра для данной почвенной поверхности и средневзвешенное значение дефляционноопасных скоростей ветра (в области $U \geq U_{кр}$) с учетом наибольших скоростей с повторяемостью, начиная от 0,05–0,1 %. Это позволит для данной почвы определить степень опасности всех возможных ветров в дефляционноопасные периоды.

2. Расчеты подтвердили, что для осушенных торфяников дефляционный потенциал ветра существенно меньше, чем для минеральных, легких по гранулометрическому составу почв. Причем реализация противодефляционных мер, позволяющих повысить начальную квадратичную скорость для легких минеральных почв (например, с 5,5 до 7 м/с), существенно (более чем в 4 раза) снижает прогнозируемую интенсивность дефляции.

3. Выполненная оценка выдувания почв Беларуси согласуется с ранее сделанными выводами [3] и подтверждает актуальность разработки мер по повышению противодефляционной устойчивости почв, включающей применение мелиорантов, совершенствование систем обработки почв и внедрение почвозащитных севооборотов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лихацевич, Н.А. Комплексные характеристики процесса выдувания почвы / Н.А. Лихацевич, А.Ф. Черныш // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С.27–33.

2. Лихацевич, Н.А. О пороговой скорости ветра при количественной оценке интенсивности дефляции / Н.А. Лихацевич // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 1(48). – С. 38–44.

3. Методические указания по прогнозированию водно-эрозионных и дефляционных процессов на обрабатываемых землях Беларуси / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2006. – 44 с.

4. Лихацевич, Н.А. Верификация степенной модели дефляции почв / Н.А. Лихацевич // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 17–26.

5. Гендугов, В.М. Ветровая эрозия почвы и запыление воздуха / В.М. Гендугов, Г.П. Глазунов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 240 с.

THE FORECAST OF SOIL BLOWING INTENSITY SOILS OF BELARUSSIAN POLESYE

A.F. Chernysh, N.A. Lihatsevich

Summary

The assessment of potential soil blowing, which confirms the urgency of measure preparation regarding wind erosion soil stability increase including ameliorators application, cultivation systems upgrading and soil protective crop rotations introduction, by the example of wind velocities distribution in the April month according to weather station Slavgorod, is realized. It is shown, that wind erosion-preventive measures realization, permitting to raise initial quadratic velocity for light mineral soils, for example from 5,5 to 7 m/s, reduces predictable wind erosion intensity more than fourfold.

Поступила 16.04.13

УДК 631.524.84:633.37:631.459

ПРОДУКТИВНОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ БОБОВЫХ КУЛЬТУР НА ДЕФЛЯЦИОННООПАСНЫХ ПОЧВАХ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

А.Н. Гапонюк[1], **А.В. Сорока**[2], **Н.Н. Костюченко**[2]
[1]*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*
[2]*Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация земледелия может вызывать как повышение плодородия почв, так и их деградацию. Именно почва в первую очередь страдает от несбалансированных техногенных нагрузок на природную среду. При этом она теряет органическое вещество, ее физические свойства ухудшаются, экологические и продуктивные функции значительно ослабевают. В настоящее время около 2 млрд га почв в мире подвержены деградации, из них 55,6 % приходится на водную эрозию, 27,9 % – на дефляцию, 12,2 % – на химические факторы: загрязнение, засоление, невосполнимые потери питательных веществ [1]. Непосредственным результатом эрозии почв является резкое снижение их производительной способности. Происходит большая потеря питательных веществ, что в первую очередь касается азота, который почти целиком находится в верхнем гумусовом горизонте и практически отсутствует в нижележащих [2].

Почвы с потенциально возможным проявлением дефляции занимают в Полесье 1010,2 тыс. га [3]. В этом регионе преобладают легкие по гранулометрическому составу минеральные и осушенные торфяные почвы, а также деградированные торфяные, которые характеризуются крайне низкой противодефляционной устойчивостью. Это способствует развитию дефляционных процессов. Дефляция на минеральных почвах в условиях Беларуси начинается при скорости ветра 5–6 м/с, на осушенных торфяных – 8–9 м/с. На дегроторфяных почвах, площади которых постоянно увеличиваются, проявление дефляции отмечается при более низких скоростях ветра – 3–5 м/с. При этом повторяемость ветров со скоростью более 3 м/с составляет от 12 до 30 % всех случаев. Поскольку основные факторные нагрузки приходятся на показатели количества дефляционноопасных почв и случаев дефляционноопасных ветров, первый фактор интерпретирован как фактор дефляционного потенциала ветра и дефлируемости почв. Этот фактор на 35 % определяет вероятность возникновения ветровой эрозии [4].

Белорусское Полесье резко отличается от остальной части республики наличием обширных заболоченных пространств, почвы которых в настоящее время осушены и используются в сельскохозяйственном производстве. Сельскохозяйственная освоенность территории составляет от 30 % в Житковичском, Лельчицком, Наровлянском районах до 60–70 % в Буда-Кошелевском, Каменецком, Жабинковском. При столь различных уровнях сельскохозяйственной освоенности доля пахотных земель в составе сельскохозяйственных почти повсеместно превышает 50 %, а в ряде районов достигает 65 % и более (Жабинковский, Каменецкий и др.) [5].

На дефляционноопасных почвах наиболее сильно посевы сельскохозяйственных культур страдают ранней весной, когда почва разрыхлена на больших площадях и растения погибают в результате выдувания и повреждения переносимым мелкоземом. Вместе с почвой при дефляции выносятся семена и неокрепшие всходы растений, а озимые повреждаются из-за засекания, заноса их почвой и обнажения узлов кущения. Летом дефляции подвержены преимущественно чистые пары и поля, занятые пропашными культурами [6]. Восстановление плодородия этих почв приходится возмещать огромными дополнительными затратами, что ведет к увеличению себестоимости сельскохозяйственной продукции.

Процессы деградации земель обуславливаются не только нерациональным их использованием, но и изменением климата. Оно проявляется в расширении территорий, затронутых засухами и засушливыми явлениями [7]. Поэтому для защиты почв от дефляции необходимо включать в севообороты засухоустойчивые многолетние бобовые травы, которые улучшают агрофизические, агрохимические свойства почв и предотвращают возникновение процессов ветровой эрозии, которая наблюдаются в Полесском регионе.

Бобовые культуры позволяют вовлечь в процесс производства кормов до 200 кг/га биологического азота, накопить в почве на каждом гектаре органического вещества, эквивалентного его содержанию в 18–20 т подстилочного навоза [8]. Клевер, люцерна, лядвенец и эспарцет ценятся как богатые источники качественного кормового белка. Эти многолетние бобовые травы характеризуются

долголетием, многоукосностью и высокой кормовой продуктивностью. Они хорошие предшественники, способствующие улучшению почв и повышению их плодородия [9].

Цель исследований заключалась в изучении продуктивности возделываемых засухоустойчивых многолетних бобовых культур на дефляционноопасных почвах.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования проводились в 2010–2012 гг. на опытном стационаре «Мухавец» в ГУСП «Племзавод Мухавец» Брестского района, лабораторные – в ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси».

Объекты исследований:

– типичные для условий Белорусского Полесья осушенные дефляционноопасные почвы (торфяно-минеральные, дерновые заболоченные и дерново-подзолистые заболоченные);

– многолетние бобовые кормовые культуры, адаптированные к почвенно-климатическим условиям Полесья, такие как: клевер луговой (8 кг/га), люцерна посевная (12,0 кг/га), лядвенец рогатый (7,0 кг/га) и эспарцет песчаный (50 кг/га). Нормы высева культур учитывались при 100 % посевной годности семян.

Морфологические особенности и строение исследуемых почв характеризуются описанием почвенных разрезов (опытный стационар «Мухавец»), заложенных на опытном поле в ГУСП «Племзавод Мухавец» Брестского района.

Почва – торфяно-минеральная (содержание органического вещества 29,9 %), подстилаемая с глубины 0,3 м рыхлым песком:

АРТ	**0–28 см**	черного цвета, влажный, редко корни, плотный, переход ясный (смесь торфа и песка);
B_1G	**28–65 см**	белесовато-сизого цвета, пятна легкого суглинка сизого цвета, влажный, уплотненный, затеки гумуса по корням растений, переход постепенный (песок рыхлый);
G_1	**65–79 см**	сизого цвета, уплотненный, влажный, затеки по корням растений черного цвета, переход постепенный (песок рыхлый);
G_2	**79–100 см**	сизого цвета, сырой, уплотненный (песок рыхлый).

Почва – дерново-глеевая песчаная на водно-ледниковом связном песке, сменяемом с глубины 0,4 м рыхлым песком:

Ап	**0–35 см**	черного цвета, сухой, уплотненный, комковатой структуры, густо пронизан корнями растений, переход ясный, с затеками (песок связный);
B_1g	**35–60 см**	желтовато-сизого цвета, влажный, пятна ржавого цвета, затеки черного цвета по корням растений, уплотненный, переход постепенный (песок рыхлый);

B_2G	**60–105 см**	сизого цвета, пятнышки ржавого, затем черного цвета по корням растений, плотный, переход ясный (песок рыхлый, пятна легкого суглинка);
G	**105–150 см**	сизого цвета, сырой, плотный (песок рыхлый).

Почва – дерново-подзолистая слабоглееватая песчаная почва на водно-ледниковом связном песке, сменяемом с глубины 0,3 м рыхлым песком, подстилаемая с глубины 1,40 м легким суглинком:

Ап	**0–30 см**	светло-серого цвета, сухой, бесструктурный, густо пронизан корнями растений, уплотненный, встречаются камни d 5 см, переход ясный с затеками;
B_1g	**30–60 см**	светло-желтого цвета, много ржаво-охристых пятен, единично корни, влажный, уплотненный, бесструктурный, переход ясный;
B_2g	**60–96 см**	белесовато-сизого цвета, бесструктурный, влажный, пятна ржаво-охристого цвета, переход постепенный;
B_3Cg	**96–135 см**	сизого цвета, пятна ржавого цвета, влажный, плотный, пятна легкого суглинка, переход ясный;
Dg	**135–150 см**	сизого цвета, сырой, плотный (размытый моренный суглинок).

Опыты по изучению сравнительной продуктивности многолетних трав были заложены в 2010 г. в первой декаде мая в 4-кратной повторности с рендомизированным размещением вариантов.

В опыте возделывались на зеленую массу следующие культуры: клевер луговой сорта Янтарный – контроль, люцерна посевная (сорт Будучыня), эспарцет песчаный (сорт Каўпацкі), лядвенец рогатый (сорт Изис).

Общая площадь делянки – 20 м^2. Мощность пахотного горизонта – 20–25 см. Предшественником под многолетние травы служили зерновые культуры. Агротехника возделывания сельскохозяйственных культур – общепринятая для республики.

Агрохимические показатели пахотных горизонтов изучаемых почв представлены в таблице 1.

Таблица 1

Агрохимические свойства пахотных горизонтов исследованных почв опытного стационара

Почва	pH_{KCl}	Гумус, %	Подвижный P_2O_5, мг/кг	Обменный K_2O, мг/кг
Торфяно-минеральная	5,78	29,61*	192	210
Дерново-глеевая песчаная	5,98	4,18	118	150
Дерново-подзолистая слабоглееватая песчаная	6,12	1,66	92	82

Примечание. Содержание органического вещества.

Обработка почвы включала лущение стерни и зяблевую вспашку. Весной при наступлении физической спелости почвы проводилась культивация с боронованием. Предпосевная обработка почвы осуществлялась комбинированным агрегатом. Посев беспокровный. Под многолетние бобовые культуры внесены фосфорные и калийные удобрения в следующих дозах: торфяно-минеральная почва – $P_{85}K_{120}$, дерново-глеевая – $P_{60}K_{120}$, дерново-подзолистая слабоглееватая песчаная – $P_{50}K_{90}$.

Укос многолетних трав выполнялся один раз в первый год пользования и три раза во второй и третий. Учет урожайности зеленой массы проводился путем скашивания с помощью косилки на высоте 5–6 см от поверхности почвы и взвешивания зеленой массы травостоя в фазу бутонизации – цветения бобовых культур.

Для определения химического анализа кормов отбирался с двух несмежных повторностей средний пробный сноп с массой не менее 1 кг. Расчет показателей продуктивности и химический анализ выполнялись в аккредитованной лаборатории ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси». Сухое вещество определяли по ГОСТ 27548–97 «Корма растительные. Методы определения содержания влаги». Сырой протеин определялся по методу Кейдаля (ГОСТ 13496.4–93). Для определения сырой клетчатки использовался метод Бюхнера (ГОСТ 13496.2–91).

Статистическая обработка экспериментального материала выполнена методом дисперсионного анализа с использованием программы MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате полученных данных в ходе исследований (2010–2012 гг.) установлено, что урожайность зеленой массы и сухого вещества многолетних бобовых культур изменялась в зависимости от типа почв (рис. 1, табл. 2).

На торфяно-минеральной почве урожайность зеленой массы и сухого вещества исследуемых трав как по годам, так и в среднем за три года оказалась наибольшей. На дерново-глеевой почве урожайность зеленой массы и сухого вещества снижалась и занимала промежуточное положение относительно торфяно-минеральной и дерново-подзолистой слабоглееватой песчаной.

Самая низкая урожайность зеленой массы и сухого вещества наблюдалась на дерново-подзолистой слабоглееватой песчаной почве вследствие недостатка влаги и низкого содержания питательных веществ.

В среднем за три года на торфяно-минеральной почве урожайность сухого вещества сформирована на высоком уровне и находилась в пределах 44,9–96,2 ц/га в зависимости от видовых особенностей многолетних бобовых трав (табл. 2). На дерново-глеевой песчаной почве урожайность сухого вещества многолетних бобовых трав составила 54,1–87,4 ц/га, а на дерново-подзолистой слабоглееватой песчаной – 18,4–37,4 ц/га.

Следует отметить, что на всех типах почв в среднем за 3 года пользования самую высокую урожайность зеленой массы и сухого вещества среди многолетних бобовых культур сформировала люцерна посевная, а самую низкую – эспарцет песчаный.

В среднем за 3 года эспарцет песчаный сформировал наибольшую урожайность зеленой массы (236,0 ц/га) на дерново-глеевой песчаной почве с наиболее благоприятным водным режимом по сравнению с торфяно-минеральной (208,3 ц/га) и дерново-подзолистой слабоглееватой песчаной (82,1 ц/га).

Клевер луговой и лядвенец рогатый по урожайности зеленой массы и сухого вещества в среднем за три года среди многолетних бобовых культур занимали промежуточное положение на всех почвах. Высокая продуктивность клевера лугового отмечалась во второй год жизни на торфяно-минеральной и дерново-глееватой почвах, которая существенно превосходила лядвенец рогатый и эспарцет песчаный (табл. 2).

Таблица 2

Урожайность сухого вещества многолетних бобовых трав в различные годы пользования в зависимости от типа почв, ц/га

Культура	Урожайность сухого вещества, ц/га			
	1 г.п. 2010 г.	2 г.п. 2011 г.	3 г.п. 2012 г.	среднее за три года
торфяно-минеральная почва				
Клевер луговой	26,9	117,4	59,8	68,0
Люцерна посевная	34,4	122,0	132,2	96,2
Эспарцет песчаный	47,4	44,4	43,0	44,9
Лядвенец рогатый	33,3	84,2	76,6	64,7
$НСР_{05}$	2,3	5,7	7,1	
дерново-глеевая песчаная почва				
Клевер луговой	15,6	101,0	45,8	54,1
Люцерна посевная	27,3	115,6	119,5	87,4
Эспарцет песчаный	30,5	60,5	64,2	51,7
Лядвенец рогатый	25,2	71,6	65,8	54,2
$НСР_{05}$	1,8	7,9	5,0	
дерново-подзолистая слабоглееватая песчаная почва				
Клевер луговой	8,1	65,6	23,4	32,3
Люцерна посевная	6,5	35,4	70,5	37,4
Эспарцет песчаный	10,3	20,4	24,5	18,4
Лядвенец рогатый	10,5	46,1	38,4	31,6
$НСР_{05}$	0,8	3,8	3,6	

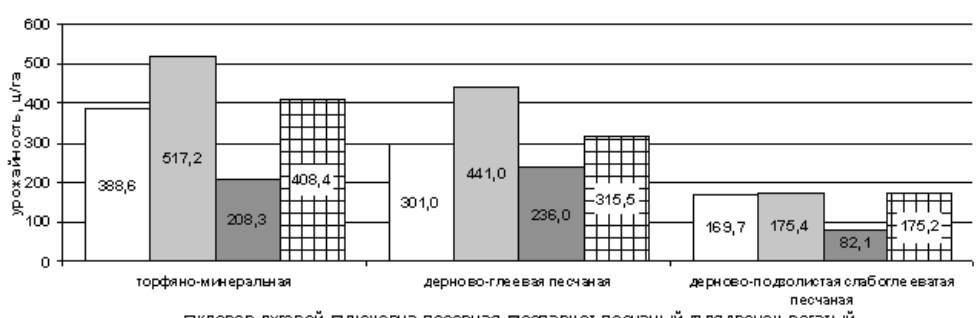


Рис. 1. Урожайность зеленой массы многолетних бобовых культур на различных типах почв (в среднем за 3 года), ц/га

Эспарцет песчаный формировал самую низкую урожайность сухого вещества в среднем за 3 года как на дерново-подзолистой слабоглееватой песчаной почве, так и на других изучаемых дефляционноопасных почвах. Вместе с тем в первый год пользования продуктивность этой культуры была самая высокая по сравнению с другими травами независимо от типа почв.

На дерново-подзолистой слабоглееватой песчаной почве наибольшую урожайность зеленой массы и сухого вещества в среднем за три года сформировала люцерна посевная (37,4 ц/га сухого вещества) в основном за счет высокой урожайности в третьем году пользования. Клевер луговой и лядвенец рогатый по урожайности на данной почвенной разновидности занимали промежуточное положение.

На торфяно-минеральной почве выход кормовых единиц и сбор сырого протеина среди многолетних бобовых трав в среднем за три года оказались наибольшими (рис. 2, 3). На дерново-глеевой песчаной почве выход кормовых единиц и сбор сырого протеина бобовых трав занимали промежуточное положение относительно торфяно-минеральной и дерново-подзолистой слабоглееватой песчаной. Самые низкие показатели отмечены на дерново-подзолистой слабоглееватой песчаной почве.

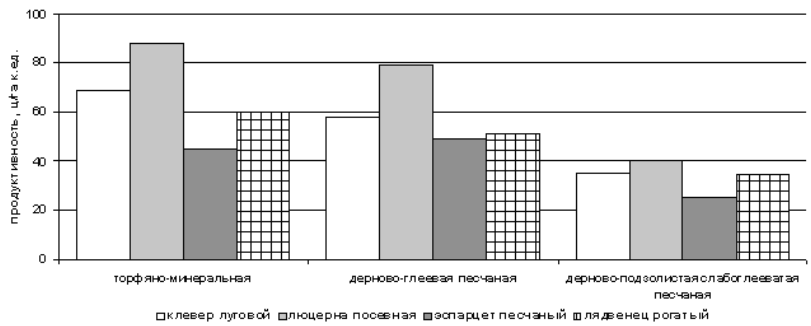


Рис. 2. Выход кормовых единиц многолетних бобовых культур на различных типах почв (в среднем за 3 года), ц/га

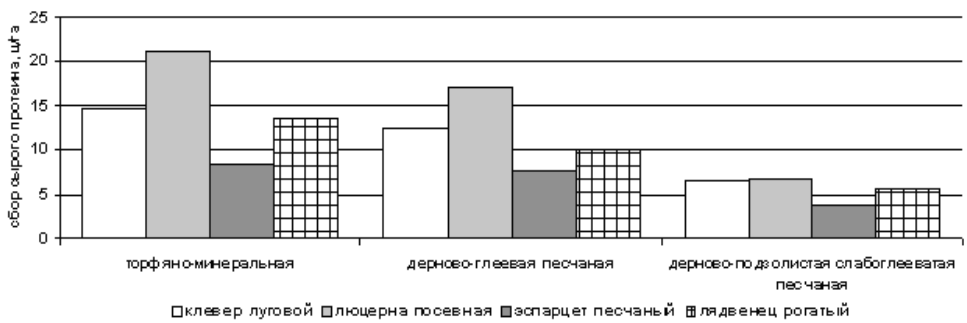


Рис. 3. Сбор сырого протеина многолетних бобовых культур на различных типах почв (в среднем за 3 года), ц/га

Среди многолетних бобовых культур на всех типах дефляционноопасных почв самый высокий выход кормовых единиц и сбор сырого протеина отмечен у люцерны посевной.

Приведенные данные свидетельствуют, что формирование продуктивности многолетних бобовых трав зависит от типа почв, их водного и питательного режимов. Низкое плодородие и дефицит влаги на дерново-подзолистой слабоглееватой песчаной почве лимитируют рост и развитие растений, что обусловило формирование низкой продуктивности бобовых трав.

ВЫВОДЫ

1. Выбор вида многолетних бобовых трав для конкретного типа дефляционноопасных почв оказывает значительное влияние на их продуктивность. Установлено, что наибольшую продуктивность многолетние бобовые травы формируют на торфяно-минеральной и дерново-глеевой песчаной почвах.

2. Возделывание многолетних бобовых трав на дерново-подзолистой слабоглееватой песчаной почве приводит к резкому снижению их продуктивности.

3. Возделывание люцерны посевной на торфяно-минеральной и дерново-глеевой песчаной почвах в Полесском регионе способствует получению качественного корма с высоким сбором сырого протеина и выходом кормовых единиц по сравнению с другими видами многолетних бобовых трав (клевер луговой, эспарцет песчаный, лядвенец рогатый).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добровольский, Г.В. Место и роль современного почвоведения в науке и жизни / Г.В. Добровольский // Почвоведение. – 1999. – № 1. – С. 9–14.

2. Жилко, В.В. Водная и ветровая эрозия / В.В. Жилко. – Минск: Ураджай, 1986. – 55 с.

3. Проектирование противоэрозионных комплексов и использование эрозионноопасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси: рекомендации / под ред. А.Ф. Черныша. – Минск, 2005. – 52 с.

4. Черныш, А.Ф. Оценка факторов формирования эрозионных процессов в целях планирования и адаптации противоэрозионных комплексов к почвенно-экологическим условиям Беларуси / А.Ф. Черныш, А.Э. Радюк // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 2. – С. 23–31.

5. Государственный земельный кадастр Республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2008 г.). – Минск, 2008. – 63 с.

6. Почвоведение / И.С. Кауричев [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1989. – 719 с.

7. Roseuzweig, C. Potential impacts of climate change on world supply / C. Roseuzweig, M.L. Parry // Nature. – 1994. – № 367. – P. 133–138.

8. Шелюто, Б.В. Зеленые и сырьевые конвейеры / Б.В. Шелюто, В.Н. Шлапунов, А.А. Шелюто. – Минск, 2008. – 239 с.

9. Гончаров, П.Л. Кормовые культуры Сибири: биолого-ботанические основы возделывания / П.Л. Гончаров. – Новосибирск: Изд-во Новосибир. ун-та, 1992. – 264 с.

PRODUCTIVITY OF PERENNIAL LEGUMES ON WIND EROSION DANGEROUS SOILS OF BELORUSSIAN POLESYE

A.N. Hapanjyk, A.V. Soroka, N.N. Kastsiuchenka

Summary

The data on perennial legume crops productivity on various wind erosion dangerous soils are stated in the article. It is found that the greatest perennial grasses yield was obtained on peat-mineral and sod-gley soils. Forage crops cultivation on sod-podzolic light gley sandy soils leads to sharply decreasing of green mass and dry matter and also raw protein yield.

Поступила 18.04.13

УДК 631.4:528.8

МОНИТОРИНГ ГУМУСОВОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМА ЮЖНОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ СНИМКОВ СПУТНИКА LANDSAT 7

С.Г. Черный, Д.А. Абрамов

Николаевский национальный аграрный университет, г. Николаев, Украина

ВВЕДЕНИЕ

Для рационального, экономного и эффективного использования почв необходимо владеть точной информацией об их состоянии. Большое значение мониторинга украинских почв как источника объективных оценок для выработки мероприятий, направленных на их охрану, уже много раз было зафиксировано в различных документах. Это и материалы научных конференций, и монографии (например, фундаментальный труд академика В.В. Медведева [3]), и законодательные акты [например, 2], и правительственные и ведомственные постановления. Организация полноценного мониторинга почв в Украине становится особенно актуальной сейчас, в преддверии реализации заключительной фазы земельной реформы – формирования рынка земель сельскохозяйственного назначения.

Следует отметить, что традиционные методы мониторинга почв и (или) их отдельных свойств, основанные на локальных, одноразовых наблюдениях, не дают адекватной оценки современного состояния почвенного покрова. Давно назрел переход к пространственно-временным методам с использованием современных геоинформационных и аэрокосмических технологий. Последние получают сейчас быстрое распространение вследствие своей оперативности, объективизма и относительной дешевизны, а также уникальных возможностей разового охвата достаточно больших территорий.

Важным свойством почвы является содержание в ней органического вещества. Особенный интерес к мониторингу почвенного гумуса состоит не только в широко известной исключительной его роли в плодородии, но и в современных процессах дегумификации. Наземные исследования, приведенные в работах [8], демонстрируют печальный факт интенсивной потери органического вещества из почв Южной Степи Украины, что в современных хозяйственных условиях объясняется вымыванием из структуры посевных площадей многолетних трав, бобовых культур, сокращением норм органических удобрений, интенсификацией водной и ветровой эрозии почв. Анализ литературных источников [1,4,5,6,7] показывает, что наиболее перспективным методом мониторинга содержания гумуса является многоспектральное сканирование поверхности почвы с помощью специальной аппаратуры, расположенной на борту космических аппаратов. Поскольку гумус является темноокрашенным веществом, то его содержание в почве будет пропорциональным яркости солнечного света, отразившегося от поверхности оголенной почвы. Определение изменений такой яркости в определенных частях спектра является эффективным оперативным средством мониторинга содержания гумуса в почве [7].

Чаще всего для мониторинга гумуса используются значения яркости в красном и инфракрасном спектре. В частности, согласно работе А.Б. Ачасова и Д.И. Бидолаха [1], содержание гумуса наиболее тесно связано со значениями яркости в красной части спектра снимка, полученного камерой КФА–1000 спутника «Ресурс Ф1». Коэффициент корреляции здесь равен 0,74. А.В. Шатохин и М.А. Лындин [9], которые объектом исследования выбрали черноземы обыкновенные Донецкой области, при использовании архивных данных спектрального сканирования космического аппарата SPOT установили, что между содержанием гумуса в верхнем слое почвы и яркостью в ближнем инфракрасном спектре существует достаточно тесная зависимость (r = 0,94). А.И. Сахацкий [4] приводит результаты исследований по оценке содержания гумуса по данным космической съемки Landsat 7 в пределах тестовых участков на почвах Черниговской и Хмельницкой областей Украины. Статистическая обработка данных показала на линейную корреляционную зависимость между спектральными характеристиками Landsat 7 в красном спектре (r = 0,95) и ближнем инфракрасном спектре (r = 0,85) со средним содержанием гумуса. Трускавецкий С.Р. [6] проводил исследования на землях Житомирского Полесья с использованием многоспектрального сканирования поверхности почвы спутником SPOT. Установлено, что имеется тесная связь между спектральной яркостью и содержанием гумуса в почве: r = –0,88 (зеленый спектр), r = –0,88 (красный спектр), r = –0,90 (ближний инфракрасный спектр).

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Многоспектральное сканирование (МСС) – это оптико-механический дистанционный метод получения данных о земных поверхностях, в том числе и почвы. В процессе разработки МСС в разных системах используется от 4 до 24 полос спектра, как правило, в интервале 0,3–15,0 мкм. МСС, которое осуществляется многоспектральной камерой ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus),что находится на борту американского спутника Landsat 7, работает в семи частях спектра (спектральных каналах): голубой – 0,45–0,52 мкм,

зеленый – 0,53–0,61 мкм, красный – 0,63–0,69 мкм, ближний инфракрасный – 0,78–0,90 мкм, средний инфракрасный – 1,55–1,75 мкм и 2,09–2,35 мкм, а также тепловой инфракрасный канал – 10,4–12,5 мкм. Элементарная пространственная единица (пиксель на экране дисплея), с которой МСС ETM+ получает данные по каждому из первых шести каналов, равна на местности квадрату в 30×30 м, или 0,09 га.

Для разработки методики спутникового мониторинга гумусового состояния чернозема южного использовались безоблачные спутниковые снимки весны 2012 г. (три срока съемки – 21.04, 30.04, 05.05) двух спектральных каналов – 3-го (красный) и 4-го (ближний инфракрасный). Снимки загружались с сервера Геологической службы США (USGS) (www.glovis.usgs.gov).Трехкратное последовательное определение яркостей в каждом пикселе не только увеличивает точность их определения, но и помогает избежать полной или частичной потери информации при попадании на объекты исследования возможных дефектов спутниковых изображений (т.н. «черных полос»), связанных с работой линейного сканирующего корректора (ScanLineCorrector, или SLC) камеры ETM+ спутника Landsat 7. Эти пробои или разрывы в изображениях (gaps – в англоязычной литературе [10, 11]) существенно затрудняют использование снимков в автоматическом дешифрировании. Но благодаря тому, что при повторном пролете эти пробои не пересекаются, возможно изготовление композитов из 2–3 снимков одной территории. Количественное определение величины яркости осуществлялось в каждом пикселе с помощью специального программного обеспечения – ENVI 4.8.

Анализ структуры посевных площадей региона показал, что конец марта – начало мая является наиболее благоприятным периодом для дистанционного зондирования поверхности почвы, так как в это время почва максимально не покрыта растительностью. Кроме этого, учитывались и метеорологические особенности этого периода, так как высокая влажность почвы может существенно исказить отражательные характеристики ее поверхности. В частности, чем выше влажность почвы, тем темнее ее поверхность, и яркость почвы в ближнем инфракрасном диапазоне будет увеличена по сравнению с сухим ее состоянием [6]. Анализ архивов метеорологических данных метеостанции Николаев показал, что за апрель – начало мая 2012 г. выпало 20,3 мм осадков в виде небольших дождей, по 2–5 мм каждый. Очевидно, что на фоне исключительно высоких температур этого периода никакого серьезного влияния на влажность, а следовательно, и на отражательные характеристики поверхности почвы в момент съемки многоспектральной камерой ETM+ эти осадки не имели.

В качестве стационарных тестовых участков использовались земли УНПЦ Николаевского национального аграрного университета (УНПЦ ННАУ), расположенные в Николаевском районе Николаевской области, в зоне Южной Степи Украины (рис. 1). Почвенный покров полей УНПЦ представлен черноземами южными средне- и тяжелосуглинистыми на лессах разной степени эродированности. Координаты северо-восточного угла полей УНПЦ, изображенных на фрагменте спутникового снимка, взятого из приложения GoogleEarth (рис. 1) – 46°56’ 56,5’’ с.ш., 31°42’ 56,5’’ в.д.

Рис. 1. Схема расположения
УНПЦ Николаевского национального аграрного университета

На этих землях в 2011–2012 гг. с учетом эродированности почв, положения мест исследований на склонах (их экспозиций, расстояний до водоразделов и т. п.) была заложена система почвенных разрезов. Проведена пространственная привязка разрезов с помощью GPS–навигатора фирмы Garmin GPSMAP 60Cx с целью точной идентификации мест проведения почвенных исследований на спутниковых многоспектральных снимках. Из почвенных разрезов определена мощность гумусового горизонта (А + АВ) и послойно отобраны образцы почвы, в которых затем в пятикратной повторности определялось содержание гумуса по методу Тюрина (национальный стандарт ДСТУ 4289–2004).

Статистический анализ данных проводился с помощью программного пакета Excel, входящего в состав стандартного набора Microsoft Office.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Почвенные анализы отобранных образцов показали, что на землях УНПЦ ННАУ диапазон изменения гумуса в слое 0–10 см составляет 3,54 % – 6,71 % при среднем значении 4,71%, а в гумусовом горизонте – 2,50–4,50 % при среднем – 3,02 %. Мощность гумусового горизонта колебалась в диапазоне 40–110 см при среднем значении 61 см. Главной причиной таких больших колебаний содержания гумуса и мощности гумусового горизонта на землях УНПЦ ННАУ является интенсивная водная эрозия. На рис. 2, где представлены некоторые поля УНПЦ ННАУ и который является фрагментом панхромного снимка, взятого из приложения GoogleEarth, хорошо видна водно-эрозионная ручейковая сеть со смытыми и намытыми почвами.

Так как для поиска статистических связей между яркостями почвенных поверхностей и количественными характеристиками свойств почв следует использовать оголенную (или близкую к этому состоянию) поверхность почвы, то необходимо определить степень открытости ее поверхности. Наличие (или

отсутствие) растительных остатков, сельскохозяйственной растительности и сорняков на поверхности почв определялось с помощью расчета так называемого вегетационного индекса *NDVI*. Он идентифицируется по значениям яркостей красного спектрального канала и ближнего инфракрасного:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED), \quad (1)$$

где *NIR* – значение яркости ближнего инфракрасного канала, *RED* – значение яркости красного канала. Согласно [4], если значение вегетационного индекса меньше 0,15, то считается, что поверхность почвы не имеет развитого растительного покрова и значение яркостей характеризирует лишь оптическое состояние поверхности почвы. Согласно этому критерию, из массива данных было отобрано 24 точки со значением *NDVI*< 0,15.

Рис. 2. Ручейковая сеть, эродированные и намытые почвы на землях УНПЦ ННАУ

Поскольку приведенный выше анализ литературных данных показывает, что чаще всего существует зависимость между содержанием гумуса и спектральными яркостями красного и (или) ближнего инфракрасного диапазона, то статистический анализ включал все возможные связи и комбинации этих двух спектральных характеристик поверхности. Такой анализ показал, что наибольший коэффициент детерминации (r2 = 0,43) существует при квадратичной регрессионной зависимости между содержанием гумуса в слое 0–10 см и отношением RED/NIR (рис. 3):

$$\Gamma_{0-10} = -2{,}94 \cdot (RED / NIR)^2 + 5{,}73 \cdot (RED / NIR) + 2{,}51), \quad (2)$$

где Γ_{0-10} – содержание гумуса в слое 0–10 см, NIR – значение яркости ближнего инфракрасного канала, RED – значение яркости красного канала. Показатели RED и NIR рассчитывались как среднее арифметическое соотношений

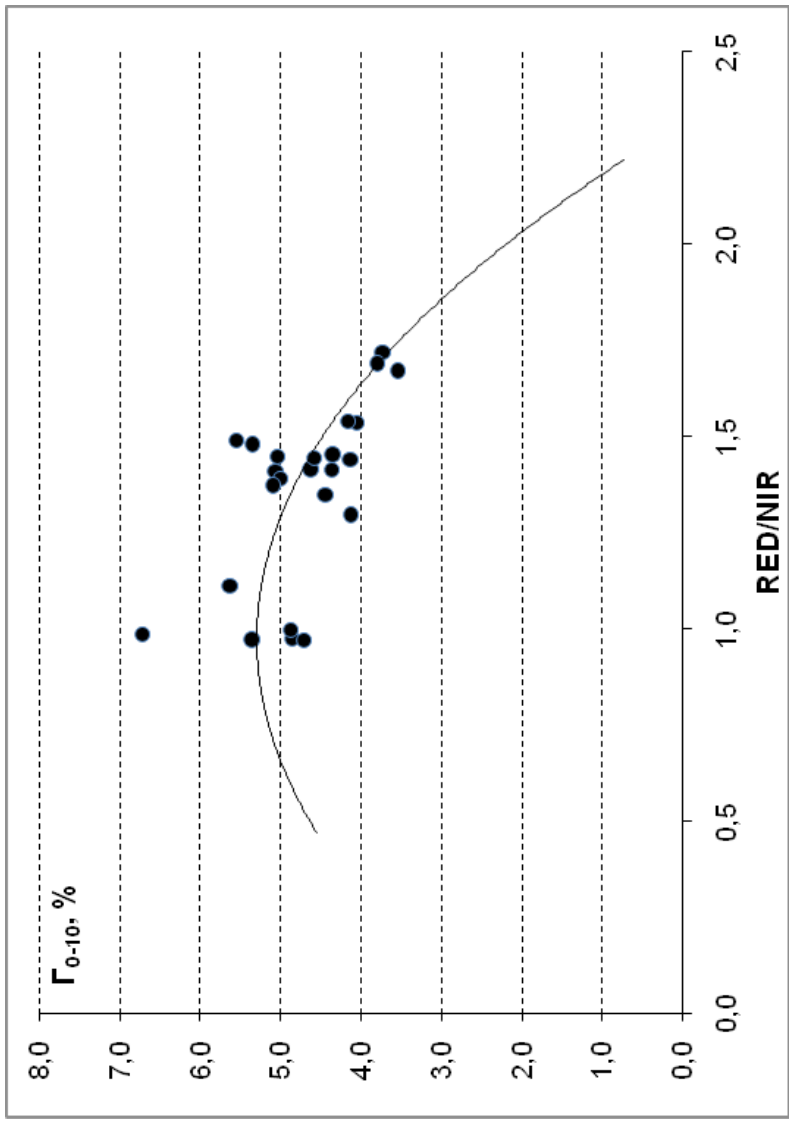


Рис. 3. Зависимость между содержанием гумуса в слое 0–10 см ($Г_{0-10}$) и показателем RED/NIR

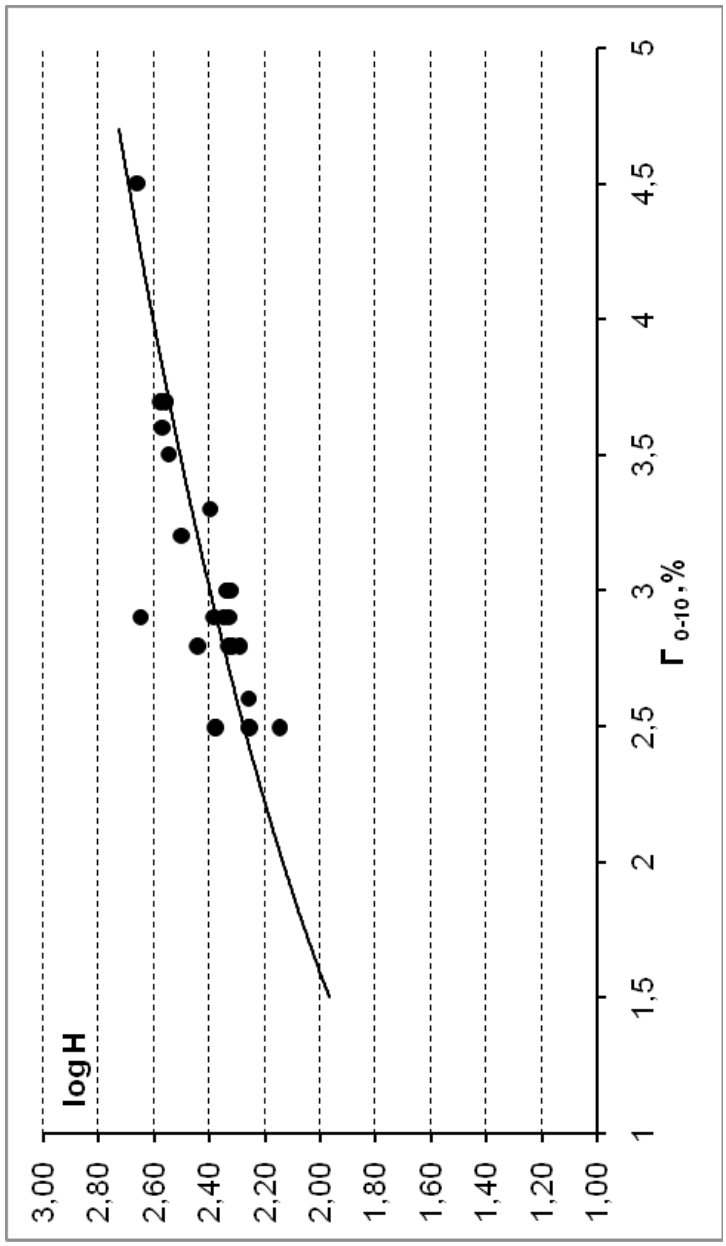


Рис. 4. Зависимость между содержанием гумуса в слое 0–10 см ($Г_{0–10}$) и запасами в почве (Н)

трех сроков съемки (21.04.12, 30.04.12, 05.05.12), а в случае наличия описанных выше разрывов в изображениях (gaps) они определялись по двум или одному сроку съемки.

Между содержанием гумуса в слое 0–10 см (Г0–10) и десятичным логарифмом запасов гумуса в почве (log H) существует зависимость, которая аппроксимируется показательной функцией с коэффициентом детерминации 0,62:

$$\log H = 1{,}75 \cdot Г_{0–10}^{0{,}29}. \quad (3)$$

Таким образом, подставляя (2) в (3), можно достаточно легко определить запасы гумуса в южных черноземах средне- и тяжелосуглинистых через величины яркостей в красной и инфракрасной частях спектра, определенных по результатам многоспектрального сканирования, произведенного спутником Landsat 7:

$$\log H = 1{,}75 \cdot [–2{,}94 \cdot (RED/NIR)^2 + 5{,}73 \cdot (RED/NIR) + 2{,}51]^{0{,}29}. \quad (4)$$

Уравнение (4) пригодно для использования в мониторинге гумусового состояния почв в Южной Степи Украины.

ВЫВОДЫ

Исследования показали, что существуют достаточно надежные связи между яркостями поверхности почвы в красной и инфракрасной частях спектра космических снимков Landsat 7 и содержанием и запасами гумуса в черноземах южных. Полученные зависимости можно использовать для мониторинга гумусового состояния почв Южной Степи Украины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ачасов, А.Б. Использование материалов космической и наземной цифровой фотосъемок для определения содержания гумуса в почвах / А.Б. Ачасов, Д.И. Бидолах // Почвоведение. – 2008. – № 3. – С. 280–286.

2. Земельний кодекс України [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2768–1.

3. Медведев, В.В. Мониторинг почв Украины: концепция, предварительные результаты, задачи / В.В. Медведев. – Харьков: Антиква, 2002. – 428 с.

4. Сахацький, О.І. Досвід використання супутникових даних для оцінки стану ґрунтів з метою розв'язання природо-ресурсних задач / О.І. Сахацький // Доповіді Національної академії наук України. – 2008. – № 3. – С. 109–115.

5. Терехов, А.Г. Методика оценки содержания гумуса в пахотных землях Северного Казахстана на основе спутниковых данных / А.Г. Терехов, А.М. Кауазов // Ин-т космических исследований ЦАФИ МОН. – Алматы, 2006. – С. 358–364.

6. Трускавецький, С.Р. Використання багатоспектрального космічного сканування та геоінформаційних систем у дослідженні ґрунтовогопо криву Полісся України: автореф. дис. …канд. с.-г. наук: 03.00.18 / С.Р. Трускавецький. – Х., 2006. – 24 с.

7. Чорний, С.Г. До питання визначення вмісту гумусу в ґрунтах дистанційними методами / С.Г. Чорний, І.М. Гашпоренко // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2009. – № 2(49). – С. 163–167.

8. Чорний, С.Г. Моніторинг вмісту гумусу в ґрунтах Миколаївської області: просторово-часові аспекти / С.Г. Чорний, В.М. Любарцев, Т.М. Чорна // Збірка наукових праць Подільського Державного агро-технологічного університету. – Вип. 15. – С. 34–37.

9. Шатохин, А.В. Сопряженное изучение черноземов Донбасса наземными и дистанционными методами / А.В. Шатохин, М.А. Лындин // Почвоведение. – 2001. – № 9. – С. 1037–1044.

10. Beck, R. Scan Line Corrector-off Products Available / R. Beck // Landsat Project News. October/November 2003 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://landsat.usgs.gov/project_news/October_November_2003.php

11. Williams, D.L. Landsat: Yesterday, Today and Tomorrow / D.L. Williams, S. Goward, T. Arvidson // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2006. – Vol. 72. – № 10. – P. 1171–1178.

HUMUS CONDITION MONITORING OF CHERNOZEM SOUTHERN WITH USING MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGE LANDSAT 7

S.G. Chornyy, D.A. Abramov

Summary

The possibility of using spectral images of Landsat 7 for monitoring of humus condition Southern Steppe Ukraine soils was examined. The regression equations of relation between the humus content in topsoil layer, humus reserve and spectral brightness of satellite images was calculated.

Поступила 02.04.13

УДК 631.434

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ NO-TILL НА СТРУКТУРУ ЧЕРНОЗЕМА ЮЖНОГО

С.Г. Черный,О.В. Выдынивская
Николаевский национальный аграрный университет, г. Николаев, Украина

ВВЕДЕНИЕ

Современную систему земледелия No-till, которую иногда еще называют системой нулевой обработки почвы, достаточно обоснованно относят к весомым достижениям агрономической и агроинженерной науки второй половины XX столетия [1]. Нулевая обработка – это способ посева без предварительной обработки почвы в стерню или пожнивные остатки.

По последним данным, объемы применения технологии No-till в мире находятся в пределах 105 млн га, в том числе в Америке площади с введенными новыми технологиями составляют примерно 87 млн га, в Австралии – 12, в других странах мира – 6 млн га. Из общей площади на шесть стран: Бразилию, Аргентину, США, Канаду, Австралию и Парагвай – приходится 95 %. На долю Европейского континента, включая и восточную его часть, приходится 2,5–3 %. Ежегодно площади под No-till растут примерно на 1 млн га [1]. В Украине распространение и внедрение технологии No-till началось в 70-е гг. прошлого века. Однако более удачный этап внедрения технологии No-till в Украине был начат корпорацией «Агро-Союз» в Днепропетровской области уже в 1990-е гг. Постепенно новая технология выращивания сельскохозяйственных культур получает распространение на всей территории Украины, особенно в ее степной части [1].

Причин внедрения No-till на данный момент несколько, а именно:

- экономические (уменьшение затрат на выращивание сельскохозяйственных культур);
- экологические (увеличение содержания и улучшение баланса органического вещества, сохранение влаги, что особенно актуально в засушливых районах Степи, уменьшение непроизводительных потерь CO_2 из почвы, сохранение структуры почвы, уменьшение угрозы эрозии);
- организационные (уменьшение количества технологических операций при выращивании сельскохозяйственных культур);
- социальные (уменьшение рабочего времени, занятости, создание возможностей для людей заниматься другими видами деятельности) [2].

Важным аргументом в пользу внедрения новой системы земледелия является ее значительный почвозащитный эффект, что связано именно с мульчей, которая защищает поверхность почвы от действия экстремального поверхностного стока и сильных ветров и существенно уменьшает эрозионные потери почвы, особенно при длительном использовании этой технологии [2–5].

Важной характеристикой качества системы земледелия как с агрономической точки зрения, так и с противоэрозионной (водостойкость) и противодефляционной (ветроустойчивость) характеристик являются параметры структуры почвы. Существует довольно большой перечень зарубежных и отечественных публикаций относительно влияния No-till на показатели структуры почвы. Преимущества нулевой обработки относительно физических и физико-химических свойств почвы были отмечены в Великобритании. В частности, констатировалось улучшение структурного состояния почвы вследствие сдерживания минерализации органического вещества, накопления растительных остатков и подвижных фракций органического вещества (полисахаридов). Сохранение структуры при внедрении No-till наблюдается также на почвах южной и средней Англии. Положительное влияние No-till на стабильность агрегатов в слое 0–3 см и на противоэрозионную устойчивость почвы были определены во Франции и других средиземноморских странах [6]. Так же было отмечено, что внедрение No-till в штате Миссисипи (США) приводит к частичному увеличению стабильности воздушно-сухих агрегатов, что, по мнению автора, определяет ветроустойчивость почвы [7].

Исследования, проведенные М.И. Байдюком, на обыкновенных черноземах в Донецкой области показали, что технология нулевой обработки не создает условий для ухудшения структурно-агрегатного состава почвы по сравнению с контролем и существенно не влияет на содержание водостойких агрегатов почвы [8].

В исследованиях, проведенных в Национальном университете биоресурсов и природопользования, было установлено, что разные технологии возделывания, в том числе традиционная и нулевая, по-разному влияют на соотношение разных фракций при агрегатном анализе. В частности, в фазу кущения озимой пшеницы в зависимости от технологии обработки почвы количество агрономически ценных агрегатов (0,25–10 мм) было больше при нулевой технологии и составляло около 90 %, а при традиционной – 75 % [1].

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по влиянию нулевой обработки на структуру почвы были проведены на черноземах южных Асканийской государственной сельскохозяйственной опытной станции Института орошаемого земледелия НААН Украины (Каховский р-н, Херсонская обл.) в рамках стационарного полевого опыта по изучению влияния способов основной обработки на урожайность сельскохозяйственных культур и свойства почв (3 года внедрения No-till), на землях государственного предприятия «Опытное хозяйство «Асканийское» (Каховский р-н, Херсонская обл., 6 лет внедрения No-till), на землях фермерских хозяйств «Росток» (Верхнерогачинский р-н, Херсонская обл., 6 лет внедрения No-till) и «Весна» (Снигиревский р-н, Николаевская обл., 3 года внедрения No-till, среднеэродированные почвы). Контролем были почвы со стандартной для Степи Украины основной обработкой – под пропашные культуры (горох, сорго, подсолнечник) вспашка 20–22 см и 28–30 см глубиной, а под культуры

сплошного посева (озимая пшеница, ячмень) – дискование глубиной 12–14 см. Исследования проводились в июне–июле 2011–2012 гг. Координаты мест исследований были определены GPS-навигатором «Garmin» и приведены в таблице 1.

Таблица 1

Координаты мест исследований

Место проведения исследований	Координаты	Вариант	Почва
ОХ «Асканийское», Херсонская обл., Каховский р-н	46°34'58,5» с.ш., 33°54'17,0» в.д.	No-till, 6 лет	чернозем южный легкоглинистый
	46°34'15,2» с.ш., 33°54'28,1» в.д.	традиционная обработка	
Асканийская ГСХОС ИОЗ НААНУ, Херсонская обл., Каховский р-н	46°33'05,1» с.ш., 33°48'75,3» в.д.	No-till, 3 года	чернозем южный тяжелосуглинистый
	46°33'05,1» с.ш., 33°48'74,6» в.д.	традиционная обработка	
ФХ «Росток», Херсонская обл., Верхнерогачинский р-н	47°14'40,6» с.ш., 34°16'53,8» в.д.	No-till, 6 лет	чернозем южный тяжелосуглинистый
	47°14'43,3» с.ш., 34°16'55,5» в.д.	традиционная обработка	
ФХ «Весна», Николаевская обл., Снигиревский р-н	46°49'27,1» с.ш., 32°45'21,4» в.д.	No-till, 3 года	чернозем южный тяжелосуглинистый эродированный
	46°49'26,4» с.ш., 32°45'21,8» в.д.	традиционная обработка	

Структурно-агрегатный, гранулометрический и микроагрегатный состав почвы определялись согласно действующим государственным стандартам Украины [9–11].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Структуру почвы необходимо характеризовать с разных позиций. Компоновка в почве отдельных агрегатов, что определяет водный и воздушный режим, контакт корневых систем культурных растений с почвой, а также прочность агрегатов к воздействию внешних агентов, как правило, это вода и ветер, характеризуются рядом показателей, имеющих агрономический и почвозащитный смысл.

Для более полного представления о структурном состоянии почвы необходимо определить выход разного размера фракций микроагрегатов (т. е. частичек почвы меньше 0,25 мм), а также обязателен анализ главного свойства микроагрегатов – соотношения в различных фракциях агрегированных и неагрегированных частичек.

Выход мелких фракций, особенно ила (<0,001 мм), при микроагрегатном анализе, выполненном без химических воздействий на почву, будет всегда меньше, чем при гранулометрическом анализе. Сопоставление результатов микроагрегатного и гранулометрического анализов позволяет судить о степени

дисперсности почвы, прочности ее микроструктуры. Процентное отношение ила микроагрегатного к илу, полученному при гранулометрическом анализе, характеризует, по Н.А. Качинскому, степень ее распыляемости в воде, или фактор дисперсности ($К_Д$) [12]. Результаты наших исследований показали (табл. 2), что, согласно классификации почв по коэффициенту дисперсности Н.А. Качинского, почвы во всех вариантах характеризуются высокой микроструктуренностью ($К_Д$<15).

Таблица 2

Влияние технологии No-till на показатели микроструктуры чернозема южного

Место проведения исследований	Вариант	Слой почвы, см	Показатели			
			$К_Д$	$К_А$	$М_Д$	$П_{ПС}$
ОХ «Асканийское»	No-till, 6 лет	0–5	8,60	92,84	38,00	10,83
		5–10	8,03	95,84	44,11	12,29
		10–30	10,05	94,59	39,72	8,71
	традиционная обработка	0–5	5,69	83,33	45,61	13,15
		5–10	7,40	82,00	45,53	10,39
		10–30	6,61	79,07	42,29	10,94
Асканийская ГСХОС ИОЗ НААНУ	No-till, 3 года	0–5	4,66	81,96	44,05	15,88
		5–10	7,16	80,95	44,21	10,48
		10–30	4,60	81,97	46,52	16,15
	традиционная обработка	0–5	5,54	88,85	48,51	11,88
		5–10	5,64	88,71	46,01	11,02
		10–30	7,49	86,29	45,25	7,71
ФХ «Росток»	No-till, 6 лет	0–5	2,51	60,82	36,57	18,72
		5–10	0,31	62,85	39,23	153,99
		10–30	0,31	68,20	41,55	151,78
	традиционная обработка	0–5	1,62	68,54	37,80	35,90
		5–10	2,67	61,27	34,45	20,07
		10–30	1,75	69,42	35,55	30,71
ФХ «Весна»	No-till, 3 года	0–5	2,63	66,06	33,96	20,89
		5–10	7,27	63,33	31,78	7,20
		10–20	1,04	72,27	35,72	50,51
	традиционная обработка	0–5	6,38	74,87	40,30	8,00
		5–10	8,71	73,31	37,21	5,85
		10–20	8,89	78,50	36,79	5,70

Существует еще ряд показателей, характеризующих прочность микроструктуры от внешних воздействий, а именно: коэффициент агрегированности Бейвера-Роадеса ($К_А$), показатель Димо ($М_Д$) [12], показатель

противоэрозионной стойкости Воронина-Кузнецова ($П_{ПС}$) [13] или показатель водостойкости микроструктуры. Расчеты показали, что по показателю Бейвера-Роадеса почвы в большинстве вариантов обладают хорошей ($К_А$ = 65–80), высокой ($К_А$ = 80–90) и очень высокой ($К_А$ > 90) микроагрегированностью. О высокой микроструктуренности данных почв говорит и показатель Димо ($М_Д$). В большинстве вариантов данные почвы характеризуются также высокой противоэрозионной стойкостью ($П_{ПС}$ > 10). Таким образом, можно сделать вывод, что в результате применения технологии No-till в течение столь короткого периода времени (от 3 до 6 лет) микроструктура практически не меняется и зависит лишь от содержания главного агрегирующего агента – содержания ила при анализе гранулометрического состава почвы (рис. 1).

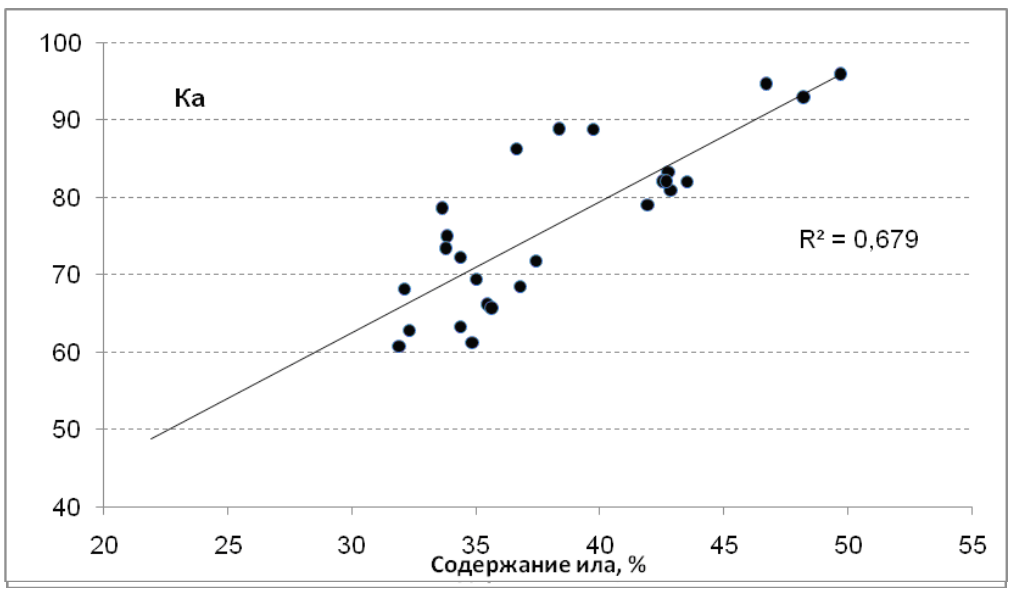


Рис. 1. Зависимость между коэффициентом агрегированности Бейвера-Роадес и содержанием ила при гранулометрическом анализе

Что касается макроструктуры южных черноземов, то агрономически ценной является комковато-зернистая структура с размером агрегатов от 0,25 до 10 мм, обладающих пористостью и водостойкостью. Такая структура обуславливает наиболее благоприятный водно-воздушный режим почвы, способствует диффузии в почву необходимого количества кислорода и удалению из нее углекислого газа. Структура влияет на механические свойства почв, прорастание семян растений, расположение в почве корней. Утрата почвой агрегированности приводит к сокращению объема пор, по которым происходит проникновение воды в почву и осуществляется газообмен, т.е. аэрация почвы. Нарушение аэрации в почве ведет к интенсификации анаэробных процессов, что способствует возникновению в ней токсичных для растений веществ.

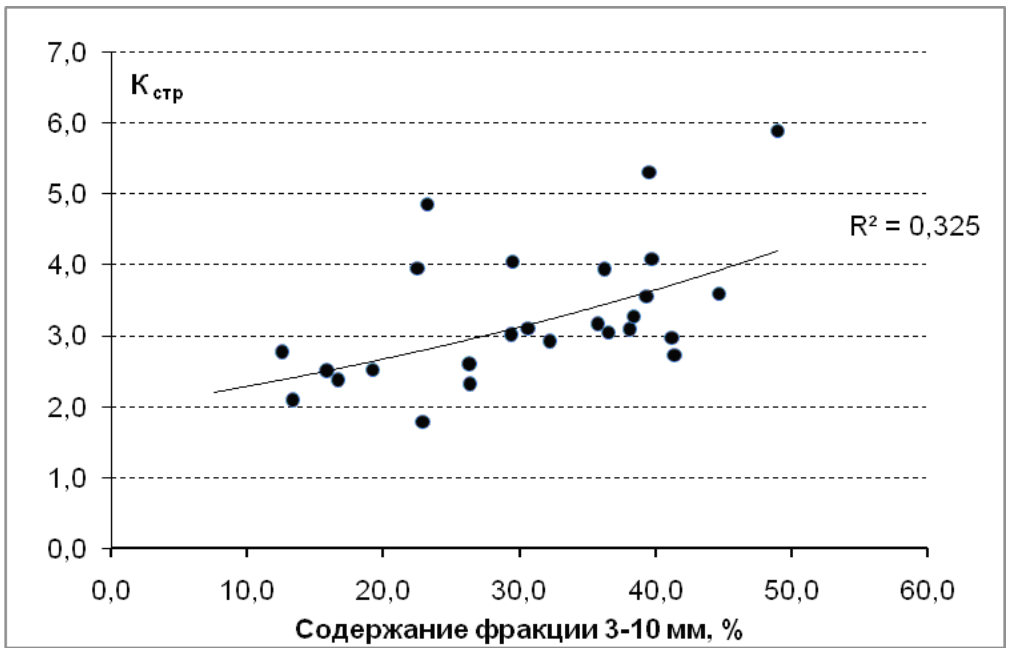


Рис. 2. Зависимость между коэффициентом структурности и содержанием фракции 3–10 мм при «сухом» просеивании

По результатам агрегатного анализа вычисляют коэффициент структурности ($К_{СТР}$), под которым понимается отношение количества агрегатов от 0,25 до 10 мм (в %) к суммарному содержанию агрегатов меньше 0,25 и больше 10 мм (в %) [14, 12]. Наши исследования показали (табл. 3), что во всех вариантах для пахотного слоя почв коэффициент структурности был больше 1,5, т. е. структура может оцениваться как хорошая [12].В то же время существует определенная тенденция к увеличению коэффициента структурности в почвах, где применялась No-till, за счет крупных фракций почвы 3–10 мм (рис. 2), главным образом в верхних слоях почвы 0–5 и 5–10 см.

Увеличение коэффициента структурности в верхних слоях почвы при внедрении No-till связано, на наш взгляд, с образованием в почве насыщенной поверхностными органическими остатками более «живой» среды с наличием разнообразных микроорганизмов (грибов, бактерий, водорослей и т.п.). Эти существа связывают элементарные почвенные частицы (ЭПЧ) в процессе своей жизнедеятельности, выделяя в почву различные субстраты (например, полисахара и полимеры галактуроновой кислоты и т. п.), которые имеют большую способность к склеиванию ЭПЧ [12–13]. Другим следствием сосредоточения растительных остатков на поверхности почвы и в ее самом верхнем слое (0–5 см) является образование так называемого «молодого» гумуса, к которому относятся промежуточные продукты трансформации растительных остатков и который имеет большую способность к агрегации ЭПЧ и микроагрегатов [12].

Таблица 3

Влияние технологии No-till на показатели структуры чернозема южного

Место проведения исследований	Вариант	Слой почвы, см	$К_{стр}$	Содержание фракций, %	
				3–10 мм	0,25–3 мм
ОХ «Асканийкое»	No-till, 6 лет	0–5	3,09	38,12	37,43
		5–10	3,59	44,69	33,55
		10–30	4,08	39,71	40,60
		0–30	3,83	40,27	38,90
	традиционная обработка	0–5	2,51	15,86	55,64
		5–10	3,27	38,43	38,18
		10–30	3,16	35,77	40,22
		0–30	3,07	32,90	42,45
Асканийская ГСХОС ИОЗ НААНУ	No-till, 3 года	0–5	2,72	41,39	31,72
		5–10	2,97	41,20	33,60
		10–30	4,04	29,50	50,67
		0–30	3,64	33,43	44,66
	традиционная обработка	0–5	2,32	26,39	43,50
		5–10	3,05	36,55	38,75
		10–30	5,30	39,55	44,58
		0–30	4,43	36,86	43,43
ФХ «Росток»	No-till, 6 лет	0–5	3,10	30,62	44,97
		5–10	2,60	26,30	45,94
		10–30	2,92	32,27	42,23
		0–30	2,90	31,00	43,30
	традиционная обработка	0–5	2,10	13,36	54,33
		5–10	2,51	19,24	52,28
		10–30	5,89	48,96	36,31
		0–30	4,69	38,07	41,98
ФК «Весна»	No-till, 3 года	0–5	2,77	12,59	60,90
		5–10	3,94	22,48	57,30
		10–20	3,94	36,28	43,47
		20–35	3,55	39,34	38,70
		0–30	3,62	31,05	47,09
	традиционная обработка	0–5	2,38	16,69	53,69
		5–10	1,78	22,91	41,18
		10–20	4,85	23,23	59,68
		20–35	3,01	29,39	45,70
		0–30	3,31	24,14	50,94

Увеличение количества крупных фракций, по всей видимости, приводит к увеличению комковатости (*G,* фракции >1 мм) в этих слоях почвы (табл. 4), а соответственно, и к увеличению противодефляционной стойкости почвы, что является немаловажным показателем для Степи Украины, где дефляция является одним из главных процессов деградации почв и наносит непоправимый вред их плодородию. В процессе дефляции происходит выдувание верхнего, наиболее плодородного слоя почвы, что ведет к потере гумуса и питательных веществ, а также к значительным изменениям в структурном и гранулометрическом составах почвы.

Анализ литературных данных [15–16, 5] и наши исследования показывают (табл. 4), что ветроустойчивость почвы (*VS*) лучше всего определяется именно содержанием агрегатов более 1 мм. В данных работах констатируется, что рост ветроустойчивости южных черноземов не сопровождается пропорциональным ростом комковатости – связь между ветроустойчивостью почвы (*VS,* %) и комковатостью (*G,* %) выражается зависимостью:

$$VS = 0{,}0082 \cdot G^{2{,}0}. \qquad (1)$$

Таблица 4

Влияние технологии No-till на показатели противодефляционной стойкости почв

Место проведения исследований	Вариант	Слой почвы, см	G, %	VS, %	D_c, мм	$V_{кр}$, м/с
ОХ «Асканийкое»	No-till, 6 лет	0–5	79,11	51,31	4,92	5,02
		5–10	87,39	62,62	5,53	5,17
		10–30	86,46	61,30	5,17	5,08
		0–30	85,39	59,85	5,19	5,08
	традиционная обработка	0–5	46,54	17,76	2,28	4,36
		5–10	83,32	56,93	5,09	5,06
		10–30	88,39	64,06	5,28	5,10
		0–30	80,57	55,15	4,75	4,97
Асканийская ГСХОС ИОЗ НААНУ	No-till, 3 года	0–5	91,84	69,16	5,86	5,25
		5–10	92,82	70,64	5,77	5,23
		10–30	71,22	41,59	3,50	4,66
		0–30	78,25	51,03	4,27	4,85
	традиционная обработка	0–5	78,45	50,46	4,89	5,01
		5–10	86,08	60,76	5,16	5,08
		10–30	84,73	58,87	4,47	4,90
		0–30	83,91	57,78	4,66	4,95
ФХ «Росток»	No-till, 6 лет	0–5	79,37	51,65	4,15	4,82
		5–10	72,73	43,37	3,82	4,74
		10–30	75,09	46,24	4,00	4,79
		0–30	75,41	46,66	3,99	4,78
	традиционная обработка	0–5	53,88	23,81	2,74	4,47
		5–10	62,55	32,08	3,31	4,62
		10–30	84,45	58,47	4,30	4,86
		0–30	75,70	48,30	3,88	4,76
ФХ «Весна»	No-till, 3 года	0–5	50,83	21,18	2,01	4,29
		5–10	73,62	44,44	3,44	4,65
		10–20	90,37	66,96	4,95	5,02
		20–35	86,95	61,99	5,09	5,06
		0–30	79,85	53,92	4,26	4,85
	традиционная обработка	0–5	60,37	29,88	3,74	4,72
		5–10	82,14	55,32	5,88	5,25
		10–20	74,79	45,87	3,75	4,72
		20–35	74,46	45,46	4,51	4,91
		0–30	73,50	44,64	4,36	4,87

Анализ данных таблицы 4 показывает, что в верхних слоях почвы 0–5 и 5–10 см в трех вариантах из четырех по No-till наблюдается увеличение комковатости и данные почвы характеризуются как очень ветроустойчивые (*G* > 66).

В трех вариантах из четырех при использовании технологии No-till присутствует также увеличение средневзвешенного диаметра агрегатов (D_c) в слое почвы 0–5 см (слой почвы, который наиболее интенсивно выдувается ветром). Имея показатели средневзвешенного диаметра агрегатов (D_c, мм), можно рассчитать критическую скорость ветра (V_{KP}, м/с) для данных почв [17] по формуле:

$$V_{KP} = 0{,}249 \cdot D_c + 3{,}79. \qquad (2)$$

Анализируя полученные данные, мы видим, что показатели критической скорости ветра для этих вариантов также намного выше, чем на контроле. На эродированных южных черноземах ФХ «Весна» увеличение противодефляционной стойкости почвы при внедрении нулевой обработки почвы не наблюдается.

Важным показателем ценности структуры с агрономической точки зрения является ее водостойкость. Способность почвы противостоять падающим каплям дождя и поверхностному потоку, ее противоэрозионная устойчивость, зависит от целого ряда почвенных свойств [18]. Но параметры макроструктуры могут быть тем интегральным показателем, который наиболее полно охарактеризует противоэрозионную устойчивость. Есть несколько параметров водостойкости, но самые популярные следующие: содержание водостойких агрегатов размером более чем 0,25 мм и средневзвешенный диаметр водостойких агрегатов.

Таблица 5

Влияние технологии No-till на показатели водостойкости структуры чернозема южного

Место проведения исследований	Вариант	Слой почвы, см	Содержание агрегатов > 0,25 мм, %	$K_в$	$D_м$, мм
ОХ «Асканийское»	No-till, 6 лет	0–5	79,70	214,60	2,04
		5–10	80,10	256,46	1,73
		10–30	85,25	270,55	1,65
		0–30	83,47	258,88	1,73
	традиционная обработка	0–5	63,95	149,62	0,78
		5–10	76,90	365,69	1,51
		10–30	80,95	289,98	2,49
		0–30	77,44	279,20	2,04
Асканийская ГСХОС ИОЗ НААНУ	No-till, 3 года	0–5	80,80	703,92	1,58
		5–10	78,65	769,07	1,45
		10–30	69,75	234,06	1,19
		0–30	73,08	401,54	1,29
	традиционная обработка	0–5	74,65	384,25	1,00
		5–10	78,30	606,46	1,07
		10–30	78,95	480,12	1,08
		0–30	78,13	485,20	1,07
ФХ «Росток»	No-till, 6 лет	0–5	78,35	431,44	1,50
		5–10	74,09	351,17	1,19
		10–30	74,02	347,05	1,38
		0–30	74,75	361,80	1,37
	традиционная обработка	0–5	66,02	233,32	0,72
		5–10	70,73	223,51	0,99
		10–30	78,03	626,80	1,14
		0–30	74,81	494,00	1,04

Окончание табл. 5

Место проведения исследований	Вариант	Слой почвы, см	Содержание агрегатов > 0,25 мм, %	$К_в$	$D_м$, мм
ФК «Весна»	No-till, 3 года	0–5	69,17	174,27	1,11
		5–10	78,86	255,62	1,42
		10–20	85,25	497,53	1,62
		20–35	63,95	521,35	0,84
		0–30	74,41	411,28	1,24
	традиционная обработка	0–5	75,15	142,13	1,38
		5–10	80,95	184,16	2,49
		10–20	80,80	159,17	1,66
		20–35	78,65	200,06	1,52
		0–30	79,17	174,13	1,70

Данные таблицы 5 показывают, что в трех вариантах из четырех применение No-till привело к существенному увеличению содержания водостойких агрегатов, особенно в слое 0–5 см. На эродированных южных черноземах (ФХ «Весна») увеличение количества водостойких агрегатов размером более 0,25 мм не наблюдалось. В то же время следует отметить, что во всех вариантах, согласно существующим критериям [19], можно классифицировать как высокую, так и избыточно высокую водостойкость структур ($К_в$).

Анализ литературных данных показывает [20], что при определении «критической скорости» потока воды, т.е. скорости, при которой начинается отрыв частиц почвы от поверхности и реализация эрозионного процесса, фигурирует средневзвешенный диаметр водостойких агрегатов. При этом отмечается, что критическая скорость водного потока пропорциональна средневзвешенному диаметру водостойких агрегатов, а потому, чем больше диаметр, тем выше скорость, следовательно, почва имеет большую устойчивость к разрушению водой (большую противоэрозионную устойчивость).

Анализ данных таблицы 5 показывает, что в большинстве случаев диаметр водостойких агрегатов ($D_м$), т. е. противоэрозионная устойчивость чернозема южного при использовании технологии No-till в слое 0–5 см, растет. В то же время на эродированных южных черноземах такого роста не замечено. Похожая тенденция наблюдается и в более глубоких слоях почвы. Рост средневзвешенного диаметра водостойких агрегатов, в верхних слоях почвы при внедрении No-till связан, как упоминалось выше, с образованием в почве насыщенной поверхностными органическими остатками среды с наличием разнообразных микроорганизмов, генерацией ими различных клеев, участвующих в создании водостойких агрегатов, и образованием так называемого «молодого» гумуса, который тоже имеет большую способность к агрегации [13].

ВЫВОДЫ

Оценка влияния нулевой обработки (No-till) на структуру чернозема южного показала, что при изменении способа обработки в такой короткий срок микроструктура практически не меняется.

В то же время существует тенденция к увеличению коэффициента структурности на вариантах с No-till за счет выхода при структурном анализе крупных фракций почвы 3–10 мм, главным образом в верхних слоях почвы 0–5 и 5–10 см.

В верхних слоях почвы 0–5 и 5–10 см в трех вариантах из четырех по No-till наблюдается увеличение комковатости и данные почвы характеризуются как очень ветроустойчивые.

В трех вариантах из четырех при использовании технологии No-till замечено также увеличение средневзвешенного диаметра агрегатов в слое почвы 0–5 см, что также свидетельствует об увеличении ветроустойчивости почвы. В этих же вариантах наблюдается и рост средневзвешенного диаметра водостойких агрегатов, особенно в слое 0–5 см, которые определяют противоэрозионную устойчивость чернозема южного.

Существующая тенденция к улучшению при внедрении No-till показателей макроструктуры как с агрономической точки зрения, так и с почвозащитной обусловлена созданием в верхнем, насыщенном растительными остатками слое чернозема южного лучших условий для агрегации. Эти условия связаны с улучшением микробиологической деятельности и образованием так называемого «молодого» гумуса в самом верхнем слое почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косолап, М.П. Система землеробства No-till / М.П. Косолап, О.П. Кротінов. – К.: Логос, 2011. – 352 с.

2. Гассен, Д. Прямой посев – дорога в будущее / Д. Гассен, Ф. Гассен. – Д.: Агросоюз, 2004. – 206 с.

3. Кирюшин, В.И. Минимализация обработки почв: перспективы и противоречия / В.И. Кирюшин // Земледелие. – 2006. – № 5. – С.12–14.

4. No-till spring cereal cropping system reduce wind erosion susceptibility in wheat/fallow region of the Pacific Northwest / M.E. Thorne [et al.] // Journal Soil and Water Conservation Society. – 2003. – № 58(5). – P. 250–257.

5. Чорний, С.Г. Кількісна оцінка протидефляційної ефективності технології No-till в умовах Південного Степу України / С.Г. Чорний, О.В. Видинівська, А.В. Волошенюк // Ґрунтознавство. – 2012. – № 1–2. – Т. 13. – С. 38–47.

6. Медведєв, В.В. Нульовий обробіток ґрунту в європейських країнах / В.В. Медведєв. – Харків: ЕДУНА, 2010. – 202 с.

7. Rhoton, F.E. Influence of Time on Soil Response to No-till Practices / F.E. Rhoton // Soil Sci. Soc. Am. Journal. – 2000. – Vol. 64. – P. 700–710.

8. Байдюк, М.І. Особливості акумулятивного ґрунтоутворення за нульового обробітку чорноземів Степу Донбасу: автореф. дис. …канд. с.-г. наук / М.І. Байдюк. – Харків, 2004. – 19 с.

9. Якість ґрунту. Визначання структурно-агрегатного складу ситовим методом у модифікації Н.І.Саввінова: ДСТУ 4744:2007. – Введено 01.01.2008. – Київ: Держспоживстандарт України, 2008. – 12 с.

10. Якість ґрунту. Визначання гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського: ДСТУ 4730:2007. – Введено 01.01.2008. – Київ: Держспоживстандарт України, 2008. – 18 с.

11. Якість ґрунту. Визначання мікроагрегатного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського: ДСТУ 4728:2007. – Введено 01.01.2008. – Київ: Держспоживстандарт України, 2008. – 16 с.

12. Медведев, В.В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана) / В.В. Медведев. – Харьков: 13 типография, 2008. – 406 с.

13. Воронин, А.Д. Основы физики почв / А.Д. Воронин. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 244 с.

14. Теории и методы физики почв: коллективная монография / под ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского. – М.: Гриф и К, 2007. – 616 с.

15. Чорний, С.Г. Вітростійкість ґрунтового покрову Степу України / С.Г. Чорний, О.В. Письменний // Вісник ХНАУ. – 2008. – № 2. – С.147–150.

16. Чорний, С.Г. Про взаємозв'язок між різними параметрами протидефляційної стійкості ґрунтів Степу України / С.Г. Чорний, О.В. Письменний // Екологія та ноосферологія. – 2011. – Т. 22. – С. 43–47.

17. Долгилевич, М.И. Пыльные бури и агролесомелиоративные мероприятия / М.И. Долгилевич. – М.: Колос, 1978. – 234 с.

18. Лисецкий, Ф.М. Современные проблемы эрозиоведения / Ф.М. Лисецкий, А.А. Светличный, С.Г. Черный. – Белгород: Константа, 2012. – 456 с.

19. Шеин, Е.В. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств почв / под ред. Е.В. Шеина. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. – 198 с.

20. Кузнецов, М.С. Эрозия и охрана почв / М.С. Кузнецов, Г.П. Глазунов. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 335 с.

IMPACT OF TECHNOLOGY NO-TILL ON THE SOUTHERN CHERNOZEM STRUCTURE

S.G. Chornyy, O.V. Vydynivs'ka

Summary

The paper presents the results of studies on the impact of technology No-till on the southern chernozem soil structure. The use of No-till technology in a short period of time does not affect the soil's microstructure, at the same time change indicators macrostructure was determined. The improvement of soil macrostructure indicators with the agronomic point of view, and water and wind erosion characteristics associated with the creation in southern chernozems better conditions for aggregation due to improved microbial activity and the formation of "young" humus in the topsoil layer.

Поступила 02.04.13

УДК 631.417

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ГУМУСА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ БРЕСТСКОГО ПОЛЕСЬЯ

А.С. Домась[1], Н.В. Клебанович[2]
[1]Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина, г. Брест, Беларусь
[2]Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Гумусовые вещества во многом определяют основные морфологические признаки почв, их водный, воздушный и тепловой режимы, физические и физико-химические свойства, биохимические и микробиологические показатели, состав соединений элементов питания растений [1–6]. Они выполняют множество функций – аккумулятивную, транспортную, регуляторную и т. д. [7], отдают живым организмам необходимые им элементы питания постепенно, по мере их потребления, сохраняя тем самым их необходимый запас для последующих поколений. Этим они существенно отличаются от тех простых минеральных веществ, которые находятся в растворе и почвенном поглощающем комплексе и являются основными источниками элементов питания для растений, но могут быть сравнительно быстро израсходованы или вымыты из почвы. Гумусовые вещества обуславливают агрономически ценную структуру почв, способны связывать в малоподвижные или труднодиссоциирующие соединения токсичные и радиоактивные элементы, а также соединения, негативно влияющие на экологическую ситуацию в природе, в том числе они могут инкорпорировать некоторые пестициды, углеводороды, фенолы [1, 7]. Почва, характеризующаяся оптимальным содержанием, составом и запасами гумуса, отличается максимальной и стабильной производительной способностью и устойчивостью к действию негативных факторов [3, 8].

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в период 2011–2013 гг. на территории Брестского Полесья. Объектом исследования являлись дерново-подзолистые почвы, сформированные в условиях нормального увлажнения (автоморфных), относящиеся к различным видам земель. Почвообразующими породами на данной территории являются водно-ледниковые и древнеаллювиальные супеси и пески [9], характеризующиеся низким содержанием тонкодисперсных фракций, способствующих, по мнению многих авторов [10–12], закреплению гумусовых веществ в почвенном профиле. Вследствие отличной водопроницаемости инфильтрационная влага не успевает существенно воздействовать на почвенный профиль, поэтому последний слабо дифференцирован на горизонты, даже гумусовый горизонт не всегда выделяется четко, так как подавляющее большинство лесных дерново-подзолистых почв региона является палеопахотными. В некоторых разрезах на фоне бывшего пахотного горизонта уже заметно формирование сверху

маломощного нового гумусового горизонта и более светлого серого горизонта с белесой присыпкой, уместно диагностируемого как A_1A_2. В целом подзолистые горизонты автоморфных почв региона выражены слабо, часто они более интенсивно окрашены в желтые тона, чем нижележащие, диагностируемые как горизонты В, ВС.

Данные почвы отличаются слабой влагоемкостью, низкой катионообменной способностью, поэтому они имеют повышенный уровень эффективного плодородия только при достаточно высоком содержании гумуса, что позволяет благодаря органическим коллоидам обеспечить приемлемый уровень поглощения воды и питательных веществ. Заметную роль в формировании плодородия играет, помимо общего количества, и состав гумуса, поэтому целью работы было исследование качественного состава гумуса автоморфных дерново-подзолистых почв в данном регионе.

Для достижения поставленной цели нами было отобрано 27 почвенных образцов дерново-подзолистых почв (10 – пашня, 5 – луг, 12 – лес), как правило, с глубины 5–15 см на территории Брестского, Малоритского и Кобринского районов. Для характеристики гумусного состояния определяли следующие показатели: валовое содержание органического вещества – методом И.В. Тюрина (ГОСТ 26213–91); качественный состав органического вещества – методом И.В. Тюрина в модификации Пономаревой-Плотниковой [13]; pH_{KCl} – стандартным потенциометрическим методом по ЦИНАО (ГОСТ 26483–85).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Дерново-подзолистые почвы, сформированные в автоморфных условиях, обычно отличаются низким содержанием гумуса ввиду сравнительно небольшого количества поступающего растительного опада и аэробных условий практически весь вегетационный период, что мало способствует гумификации, стимулируя распад органического вещества до минеральных соединений. В изучаемом регионе такие почвы формируются на породах легкого гранулометрического состава, испытывают недостаток влаги, что определяет их невысокую биологическую продуктивность.

Характерной особенностью дерново-подзолистых почв является малая мощность гумусового горизонта, что имеет негативные последствия при их освоении. При формировании пахотного слоя происходит припахивание нижележащих горизонтов, приводящее к снижению общего содержания органического вещества в пахотных почвах, а также к ухудшению состава гумуса, однако правильно подобранный комплекс агротехнических мероприятий способен не только замедлить потерю органического вещества, но и улучшить его качество.

Дерново-подзолистые автоморфные почвы Брестского Полесья, как показывают результаты исследований, действительно крайне бедные органическим веществом. Его содержание колеблется в пределах 0,39–2,01 % $C_{орг.}$ (пашня – 0,52–2,01; луг – 0,66–0,88; лес – 0,39–1,49) при среднем показателе 0,85 % $C_{орг.}$ (1,46 % гумуса), т. е. очень бедные [11]. Основная масса гумусовых веществ в профиле сосредоточена в верхнем горизонте. Вниз по профилю, вне зависимости от вида земель, содержание гумуса резко убывает (содержание органического углерода изменялось от 0,07 до 0,12 %).

Общая обеспеченность органическим веществом обусловлена не только содержанием гумуса, но и мощностью гумусированных слоев, которая обычно составляла 20–23 см, но на пашне была несколько выше, до 29 см, поэтому уместно изучать и общие запасы гумуса в той или иной почве. По данному параметру в целом выявлены очень низкие показатели. Максимальным содержанием характеризовались пахотные почвы, однако и здесь запасы гумуса не достигли даже 40 т/га. На луговых угодьях этот показатель был еще более низким, в среднем 30 т/га, а в почвах под лесами составил всего 23,6 т/га (рис. 1).

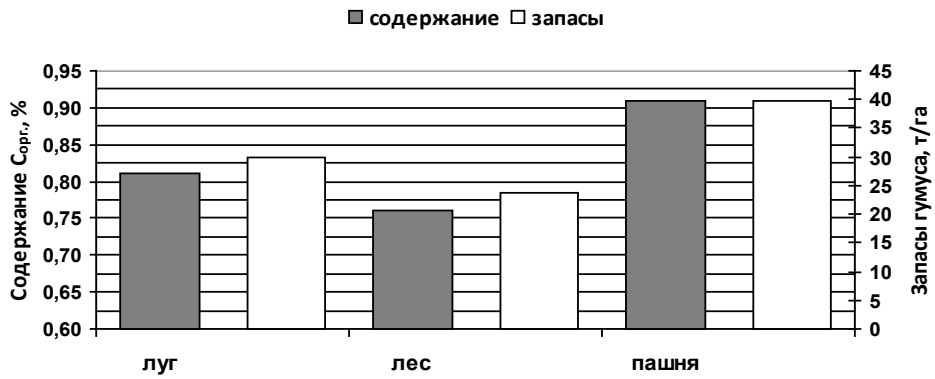


Рис. 1. Запасы гумуса в гумусово-аккумулятивных горизонтах дерново-подзолистых почв Брестского Полесья

Увеличение содержания органического вещества в пахотных дерново-подзолистых почвах нормального увлажнения в сравнении с почвами других угодий Брестского Полесья позволяет считать, что подбор агротехнических мероприятий, выполняемых на них, способствует накоплению гумуса в толще пахотного горизонта. Однако, несмотря на это, содержание гумуса в них 1,57 % (0,91 % $C_{орг.}$), что позволяет характеризовать данные пахотные почвы как крайне бедные органическим веществом. В подгумусовых горизонтах при любой форме землепользования содержание гумуса резко падает и не превышает 0,2 % $C_{орг.}$.

Внесение известковых мелиорантов в пахотные почвы влечет за собой увеличение присутствия в них ионов Ca^{2+}, способствующих не только снижению кислотности среды (значение pH в разрезах на пашне обычно превышало 6,0), негативно воздействующей на большинство культурных растений, но и формированию благоприятной почвенной структуры. Помимо этого, вносимый с химическими мелиорантами Ca^{2+} способствует стабилизации органического вещества, образуя гуматы и фульваты кальция [14, 15], что и показывают наши исследования. Без интенсивного известкования в дерново-подзолистых почвах вторая фракция как гуминовых, так и фульвокислот может вообще отсутствовать [16]. На пахотных почвах наблюдается (табл. 1) уменьшение содержания подвижных фракций (ГК1 + ФК1а + ФК1). Возможно, это происходит за счет их преобразования и частичного перехода во фракции ГК2 и ФК2 и в первую очередь фракцию гуминовой природы [17]. Доля ГК2 относительно суммы ГК возрастает до 17,5 %, в то время как в луговых почвах этот показатель составлял лишь 11,8 %, а в лесных – чуть более 5 %. Суммарное же содержание фракции (ГК2 + ФК2), связанной с

кальцием, также было наибольшим, хотя уже и не столь значительно (рис. 2). Доля фракций, наиболее прочно связанных с глинистыми минералами почвы, характеризовалась высокими значениями [11], однако на фоне других видов земель эти значения не выделялись. Известно, что внесение органических удобрений в традиционных севооборотах на дерново-подзолистой почве обогащает молекулы гуминовых кислот как центральной, так и периферийной частей, то есть усложняет их [18]. На более стабильный характер гумуса пахотных почв указывает также и наибольшее значение содержания в них негидролизуемого остатка, хотя в общем колебания в содержании гумина в почвах различных видов землепользования были невелики (табл. 1).

В целом окультуривание легких дерново-подзолистых почв выражается в относительном увеличении в гумусовом горизонте доли гуминовых кислот и расширении соотношения Сгк / Сфк, что согласуется с данными предшествующих подобных исследований в Беларуси [9, 19], но не меняет кардинально направленность процессов гумусообразования в южно-таежной зоне [20].

Почвы лесных земель наименее обеспечены органическим веществом на исследуемой территории. Содержание гумуса в аккумулятивном горизонте составило лишь 1,31 % (0,76 % $C_{орг.}$). Столь низкие значения гумусированности лесных почв объясняются, в первую очередь, невысокими показателями поверхностного опада с большой долей кислых малозольных составляющих типа лигнина, клетчатки, что подтверждается кислой реакцией (pH = 4,9) в верхней части профиля этих почв. При этом в лесных почвах, видимо, более интенсивно происходят процессы минерализации органического вещества за счет кислой среды.

Состав гумусовых веществ лесных земель определялся как гуматно-фульватный со значительным преобладанием фульвокислот, соотношение Сгк : Сфк – 0,65 (табл. 1). Степень гумификации органического вещества в лесных почвах была наиболее низкой среди остальных видов земель и определялась как слабая [11]. В почвенном профиле отмечается повышенное содержание наиболее кислой и агрессивной фракции гумусовых веществ ФК1а (7,70 %), что также обусловлено характером их источника. В исследованиях отмечено очень высокое содержание ГК1 от суммы ГК – свыше 70 %, что свидетельствует о высокой подвижности гумусовых веществ. Лесные автоморфные почвы юго-западной части Брестского Полесья в целом отличались наибольшей суммой гумусовых веществ первой фракции (ГК1 + ФК1 + ФК1а), в то время как сумма ГК2 + ФК2 прогнозируемо была наименьшей в сравнении с почвами других видов земель. Сумма ГК3 + ФК3 также характеризовалась наиболее низкими значениями среди почв всех форм землепользования (рис. 2). Данный факт свидетельствует о низкой степени закрепления органических веществ в почвенной матрице и высокой степени минерализации новообразованных гумусовых веществ, что объясняется легким гранулометрическим составом почв и их формированием в условиях недостаточного увлажнения.

Низкое содержание гумуса в почвах, находящихся под луговыми фитоценозами, которые также характеризовались крайне низкими значениями этого показателя – 1,39 % (0,81 % $C_{орг.}$), гипотетически объясняется меньшим по сравнению с пахотными землями антропогенным воздействием при идентичном групповом составе гумуса (Сгк / Сфк = 0,83). Исследованные луговые почвы отличаются слабокислой и нейтральной реакцией среды, также сопоставимой с таковой в пахотных почвах.

Таблица 1

Состав гумуса дерново-подзолистых почв под различными видами земель, % от $C_{общ.}$

Вид земель	$C_{орг.}$, %	Гуминовые кислоты				Фульвокислоты					Гумин	Сгк/ Сфк	pH_{KCl}
		1	2	3	∑гк	1а	1	2	3	∑фк			
Пахотные	0,91	9,17	3,20	6,29	18,67	3,93	7,01	2,94	8,24	22,67	58,66	0,83	6,60
Луговые	0,81	10,33	2,47	8,30	21,10	3,35	8,18	3,50	10,44	25,47	53,44	0,83	6,68
Лесные	0,76	12,51	1,13	4,57	17,72	7,70	10,87	1,67	7,44	27,68	54,61	0,65	4,92

Таблица 2

Состав гумуса дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава

Гранулометрический состав	$C_{орг.}$, %	Гуминовые кислоты				Фульвокислоты					Гумин	Сгк/ Сфк	pH_{KCl}
		1	2	3	∑гк	1а	1	2	3	∑фк			
Рыхлый песок	0,79	12,57	1,34	4,48	18,40	5,62	7,78	2,15	6,69	22,23	59,37	0,87	5,53
Связный песок	0,88	9,43	2,79	6,80	19,02	4,20	8,50	3,22	8,82	25,21	55,78	0,75	6,61
Рыхлая супесь	0,81	10,72	2,84	6,50	19,06	6,81	9,03	1,35	9,81	27,00	53,94	0,73	5,99

Дерново-подзолистые почвы под лугами характеризовались самым низким содержанием наиболее подвижной фракции – ФК1а (3,35 %). В целом дерново-подзолистые почвы Брестского Полесья под луговой растительностью отличались наиболее качественным и стабильным составом органического вещества. Средняя обеспеченность наиболее подвижными фракциями, повышенное содержание фракций, образующих нерастворимые соединения с кальцием, высокое содержание фракций, прочносвязанных с глинистыми минералами, формируют наиболее благоприятный гумусовый фон для почв данного типа на исследуемой территории.

В ходе исследования также была сделана попытка проследить влияние гранулометрического состава дерново-подзолистых почв на содержание и состав гумуса. Гранулометрический состав данных почв был представлен лишь тремя градациями: песок рыхлый, песок связный и супесь рыхлая. Каких-либо закономерных изменений в содержании валового гумуса с утяжелением гранулометрического состава выявлено не было (табл. 2).

Во фракционном и групповом составе гумуса наблюдался ряд особенностей. Так, с утяжелением гранулометрического состава исследуемых почв происходило незначительное усиление степени гумификации органического вещества, а также постепенное усиление присутствия доли наиболее устойчивых фракций, связанных с глинистыми минералами (рис. 3). Наличие тенденции к увеличению доли гидролизуемых форм гумусовых веществ при уменьшении содержания негидролизуемого остатка позволяет предположить трансформацию гумина в более доступные гумусовые вещества с утяжелением гранулометрического состава.

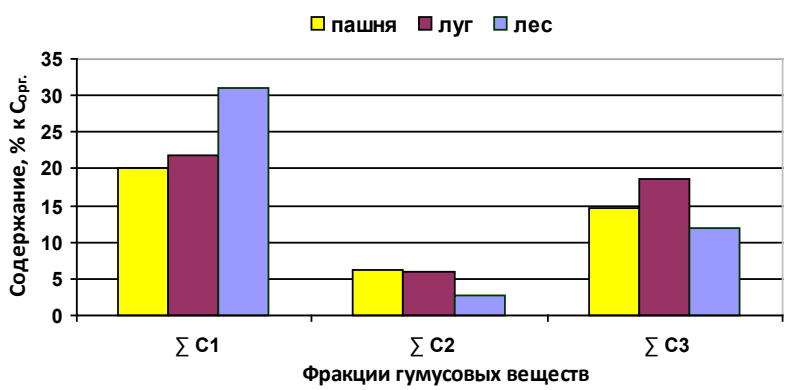


Рис. 2. Распределение гумусовых веществ по фракциям, характеризующим степень связности органического вещества с минеральной частью почв различных угодий

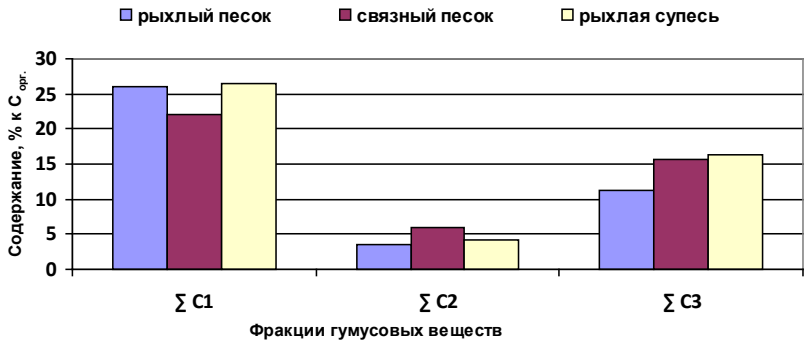


Рис. 3. Содержание фракций гумусовых веществ дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава

ВЫВОДЫ

1. Дерново-подзолистые почвы нормального увлажнения в Брестском Полесье отличаются низким общим содержанием гумуса и его запасами вне зависимости от вида земель, резким его снижением при переходе от верхнего гумусового (пахотного) горизонта в подзолистый.

2. Независимо от формы землепользования формируется гумус фульватного или гуматно-фульватного типа, характерный для зональных дерново-подзолистых почв.

3. Для легких дерново-подзолистых почв Полесья характерно активное аэробное разложение органических остатков, при котором в составе гумуса усиливается присутствие подвижных фракций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирюкова, О.Н. Содержание и состав гумуса в основных типах почв России / О.Н. Бирюкова, Д.С. Орлов // Почвоведение. – 2004. – № 2. – С. 171–188.

2. Кузнецова, И.В. Содержание и состав органического вещества черноземов и его роль в образовании водопрочной структуры / И.В. Кузнецова // Почвоведение. – 1998. – № 1. – С. 41–50.

3. Орлов, Д.С. Гумусное состояние почв как функция их биологической активности / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова // Почвоведение. – 1984. – № 8. – С. 39–49.

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

5. Щербаков, А.П. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ / А.П. Щербаков, И.Д. Рудай. – М.: Колос, 1983. – 189 с.

6. Dhir, R.P. A Study on the Composition of Humus in Some Soil Profiles of the North-Western Himalayas. / R.P. Dhir // Journal of the Indian Society of Soil Science. – 1973. – Vol. 21, № 2. – P. 149–154.

7. Орлов, Д.С. Гуминовые вещества в биосфере / Д.С. Орлов // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 2. – С.58–59.

8. Гумусное состояние пахотной дерново-подзолистой почвы в условиях применения различных видов зеленых удобрений / Л.Н. Трипольская [и др.] // Почвоведение – 2008. – № 8. – С. 997–1005.

9. Почвы Белорусской ССР / Т.Н. Кулаковская [и др.]; под ред. Т.Н. Кулаковской. – Минск: Ураджай, 1974. – 328 с.

10. Карпачевский, Л.О. Экологическое почвоведение / Л.О. Карпачевский. – М.: ГЕОС, 2005. – 336 с.

11. Орлов, Д.С. Практикум по химии гумуса / Д.С. Орлов, Л.А. Гришина. – М.: МГУ, 1981. – 272 с.

12. Christensen, B.T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnoved / B.T. Christensen // Europ. J. Soil Sci. – 2001. – V. 52, № 3. – P. 345–353.

13. Практикум по агрохимии: уч. пособие / О.А. Амельянчик [и др.]; под ред. В. Г. Минеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.

14. Милановский, Е.Ю. Амфифильные компоненты гумусовых веществ почв / Е.Ю. Милановский // Почвоведение. – 2000. – № 6. – С. 706–715.

15. Милановский, Е.Ю. Фундаментальная роль амфифильных компонентов гумусовых веществ в процессе гумусо-структурообразования и генезиса почв / Е.Ю. Милановский, Е.В. Шеин // Почвоведение. – 2002. – № 10. – С. 1201–1213.

16. Изменение содержания и состава гумуса дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в длительном полевом опыте по известкованию / Л.Г. Бакина [и др.] // Почвоведение. – 2011. – № 5. – С. 572–581.

17. Литвинович, А.В. Трансформация состава гумуса дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава под действием возрастающих доз извести и в постагрогенный период / А.В. Литвинович, О.Ю. Павлова // Почвоведение. – 2010. – № 11. – С. 1362–1369.

18. Завьялова, Н.Е. Влияние приемов землепользования на трансформацию гуминовых кислот дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Предуралья / Н.Е. Завьялова, В.А. Кончиц // Почвоведение. – 2011. – № 1. – С. 103–110.

19. Коршун, Н.Н. Качественный состав гумуса избыточно увлажненных почв БССР: автореф. дис. …канд. с.-х. наук / Н.Н. Коршун; Белорусский научно-исследовательский ин-т земледелия. – Минск, 1964. – 22 с.

20. Комаревцева, Л.Г. Фракционный состав гумуса на фоне применения разных видов органических удобрений / Л.Г. Комаревцева, Л.А. Балашова // Вестник АПК Верхневолжья. – 2009. – № 3. – С. 3–8.

FRACTIONAL HUMUS COMPOSITION IN SOD-PODZOLIC SOILS OF BREST POLESYE

A.S. Domas', N.V. Klebanovich

Summary

The results of the study of the fractional composition of sod-podzolic soils (albeluvisols) of Brest Polesie are given. Low organic carbon content (typically less than 1%) in the humus horizon, the sharply drop of the total content with depth, humate-fulvic humus composition is ascertained. In the composition of humic and fulvic acids dominate mobile fractions, whose share falls to 70% in the forest soil to 50 % in the arable soil. Content and composition of humus in studied soils are practically independent from texture.

Поступила 20.04.13

УДК 631.48:543.42.062

СПЕКТРАЛЬНАЯ ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

С.В. Дробыш[1], Т.В. Бубнова[2], О.В. Матыченкова[2]
[1]Проектный институт Белгипрозем, г. Минск, Беларусь
[2]Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени выявлено, что в процессе реализации светопреобразующей функции почвенным покровом ведущая роль принадлежит гумусу, а зависимость между содержанием органического вещества в почвах и их спектральной отражательной способностью близка к прямолинейной и носит обратный характер [1, 2, 3, 4].

Первая опубликованная математическая зависимость между содержанием гумуса и отражательной способностью почв принадлежит Б.В. Виноградову [1]. Однако он использовал в качестве оптической характеристики коэффициент яркости, а не спектральный коэффициент отражения (СКО). К тому же в качестве объектов исследования им были взяты преимущественно почвы степной и сухостепной зон.

Н.А. Михайловой на почвах Дальнего Востока [4] также подтверждена зависимость отражательной способности почв от общего содержания гумуса в почвах и его качественного состава.

И.И. Карманов также указывает на тесную обратную корреляционную зависимость между содержанием гумуса в почвах и их коэффициентом отражения (КО), который рассчитывается по формулам, с использованием разных длин волн (λ = 440 нм, λ = 490 нм, λ = 540 нм, λ = 590 нм, λ = 640 нм, λ = 690 нм) [2].

Д.С. Орловым и др. [3] изучены, кроме специфических почв Дальнего Востока и почв юга России, также почвы дерново-подзолистой зоны на примере одной из опытных станций Московской области. Им используется, как наиболее информативная, длина волны 680 нм (λ_{680}). Однако эти исследования были проведены для всех типов почв, встречающихся на станции (от дерновых до торфяно-болотных), а для дерново-подзолистых почв – без учета гранулометрического состава, который в условиях Беларуси играет первостепенную роль в формировании почвенного плодородия и определяет их сенсорность к антропогенным воздействиям.

К тому же рядом исследователей [5, 6] и нами в том числе [7] было установлено, что гранулометрический состав почв оказывает весьма существенное влияние на их отражательную способность.

В работах, выполненных нами ранее [7], была изучена отражательная способность агродерново-подзолистых почв легкосуглинистого и связнопесчаного гранулометрического состава по интегральному коэффициенту отражения (КО $\lambda_{440–690}$).

Однако многими исследователями для характеристики спектральной отражательной способности почв, кроме КО, используются и другие длины волн, например, λ = 680 нм и λ = 750 нм. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9].

Таким образом, целью данной публикации явилось представление результатов исследований влияния гранулометрического состава агродерново-подзолистых почв на их спектральную отражательную способность (СКО) при длине волны, равной 680 нм (СКО λ_{680}), 750 нм (СКО λ_{750}) и коэффициенте отражения (КО), рассчитанному по шести длинам волн (КО $\lambda_{440–690}$).

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований явились образцы из агрогумусовых (пахотных) горизонтов агродерново-подзолистых почв легкосуглинистого, связносупесчаного, рыхлосупесчаного и связнопесчаного гранулометрического состава с разным содержанием гумуса. Почвы по содержанию гумуса дифференцированы нами на четыре группы: 1-я группа – содержание гумуса менее 1,50 %, 2-я группа – 1,51–2,00 %, 3-я группа – 2,01–2,50 %, 4-я группа – более 2,50 %. Для построения кривых отражательной способности использованы образцы из пахотных горизонтов конкретных разрезов (табл. 1).

Спектры диффузного отражения почвенных образцов зарегистрированы в лабораторных условиях на спектрофотометре СФ–18 [2]. На основании зарегистрированных кривых спектрального отражения (спектрограмм) получены показатели СКО λ_{750}, СКО λ_{680} и расчетный коэффициент отражения КО $\lambda_{440–690}$.

Всего было проанализировано 399 образцов: 122 образца из агрогумусовых горизонтов легкосуглинистых почв, 132 – из связносупесчаных и 145 – из рыхлосупесчаных и связнопесчаных.

Таблица 1

Объекты исследований

№ разреза	Место заложения разреза	Вид земель	Гранулометрический состав почв	Содержание гумуса, %
2М–04	СПК «Щемыслица» Минского района	пахотные земли	легкосуглинистые	1,49
1М–04				1,90
3М–04				2,40
1Л–00	СПК «Беларусь» Белыничского района			4,02
9–96	СПК «Гродно-Октябрь» Гродненского района	пахотные земли	связносупесчаные	1,47
8М–04	СПК «Авангард» Осиповичского района			1,90
13Л–01	СПК «Богдановский» Воложинского района			2,16
5С–05	ОАО «За Родину» Глубокского района			4,14
7М–00	РСУП «Демехи» Речицкого района	пахотные земли	рыхлосупесчаные и связнопесчаные	1,24
8М–00				1,84
3–03	РУСП «Натальевск» Червенского района			2,30
6С–05	ОАО «За Родину» Глубокского района			4,13

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований (рис. 1–4) показывают, что в каждой из групп по содержанию гумуса наблюдается различие в расположении спектральных кривых и величине коэффициента отражения почв при любых длинах волн (λ = 750 нм, λ = 680 нм, λ = 440–690 нм) в зависимости от гранулометрического состава.

Так, например, спектральные кривые агрогумусовых горизонтов легкосуглинистых разновидностей на всех рисунках располагаются выше, чем связносупесчаных, а последние – выше в сравнении с рыхлосупесчаными.

Величина СКО λ_{750} при содержании гумуса менее 1,50 % равна для легкосуглинистых разновидностей 52,6 %, для связносупесчаных – 47,5 %, а для рыхлосупесчаных – 40,4 % (рис. 1). Аналогичная картина наблюдается и для величины СКО λ_{680} и КО $\lambda_{440–690}$, которая составляет соответственно 48,5 %, 44,3 %, 37,4 % для СКО λ_{680} и 37,3 %, 33,5 %, 29,7 % для КО $\lambda_{440–690}$. Та же закономерность прослеживается и для почв с другим содержанием гумуса (рис. 2, 3, 4). То есть при одинаковом содержании гумуса агродерново-подзолистые легкосуглинистые почвы имеют более высокий спектральный коэффициент отражения при любой из исследованных длин волн в сравнении с почвами более легкого гранулометрического состава.

Этот факт объясняется тем, что увеличение содержания физической глины ведет к возрастанию удельной поверхности, на которой могут закрепляться гумусовые вещества, одинаковое количество гумуса менее плотно покрывает поверхность минеральных частиц, что является одной из причин осветления почв, которое и ведет к увеличению отражательной способности, а это в свою очередь сказывается на величине СКО λ_{750}, СКО λ_{680} и интегральном коэффициенте отражения (КО).

Математическая обработка данных отражательной способности агрогумусовых горизонтов разного гранулометрического состава, с разным содержанием гумуса также показала (табл. 2), что независимо от исследуемой длины волны спектральные коэффициенты отражения λ_{750} и λ_{680} и интегральный коэффициент отражения, рассчитанный по шести длинам волн, различаются в почвах разного гранулометрического состава при одинаковом содержании гумуса. При чем на разных длинах волн величина спектральных коэффициентов отражения всегда больше в легкосуглинистых разновидностях почв, чем в связносупесчаных и рыхлосупесчаных независимо от содержания в них гумуса и составляет в среднем для почв легкосуглинистого гранулометрического состава по λ = 750 нм 48,9 %, по λ = 680 нм – 44,4 % и по λ = 440…690 нм – 35,9 % против 44,3 %, 40,5 %, 33,6 % и 34,8 %, 31,6 %, 27,2 % соответственно для связносупесчаных и рыхлосупесчаных.

Однако если проследить величину изменения спектрального коэффициента отражения в одной группе по содержанию гумуса для разных длин волн в зависимости от гранулометрического состава, то она будет больше при длине волны, равной 750 нм, чем при λ = 680 нм и λ = 440…690 нм. Изменение СКО λ_{750} между легкосуглинистыми и связносупесчаными разновидностями составляет 6 % для первой группы по содержанию гумуса, 4,8 % – для второй, 4,3 % – для третьей и 3,2 % – для четвертой. Эти же изменения СКО λ_{680} соответственно равны 5,4 % – 4,2 %–4,2 %–2,0 % и КО $\lambda_{440–690}$ – 2,5 %–2,0 %–2,6 %–1,7 %.

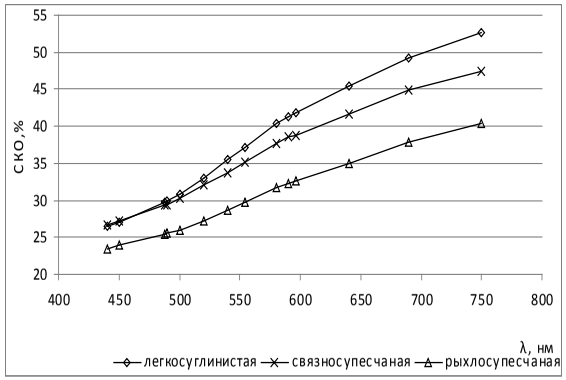


Рис. 1. Кривые спектральной отражательной способности агрогумусовых горизонтов почв с содержанием гумуса <1,5 %

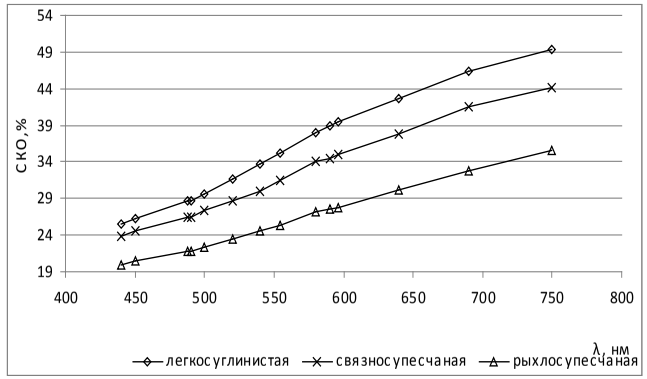


Рис. 2. Кривые спектральной отражательной способности агрогумусовых горизонтов почв с содержанием гумуса 1,51–2,0 %

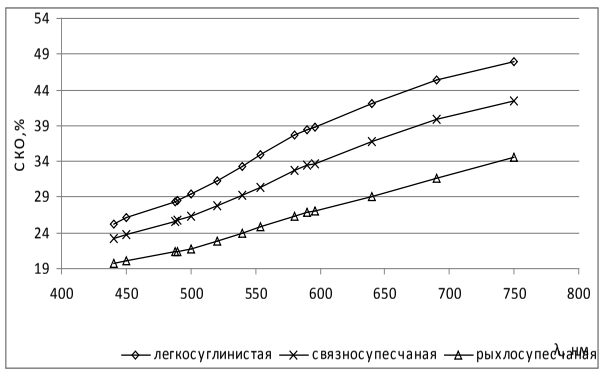


Рис. 3. Кривые спектральной отражательной способности агрогумусовых горизонтов почв с содержанием гумуса 2,01–2,50 %

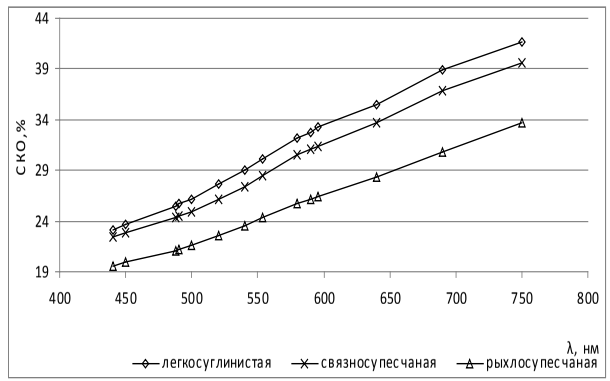


Рис. 4. Кривые спектральной отражательной способности агрогумусовых горизонтов почв с содержанием гумуса ≥2,51 %

Таблица 2

Отражательная способность агрогумусовых горизонтов почв на разных длинах волн (данные математической обработки)

Гранулометрический состав почв	Градации по содержанию гумуса, %					
	≤1,50			1,51–2,00		
	СКО λ_{750}	СКО λ_{680}	КО $\lambda_{440-690}$	СКО λ_{750}	СКО λ_{680}	КО $\lambda_{440-690}$
Легкосуглинистые	53,6 %±0,9* / 6	48,8 %±1,4 / 6	38,5 %±0,7 / 6	50,6 %±1,5 / 16	45,9 %±1,7 / 16	37,0 %±1,2 / 16
Связносупесчаные	47,6 %±0,8 / 15	43,4 %±0,8 / 15	36,0 %±1,2 / 15	45,8 %±2,1 / 41	41,7 %±2,1 / 41	34,8 %±1,5 / 41
Рыхлосупесчаные и связнопесчаные	–	–	–	37,3 %±1,2 / 16	33,9 %±1,3 / 16	28,6 %±1,1 / 16

Гранулометрический состав почв	Градации по содержанию гумуса, %					
	2,01–2,50			≥2,51		
	СКО λ_{750}	СКО λ_{680}	КО $\lambda_{440-690}$	СКО λ_{750}	СКО λ_{680}	КО $\lambda_{440-690}$
Легкосуглинистые	48,0 %±1,8 / 43	43,8 %±1,8 / 43	35,3 %±1,4 / 43	43,4 %±2,6 / 57	39,1 %±2,6 / 57	32,6 %±1,8 / 57
Связносупесчаные	43,7 %±1,3 / 41	39,6 %±1,2 / 41	32,7 %±1,2 / 41	40,2 %±3,1 / 35	37,1 %±2,9 / 35	30,9 %±2,3 / 35
Рыхлосупесчаные и связнопесчаные	35,3 %±2,1 / 54	32,0 %±2,3 / 54	27,7 %±1,5 / 54	31,9 %±1,9 / 75	29,0 %±2,0 / 75	25,3 %±1,5 / 75

Примечание. Числитель – величина спектрального коэффициента отражения; знаменатель – число определений (образцов).

Аналогичная зависимость прослеживается и между связносупесчаными и рыхлосупесчаными разновидностями, изменяясь соответственно по СКО λ_{750} от 8,5 % при содержании гумуса 1,51–2,00 до 8,3 % при содержании гумуса ≥2,51 % против 7,8–8,1 % по СКО λ_{680} и 6,2–5,6 % по КО $\lambda_{440-690}$. То есть спектральный коэффициент отражения при длине волны, равной 750 нм, более четко указывает на зависимость спектральной отражательной способности агрогумусовых горизонтов от их гранулометрического состава при одинаковом содержании гумуса.

Корреляционная зависимость между содержанием гумуса в агродерново-подзолистых почвах и их спектральной отражательной способностью, установленная по всем исследуемым образцам (399) независимо от гранулометрического состава, при длине волны в 750 нм несколько выше (r = –0,55), чем при длине волны в 680 нм (r = –0,52) и КО $\lambda_{440-680}$ (r = –0,53), а в зависимости от гранулометрического состава для легкосуглинистых почв коэффициент корреляционной зависимости r = –0,91 по λ = 750 нм, r = –0,89 по λ = 680 нм и r = –0,84 по λ = 440…690 нм, для связносупесчаных соответственно r = –0,94, –0,81 и –0,79, для рыхлосупесчаных и связнопесчаных – –0,77, –0,69 и –0,70. А если еще учесть и тот факт, что снятие показателя СКО при λ = 750 нм значительно проще и точнее, так как это максимальная длина в видимой области спектра, то следует констатировать, что длина волны 750 нм является более информативной для характеристики спектральной отражательной способности агродерново-подзолистых почв Беларуси разного гранулометрического состава.

ВЫВОДЫ

1. Отражательная способность агродерново-подзолистых почв определяется не только содержанием гумуса, но и их гранулометрическим составом.

2. Независимо от длины исследуемых волн (λ = 750 нм, λ = 680 нм, λ = 440…690 нм) спектральный коэффициент отражения для легкосуглинистых разновидностей всегда выше, чем для почв более легкого гранулометрического состава при одинаковом содержании в них гумуса и колеблется в среднем от 48,9 % по λ = 750 нм в легкосуглинистых почвах до 34,8 % в рыхлосупесчаных, по λ = 680 нм от 44,4 % до 31,6 %, а по λ = 440…690 нм от 35,9 % до 27,2 % соответственно.

3. Длина волны, равная 750 нм, является более информативной для характеристики отражательной способности агродерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава. Коэффициент корреляции между содержанием гумуса и СКО λ_{750} колеблется в зависимости от гранулометрического состава – от r = –0,94 в связносупесчаных разновидностях до r = –0,91 в легкосуглинистых и до r = –0,77 в рыхлосупесчаных и связнопесчаных против r = –0,55 по всем данным независимо от гранулометрического состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов, Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем / Б.В. Виноградов. – М.: Наука, 1984. – 320 с.

2. Карманов, И.И. Спектральная отражательная способность и цвет почв как показатели их свойств / И.И. Карманов. – М.: Колос, 1974. – 351 с.

3. Орлов, Д.С. Спектральная отражательная способность почв и их компонентов / Д.С. Орлов, Н.И. Суханова, М.С. Розанова. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 165 с.

4. Отражательная способность почв морских побережий Дальнего Востока / Н.А. Михайлова [и др.] // Почвоведение. – 1999. – №3. – С. 342–348.

5. Костенко, И.В. Изучение оптических свойств образцов дерново-степных песчаных почв юга Украины при помощи сканера / И.В. Костенко // Почвоведение. – 2009. – № 9. – С.1090–1098.

6. Bowers, S.A. Reflection of radiant energy from soils / S.A. Bowers, R.J. Hanks // Soil. Sci. – 1965. – Vol. 100, № 2. – P. 130–138.

7. Спектральная отражательная способность агрогумусовых горизонтов агродерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава / Г.С. Цытрон [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – № 1(42). – 2009. – С. 15–21.

8. Караванова, Е.И. Оптические свойства почв и их природа / Е.И. Караванова. – М.: Изд-во МГУ, 2003. – 187 с.

9. Орлов, Д.С. Количественные закономерности отражения света почвами: IV варьирование показателей и влияние гумусовых веществ / Д.С. Орлов // Биол. науки. – 1969. – № 8. – С. 131–134.

IMPACT TEXTURE ON THE SPECTRAL REFLECTIVITY OF AGRO-SOD-PODZOLIC SOILS

S.V. Drobysh, T.V. Bubnova, O.V. Matychenkova

Summary

The results of the agro-sod-podzolic soils spectral reflectivity studies of different texture with the same content of humus, determined at different wavelengths. It is established that the wavelength of 750 nm is the most informative features for the reflectivity as the function of soils texture.

Поступила 12.04.13

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631. 8.022.3: 631.445.2

ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТОВ И ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

В.В. Лапа, Н.Н. Ивахненко
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Сохранение и воспроизводство плодородия пахотных почв является задачей исключительной важности. Особую значимость это приобретает в современных условиях ведения сельского хозяйства при дефиците удобрений и их высокой стоимости.

Применение минеральных и органических удобрений, наряду с воздействием на общий уровень урожайности сельскохозяйственных культур, является наиболее существенным фактором, способствующим сохранению и повышению плодородия почв. В условиях дерново-подзолистых супесчаных почв Республики Беларусь урожайность сельскохозяйственных культур в значительной степени определяется плодородием почв и применением удобрений. При нынешнем уровне плодородия почв в республике за счет минеральных и органических удобрений формируется около 45 % урожайности сельскохозяйственных культур.

В настоящее время основным требованием к системе удобрения сельскохозяйственных культур должно быть повышение окупаемости минеральных удобрений, снижение энергетических затрат на их применение и эффективное использование достигнутого потенциала плодородия почв.

Система удобрения в севообороте основывается на нескольких показателях эффективности: агрономическом, когда требуется получить максимальную продуктивность сельскохозяйственных культур и окупаемость применяемых удобрений; экономическом, в основу которого положен принцип наибольшей рентабельности и чистого дохода от применения удобрений; экологическом, предусматривающем сохранение необходимых экологических нормативов и т. д. Однако любая система удобрения должна быть направлена на сохранение, а при необходимости и на повышение плодородия почвы, что не всегда соответствует остальным показателям эффективности, в первую очередь агроэкономическим.

При этом оценить правильность систем удобрения можно только в условиях их длительного применения в севооборотах. Уровень применения удобрений в севооборотах, обеспечивающий их максимальную продуктивность и благоприятный

баланс элементов питания, может быть важным нормативным материалом при разработке мероприятий по сохранению или повышению плодородия почвы [1–5].

Цель исследования – разработать агрохимическую модель формирования высокой урожайности сельскохозяйственных культур, обеспечивающую рациональное использование почвенных запасов элементов питания, окупаемость 1 кг NPK 8–10 к.ед., получение растениеводческой продукции, сбалансированной по основным макро– и микроэлементам в соответствии с нормативными требованиями.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 1995–2010 гг. в РУП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района Минской области в длительном стационарном полевом опыте на дерново-подзолистой супесчаной, подстилаемой с глубины 0,3–0,5 м песком почве, хорошо обеспеченной фосфором и калием, изучали эффективность доз азотных удобрений на фоне фосфорных и калийных в расчете на дефицитный, поддерживающий и положительный балансы. Опыт заложен в 1986 г., до 1995 г. прошло 2 ротации зерно-пропашного севооборота. Опыт развернут в пространстве в 3-х полях. Чередование культур в севооборотах: 1995–2000 гг., 3-я ротация зерно-пропашного севооборота – картофель Орбита – ячмень Сябра – озимая рожь Верасень – овес Дукат; 1999–2005 гг., 4-ротация зерно-травяно-пропашного севооборота – картофель Скарб – ячмень Дзівосны – озимая рожь Ігуменская с подсевом клевера лугового – клевер луговой Слуцкий ранний – озимая тритикале Міхась; 2005–2010 гг., 5-я ротация зерно-травяного севооборота горохо-овсяная смесь – ячмень Гонар – озимая рожь Зарніца с подсевом клевера лугового – клевер луговой Устойлівы – озимая тритикале Вольтарио.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя перед началом 3-й ротации севооборота: pH_{KCl} 6,1–6,3, гидролитическая кислотность – 1,58–1,92 смоль (+)/кг почвы, сумма обменных оснований – 9,10–9,52 смоль (+)/кг почвы, обменные кальций – 4,4–4,8 и магний – 1,3–1,6 смоль (+)/кг почвы; содержание подвижных P_2O_5 – 190–268, K_2O – 153–244 мг/кг почвы; гумуса – 2,78–2,99 %.

Под картофель осенью 1994, 1995 и 1996 гг. внесен соломистый навоз крупного рогатого скота (НКРС) из расчета 70 т/га с содержанием N – 0,36 %, P_2O_5 – 0,18 и K_2O – 0,33 %; осенью 1998, 1999 и 2000 гг. внесено 60 т/га соломистого навоза крупного рогатого скота (НКРС) с содержанием азота – 0,47 %, фосфора – 0,23 и калия – 0,45 %; под горохо-овсяную смесь осенью 2003, 2004 и 2005 гг. внесено 40 т/га соломистого навоза КРС с содержанием N – 0,50 %, P_2O_5 – 0,27 и K_2O – 0,35 %. Химический анализ подстилочного навоза КРС выполнен в соответствии с государственными отраслевыми стандартами: определение влаги и сухого остатка – по ГОСТ 26713– 85, золы – по ГОСТ 26714– 85, общего азота – по ГОСТ 26715–85, общего фосфора – по ГОСТ 26717– 85, общего калия – по ГОСТ 26718–85.

Минеральные удобрения (аммиачную селитру, простой аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) вносили под предпосадочную и предпосевную культивацию согласно схеме опыта на фоне действия и последействия навоза КРС (табл. 1).

Таблица 1

Схема опыта и распределение удобрений по 3 севооборотам на дерново-подзолистой супесчаной почве (1995–2010 гг.)

Сумма NPK за ротации севооборотов, кг/га			Сумма NPK за 3 севооборота	В среднем за год, кг д.в./га
3-я ротация, зерно-пропашной севооборот	4-я ротация, зерно-травяно пропашной севооборот	5-я ротация, зерно-травяной севооборот		
Контроль без удобрений				
70 т/га НКРС – фон	60 т /га НКРС – фон	40 т/га НКРС – фон	170 т/га НКРС – фон	12,1 т/га – фон
N300P280	N300P350	N300P350	N900P980	N64P70
N300K510	N300K630	N300K600	N900K1740	N64K124
P280K510	P350K630	P350K600	P980K1740	P70K124
N180P280K510	N180P350K630	N180P350K600	N540P980K1740	N39P70K124
N300P280K510	N300P350K630	N300P350K600	N900P980K1740	N64P70K124
N420P280K510	N420P350K630	N420P350K600	N1260P980K1740	N90P70K124
P160K360	P200K440	P200K400	P560K1200	P40K86
N180P160K360	N180P200K440	N180P200K400	N540P560K1200	N39P40K86
N300P160K360	N300P200K440	N300P200K400	N900P560K1200	N64P40K86
N420P160K360	N420P200K440	N420P200K400	N1260P560K1200	N90P40K86
P80K180	P100K220	P100K200	P280K600	P20K43
N180P80K180	N180P100K220	N180P100K200	N540P280K600	N39P20K43
N300P80K180	N300P100K220	N300P100K200	N900P280K600	N64P20K43

Общая площадь делянки – 45 м^2 (9 м х 5 м), учетная для зерновых – 32 м^2 (8 м х 4 м), для пропашных – 22,4 м^2 (8 м х 2,8 м), повторность – четырехкратная.

Предпосадочную и предпосевную обработку почвы и уход за растениями осуществляли по общепринятым технологиям и в соответствии с отраслевыми регламентами [6]. В опыте применяли интегрированную систему защиты растений от сорняков, болезней и вредителей.

Анализ почвенных и растительных образцов проводили в соответствии с общепринятыми методиками: гидролитическую кислотность – по Каппену, сумму обменных оснований – по Каппену-Гильковицу, фосфор и калий в почве – по методу Кирсанова, обменные кальций и магний – по методу ЦИНАО на атомно-абсорбционном спектрофотометре (ГОСТ 26570–95, ГОСТ 305–97), гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО; в растительных образцах после мокрого озоления проб в смеси серной кислоты и пероксида водорода азот и фосфор определяли фотоколориметрическим индофенольным и ванадо-молибдатным методами (ГОСТ 26657–85), калий – методом пламенной фотометрии (ГОСТ 30504–97). Химический анализ навоза крупного рогатого скота (НКРС) выполнен в соответствии с Государсвенными отраслевыми стандартами; определение влаги и сухого

остатка по ГОСТ 26713–85, золы – по ГОСТ 26714–85, органического вещества – по ГОСТ 27980–88, общего азота – по ГОСТ 26715–85, общего фосфора – по ГОСТ 26717–85, общего калия – по ГОСТ 26718–85. Математическая обработка экспериментального материала проведена дисперсионным методом с использованием программы MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Продуктивность отдельных севооборотов и урожайность сельскохозяйственных культур в них рассмотрены в работах [7–9].

Органо-минеральная система удобрения, предусматривающая внесение N45–105P20–70K45–127,5 на фоне 17,5 т/га соломистого навоза КРС, обеспечила продуктивность зерно-пропашного севооборота на уровне 54–62 ц к.ед. /га. Максимальная продуктивность севооборота на уровне 61,4–62,0 ц к.ед./га получена при внесении N75+30P40,70K90,127,5 на фоне 17,5 т/га навоза КРС. При применении органической системы удобрения продуктивность была ниже на 20,5 21,1 ц к.ед./га. При внесении парных комбинаций N75P70, N75K127,5 и P70K127,5 на фоне 17,5 т/га навоза КРС недобор продуктивности севооборота составил 4,7– 5,3 ц к.ед./га, 5,2– 5,8 ц к.ед./га и 10,5–11,1 ц к.ед./га соответственно по отношению к системе удобрения с N75+30P40,70K90,127,5 на фоне 17,5 т/га. При отсутствии в системе удобрения азотных удобрений, при внесении P20–70K45–127,5 недобор продуктивности севооборота составил 10,5–11,1 ц к.ед./га – 14,2–14,8 и 15,5–16,1ц к.ед./га (табл. 2).

Продуктивность зерно-травяно-пропашного севооборота при применении органо-минеральной системы удобрения, предусматривающей среднегодовое внесение N36,60,84P20,40,70K44,88,126 на фоне 12 т/га навоза КРС, формировалась на уровне 77–88 ц к.ед./га. Максимальная продуктивность севооборота 87,5 и 87,7 ц к.ед./га получена при внесении N60+24P40K88 и N60+24P70K126 на фоне 12,0 т/га навоза КРС. При применении органической системы удобрения недобор продуктивности составил 23,1–23,3 ц к.ед./га. При внесении парных комбинаций N60P70, N60K126 и P70K126 на фоне 12,0 т/га навоза КРС недобор продуктивности севооборота составил 4,7–5,3 ц к.ед./га, 5,2–5,8 ц к.ед./га и 10,5–11,1 ц к.ед./га соответственно по отношению к системе удобрения, включающей N60 + 24P40,70K88,126 на фоне 12,0 т/га навоза КРС. В варианте без удобрений получена среднегодовая продуктивность 56,7 ц к.ед./га. Недобор кормовых единиц по сравнению с полной дозой N36,60,84P20,40,70K44,88,126 на фоне 12 т/га НКРС составил 19,9–31,0 ц к.ед./га. Применение парных комбинаций P20,40,70 K44,88,126 на фоне 12 т/га НКРС способствовало формированию продуктивности севооборота на уровне 70,6–74,7 ц к.ед./га (табл. 2).

Продуктивность зерно-травяного севооборота формировалась на уровне 85–96 ц к.ед./га при применении органо-минеральной системы удобрения, предусматривающей среднегодовое внесение N36,60,84P20,40,70K40,80,120 на фоне 8 т/га навоза КРС. Максимальная продуктивность севооборота 95,5 и 95,9 ц к.ед./га получена при внесении N60 + 24P40K80 и N60 + 24P70K120 на фоне 8,0 т/га навоза КРС. При применении органической системы удобрения недобор продуктивности составил 25,3–25,7 ц к.ед./га. При внесении парных

комбинаций N60P70, N60K120 и P70K120 на фоне 8 т/га навоза КРС недобор продуктивности севооборота составил 5,4–5,8 ц к.ед./га, 8,4–8,8 ц к.ед./га и 13,8–14,2 ц к.ед./га соответственно по отношению к системе удобрения, включающей N60+24P40,70K80,120 на фоне 8 т/га. В варианте без удобрений получена среднегодовая продуктивность 60,5 ц к.ед./га. Недобор кормовых единиц по сравнению с полной дозой N36,60,84P20,40,70K40,80,120 на фоне 8 т/га навоза КРС составил 25,1–35,4 ц/га. Применение парных комбинаций P20,40,70K40,80,120 на фоне 8 т/га НКРС способствовало формированию продуктивности севооборота на уровне 76,0–81,7 ц к.ед./га, прибавка составила 5,8–11,5 ц к.ед./га (табл. 2).

Таблица 2

Продуктивность зерно-пропашного, зерно-травяно-пропашного и зерно-травяного севооборотов при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве (1995–2010 гг.)

Среднегодовой уровень применения удобрений, кг д.в./га	Среднегодовая продуктивность севооборотов, ц к.ед./га				Прибавка, ц к.ед./га от		Окупаемость 1 кг д.в. удобрений, к.ед.	
	1	2	3	среднее	NPK	N	NPK	N
1. Без удобрений	34,0	56,7	60,5	50,4	–	–	–	–
2. Навоз КРС 12,1 т/га (фон)	40,9	64,4	70,2	58,5	–	–	–	–
3. Фон + N64P70	56,7	81,7	90,1	76,2	17,7	–	13,2	–
4. Фон + N64K124	56,2	83,4	87,1	75,6	17,1	–	9,0	–
5. Фон + P70K124	50,9	74,7	81,7	69,1	10,6	–	5,4	–
6. Фон +N39P70K124	56,9	81,8	93,1	77,3	18,8	8,2	8,0	21,0
7. Фон + N64P70K124	60,4	83,1	93,9	79,1	20,6	10,0	7,9	15,6
8. Фон + N90*P70K124	**62,0**	**87,7**	**95,5**	**81,7**	23,2	12,6	8,1	14,0
9. Фон + P40 K86	47,2	72,7	80,4	66,8	8,3	–	6,4	–
10. Фон +N39P40K86	57,2	78,8	91,1	75,7	17,2	8,9	10,2	22,8
11.Фон + N64P40K86	56,8	83,0	93,1	77,6	19,1	10,8	9,9	16,9
12. Фон + N90*P40K86	**61,4**	**87,5**	**95,9**	**81,6**	23,1	14,8	10,5	16,4
13.Фон + P20K43	45,9	70,6	76,0	64,2	5,7	–	8,9	–
14. Фон + N39P20K43	54,4	76,6	85,4	72,1	13,6	7,9	13,2	20,2
15.Фон + N64P20K43	56,2	79,7	89,2	75,0	16,5	10,8	12,9	16,9
$НСР_{05}$	1,9	1,4	1,2	0,86				

Примечание. Дробное внесение азотных удобрений в 2 или 3 срока. То же в табл. 4. В графе 1 – зерно-пропашной, 2 – зерно-травяно-пропашной, 3 – зерно-травяной севооборот. То же в табл. 3.

Более высокая среднегодовая продуктивность сельскохозяйственных культур в зерно-травяном севообороте была обусловлена высокой урожайностью зеленой массы горохо-овсяной смеси и кле-вера лугового, зерна озимой ржи (диплоидный сорт) и озимой тритикале и их отзывчивостью на внесенные минеральные удобрения. Среднегодовая продуктивность в варианте без внесения удобрений в зерно-травяном севообороте за счет новых сортов и культур на 78 % превысила среднегодовую продуктивность в 3-й ротации зерно-пропашного севооборота (табл. 2).

Результаты исследований показали, что максимальная среднегодовая продуктивность 3-х сево-оборотов – 81,6 и 81,7ц к.ед./га – получена при применении среднегодовой дозы N90P40K86 и N90P70K124 на фоне органических удобрений 12 т/га, при этом 23,1 и 23,2 ц к.ед./га формиро¬валось за счет NPK, окупаемость 1 кг д.в. NPK составила 10,5 и 8,1 к.ед., в том числе 1 кг азота 16,4 и 14,0 к.ед. соответственно (табл. 2). Органические удобрения повысили среднегодовую продуктив-ность изучаемых севооборотов на 8,1 ц к.ед./га (6,9–9,7 ц к.ед./га в севооборотах). При применении парной комбинации фосфорных и калийных удобрений (P20,40,70K43,86,124) среднегодовая продук-тивность повысилась на 5,7–10,6 ц к.ед./га (5,0–11,5 ц к.ед./га в севооборотах), при оплате 1 кг PK 5,4–8,9 к.ед. Внесение парных комбинаций N64P70 и N64K124 обеспечило прибавку среднегодовой продуктивности севооборотов на 17,7 и 17,1 ц к.ед./га соответственно, что значительно превысило эффективность со¬вместного применения фосфорных и калийных удобрений P20,40,70K43,86,124. Окупаемость 1 кг NP и NK составила 13,2 и 9,0 к.ед.

Продуктивность севооборотов при среднегодовом внесении разных доз азотных удобрений увеличилась в следующих пределах: при применении N39 – на 7,9–8,9 ц к.ед./га (6,0–11,4 ц к.ед./га в севооборотах), N64 – на 10,0–10,8 ц к.ед./га (8,4–13,2 ц к.ед./га в севооборотах), N90 – на 12,6–14,8 ц к.ед./га (11,1–15,5 ц к.ед./га в севооборотах). Фосфорные удобрения увеличили среднегодовую продуктивность севооборотов на 6,8 ц к.ед./га, калийные – на 3,8 ц к.ед./га (табл. 2).

Анализируя роль факторов в формировании среднегодовой (81,6 ц к.е./га) продуктивности севооборотов на дерново-подзолистой супесчаной почве при среднегодовом применении N90P40K86 на фоне органических удобрений (навоза КРС) 12 т/га, следует отметить, что плодородие почвы имело основное значение в формировании продуктивности сельскохозяйственных культур – 61,8 % (55,4 % в 3-й ротации зерно-пропашного севооборота, 64,8 % в зерно-травяно-пропашном и 63,1 % в зерно-травяном). Внесение азотных удобрений обеспечило 18,1 % (от 16,2 % в 5-й ротации до 23,1 % в 3-й ротации). Высока роль органических удобрений в зерно-пропашном севообороте – 11,2 %, в 4-й и 5-й ротациях – 8,8 и 10,1 %, в среднем за 3 ротации – 9,9 %. Роль фосфорных и калийных удобрений в формировании продуктивности севооборотов в 3-й и 5-й ротациях была одинаковой – 10,3 10,6 %. В среднем за 3 ротации их доля составила 10,2 % (табл. 3).

Таблица 3

Участие исследованных факторов в формировании продуктивности севооборотов (1995–2010 гг.)

Факторы	Севообороты							
	1-й, 1995–2000 гг.		2-й, 1999–2005 гг.		3-й, 2004–2010 гг.		в среднем за 3 севооборота	
	Доля участия факторов в формировании продуктивности севооборотов							
	ц к.ед./га	%	ц к.ед./га	%	ц к.ед./га	%	ц к.ед./га	%
Почва	34,0	55,4	56,7	64,8	60,5	63,1	50,4	61,8
Органические удобрения	6,9	11,2	7,7	8,8	9,7	10,1	8,1	9,9
РК-удобрения	6,3	10,3	8,3	9,5	10,2	10,6	8,3	10,2
N-удобрения	14,2	23,1	14,8	16,9	15,5	16,2	14,8	18,1
Продуктивность	61,4	100	87,5	100	95,9	100	81,6	100

В соответствии с методикой [10] был рассчитан среднегодовой баланс элементов питания за 3 ротации севооборота. В приходную статью включены: поступление азота, фосфора и калия с органическими (N53,1P26,9K46,6) и минеральными удобрениями, осадками и семенами (N12,4P1,8K11,8); среднегодовая фиксация азота (15,0 кг/га) свободноживущими микроорганизмами и среднегодовая симбиотическая фиксация азота клевером (0,35 кг/ц зеленой массы) и горохо-овсяной смесью (0,20 кг/ц зеленой массы). В статью расхода включены: вынос элементов питания сельскохозяйственными культурами; газообразные потери азота, которые в среднем составили 25 % от общего количества, внесенного с минеральными и органическими удобрениями; вынос с инфильтрационными водами (N20K26).

Баланс азота был отрицательным в вариантах без удобрений и фоновом (среднегодовое внесение навоза КРС 12 т/га), а также при внесении парных комбинаций P20,40,70K43,86,124, т. е. в вариантах без внесения азотных удобрений.

Баланс фосфора был отрицательным в вариантах без удобрений (–38,6 кг/га), без минеральных удобрений (–18,5 кг/га), при последействии фосфорных удобрений при внесении парной комбинации N64K124 (–32,2 кг/га) и при внесении фосфорных удобрений в расчете на дефицитный баланс в дозе P20 (–3,0... –11,7 кг/га) (табл. 4).

Таблица 4

Среднегодовой баланс элементов питания за 3 севооборота в дерново-подзолистой супесчаной почве

Вариант	Азот		Фосфор		Калий	
	баланс, ± кг/га	ИБ*, %	баланс, ± кг/га	ИБ, %	баланс, ± кг/га	ИБ, %
1. Без удобрений	–35,5	62	–38,6	4	–93,3	11
2. Фон –12 т/га навоз КРС	–4,4	96	–18,5	61	–69,7	46
3.Фон + N64P70	11,4	107	37,4	161	–95,4	38
4. Фон + N64K124	13,9	109	–32,2	47	7,5	104
5. Фон + P70K124	–5,2	89	43,0	178	20,9	113
6. Фон +N39P70K124	–4,6	97	36,5	159	0,2	100
7. Фон + N64P70K124	12,2	107	35,0	155	–1,7	99
8. Фон + N90*P70K124	17,7	110	32,9	150	–9,4	95
9. Фон + P40 K86	–13,5	90	14,9	128	–10,9	93
10. Фон + N39P40K86	1,8	101	7,7	113	–23,9	86
11.Фон + N64P40K86	11,0	107	6,2	110	–32,2	82
12. Фон + N90*P40K86	21,4	112	3,0	105	–37,4	80
13.Фон + P20K43	–10,8	92	–3,0	94	–43,1	70
14. Фон + N39P20K43	5,4	104	–9,4	84	–56,3	65
15.Фон + N64P20K43	14,9	109	–11,7	81	–62,3	62

Примечание. ИБ – интенсивность баланса.

Баланс калия был положительным только при среднегодовом внесении К124 в парных комбинациях с азотными (N64K124) и фосфорными (P70K124) удобрениями, а также при полной дозе N90P70K124 на фоне навоза КРС 12 т/га.

При среднегодовом применении N90P40K86 на фоне навоза КРС 12 т/га баланс азота и фосфора был положительным – 21,4 и 3,0 кг/га соответственно, калия – отрицательным (–37,4 кг/га). При внесении N90 на фоне P70K124 баланс азота и фосфора был положительным и составил 17,7 и 32,9 кг/га при интенсивности баланса 110 и150 % соответственно, баланс калия – отрицательным (–9,4 кг/га).

Таблица 5

Изменение агрохимических показателей пахотного слоя дерново-подзолистой супесчаной почвы при возделывании зерно-пропашного, зерно-травяно-пропашного и зерно-травяного севооборотов 1995–2010 гг.

Вариант	pH_{KCl}					P_2O_5, мг/кг					K_2O, мг/кг					Гумус, %				
	1994–1996 гг.	1998–2000 гг.	2003–2005 гг.	2008–2010 гг.	I+	1994–1996 гг.	1998–2000 гг.	2003–2005 гг.	2008–2010 гг.	I+	1994–1996 гг.	1998–2000 гг.	2003–2005 гг.	2008–2010 гг.	I+	1994–1996 гг.	1998–2000 гг.	2003–2005 гг.	2008–2010 гг.	I+
1. Без удобрений	6,18	6,13	5,82	5,66	0,52	190	181	168	136	-54	153	133	110	71	-82	2,93	2,84	2,60	2,63	-0,3
2.12,1 т/га – фон	6,21	6,22	5,87	5,72	-0,49	194	200	185	154	-40	169	158	125	92	-77	2,79	2,94	2,79	2,76	-0,03
3. N64 P70	6,14	6,16	5,78	5,55	-0,59	215	245	256	226	11	162	145	114	74	-88	2,78	3,14	2,83	2,81	0,03
4. N64 K124	6,13	6,17	5,84	5,65	-0,48	197	203	187	158	-39	201	225	247	220	19	2,97	3,16	3,02	2,90	-0,07
5. P70K124	6,29	6,23	5,86	5,67	-0,62	238	268	270	257	19	230	275	275	238	8	2,89	3,12	2,90	2,85	-0,04
6. N39P70K124	6,24	6,17	5,81	5,54	-0,70	235	263	275	264	29	200	239	246	213	13	2,91	3,08	2,94	2,83	-0,08
7. N64P70K124	6,19	6,13	5,78	5,47	-0,72	238	276	285	258	20	218	233	239	202	-16	2,86	3,09	2,87	2,86	0
8. N90P70K124	6,15	6,07	5,72	5,38	-0,77	264	281	281	264	0	226	235	238	202	- 24	2,90	3,09	2,91	2,90	0
9. P40 K86	6,17	6,16	5,82	5,62	-0,55	241	270	277	250	9	206	238	246	216	10	2,92	3,12	2,99	2,89	-0,03
10. N39P40K86	6,06	6,11	5,77	5,57	-0,53	252	260	255	245	-7	244	234	226	188	-56	2,97	3,37	2,98	2,90	-0,07
11.N64P40K86	6,05	6,14	5,76	5,50	-0,50	268	270	260	235	-33	232	222	206	154	-78	2,90	3,35	2,91	2,89	-0,01
12. N90P40K86	6,10	6,10	5,75	5,42	-0,68	238	257	240	222	-16	202	213	192	148	- 54	2,89	3,25	2,89	2,91	0,02

Окончание табл. 5

Вариант	pH_{KCl}				P_2O_5, мг/кг				K_2O, мг/кг				Гумус, %			
	1994–1996 гг.	1998–2000 гг.	2003–2005 гг.	2008–2010 гг.	1994–1996 гг.	1998–2000 гг.	2003–2005 гг.	2008–2010 гг.	1994–1996 гг.	1998–2000 гг.	2003–2005 гг.	2008–2010 гг.	1994–1996 гг.	1998–2000 гг.	2003–2005 гг.	2008–2010 гг.
13. P20K43	6,12	6,21	5,80	5,69	246	259	237	214	220	224	197	161	2,84	3,17	2,88	2,85
14. N39P20K43	6,05	6,14	5,81	5,62	232	241	221	199	192	203	162	133	2,99	3,26	3,00	2,98
15.N64P20K43	6,05	6,14	5,84	5,59	248	249	217	187	210	172	146	109	2,80	3,27	2,81	2,90
НСР	0,08	0,09	0,14	0,15		26	24	25	46		22	19	18	32		0,35	0,32	0,31	0,48
	I+				I+				I+				I+			
	-0,41				-32				- 59				0,01			
	-0,38				-33				- 59				-0,01			
	-0,41				-61				-101				0,1			

Степень и направленность изменений агрохимических показателей почв при систематическом применении минеральных и органических удобрений определяются типом севооборота, уровнем продуктивности возделываемых культур, системой применения удобрений и т. д.

За ротацию зерно-пропашного севооборота при внесении органических удобрений 17,5 т/га и на их фоне минеральных обменная кислотность почвенной среды, содержание гумуса и фосфора сохранились на первоначальном уровне – pH_{KCl} 6,1–6,2, гумус – 2,84–3,37 %, фосфор – 181–281 мг/кг почвы или имели тенденцию к накоплению. Содержание подвижного калия в пахотном слое достоверно снизилось в варианте без удобрений и при внесении N75P20K45 на фоне органических удобрений 17,5 т/га. При применении P20,40,70K45,90,127,5 и на их фоне азотных удобрений содержание калия изменялось в пределах ошибки опыта или достоверно увеличилось (табл. 5).

За ротацию зерно-травяно-пропашного севооборота при внесении органических удобрений 12 т/га и на их фоне минеральных обменная кислотность почвенной среды достоверно увеличилась на 0,32–0,40 ед. до pH_{KCl} 5,72–5,87 за счет большого выноса кальция и магния клевером луговым. Содержание подвижного фосфора достоверно снизилось при применении N60P20K44 на фоне органических удобрений 12 т/га. В остальных вариантах содержание фосфора изменялось в пределах ошибки опыта с тенденцией к снижению при внесении N36,60,84P40,20K88,44 на фоне органических удобрений 12 т/га. Содержание подвижного калия в вариантах без удобрений, без минеральных удобрений и при внесении на фоне органических удобрений N60P70, N84P40K88 и N30,60P20K44 достоверно снизилось за счет высокого выноса калия клевером луговым. Несмотря на высокую урожайность клевера лугового (538–619 ц/га) и накопление им в почве биологического азота, содержание гумуса в пахотном слое изменялось в пределах ошибки опыта с тенденцией к снижению или достоверно снизилось при внесении N36,60,84P40K88 и N36,60P20K44.

За ротацию зерно-травяного севооборота при внесении органических удобрений 8 т/га и на их фоне минеральных обменная кислотность почвенной среды достоверно увеличилась на 0,15–0,34 ед. до pH_{KCl} 5,38–5,72 за счет выноса кальция и магния горохо-овсяной смесью и клевером луговым. Содержание подвижных фосфора и калия во всех вариантах имело тенденцию к снижению или достоверно снизилось на 10–32 мг/кг и 27–52 мг/кг почвы за счет высокой продуктивности севооборота на уровне 60,5–95,9 ц к.ед./га и большого выноса элементов питания сельскохозяйственными культурами, особенно горохо-овсяной смесью и клевером луговым. Содержание гумуса в пахотном слое изменялось в пределах ошибки опыта.

Неодинаковые темпы изменений обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия в севооборотах объясняются в первую очередь величиной продуктивности сельскохозяйственных культур, их сортовыми и видовыми различиями, что влияло на вынос элементов питания, а также количеством внесенных в ротациях органических удобрений.

Установлено, что при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве 3-х (зерно-пропашного, зерно-травяно-пропашного и зерно-травяного) севооборотов (1994–2010 гг.) в варианте без удобрений при среднегодовой

продуктивности 50,4 ц к.ед./га содержание гумуса снизилось на 0,30 %, подвижного фосфора – на 54 мг/кг почвы (3,8 мг/кг ежегодно) и калия – на 82 мг/кг (5,9 мг/кг ежегодно); кислотность почвенной среды пахотного слоя увеличилась на 0,54 ед.

Среднегодовое применение органических удобрений (навоз КРС) 12 т/га обеспечило сохранение содержания гумуса на первоначальном уровне, а содержание подвижных фосфора и калия при этом снизилось на 40 мг/кг и 77 мг/кг почвы соответственно. Обменная кислотность почвенной среды повысилась во всех вариантах на 0,38–0,82 ед. При увеличении доз азотных удобрений кислотность пахотного слоя увеличилась, а содержание подвижных фосфора и калия уменьшилось. В варианте с оптимальной в опыте продуктивностью 81,6 ц к.ед./га при среднегодовом внесении N90P40K86 на фоне органических удобрений 12 т/га почвенная кислотность повысилась на 0,68 ед., содержание подвижных фосфора и калия снизилось на 16 мг/кг и 54 мг/кг почвы соответственно.

ВЫВОДЫ

1. При возделывании зерно-пропашного, зерно-травяно-пропашного и зерно-травяного севооборотов на дерново-подзолистой супесчаной почве наиболее эффективной являлась органо-минеральная система удобрения, которая предусматривала внесение K90P40K86 на фоне среднегодового применения органических удобрений 12 т/га. Данная система удобрения обеспечила среднегодовую продуктивность севооборотов 81,6 ц к.ед./га при окупаемости минеральных удобрений 10,5 к.ед. и способствовала поддержанию бездефицитного баланса гумуса. Однако дозы минеральных удобрений были недостаточны для поддержания почвенного плодородия: кислотность пахотного слоя повысилась на 0,68 ед., содержание подвижных фосфора и калия снизилось на 16 и 54 мг/кг почвы соответственно.

2. При среднегодовом применении минеральных удобрений N90P70K124 на фоне 12 т/га органических удобрений сформировалась среднегодовая продуктивность севооборотов 81,7 ц к.ед./га при окупаемости 1 кг NPK 8,1 кг к.ед. Данная система удобрения обеспечила бездефицитные балансы гумуса и подвижного фосфора. Содержание подвижного калия снизилось на 24 мг/кг почвы, кислотность почвенного раствора увеличилась на 24 мг/кг почвы.

3. Исключение из системы удобрения сельскохозяйственных культур в севооборотах фосфора или калия приводило к уменьшению среднегодовой продуктивности севооборотов на 2,9–3,5 ц к.ед./га и существенному снижению содержания в почве отсутствующего элемента питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брагин, А.М. Влияние длительного применения различных систем удобрения в севообороте на изменение агрохимических свойств и окультуренность почвы / А.М. Брагин // Эффективность удобрений, урожайность сельскохозяйственных культур и плодородие почв. – Горки: БСХА, 1989. – С. 9–23.

2. Кулаковская, Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т.Н. Кулаковская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 219 с.

3. Лыков, А.М. Воспроизводство плодородия почвы при длительном применении удобрений и севооборота / А.М. Лыков // Повышение плодородия почв и получение запланированных урожаев сельскохозяйственных культур. – М., 1985. – С. 16–22.

4. Минеев, В.Г. Плодородие и биологическая активность дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений и их последействии / В.Г. Минеев, Н.Ф. Романова, М.Ф. Овчинникова // Агрохимия. – 2004. – № 7. – С. 5–10.

5. Минеев, В.Г. Агрохимия, биология и экология почвы / В.Г. Минеев, Е.Х. Ремпе. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 206 с.

6. Гусаков, В.Г. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов / В.Г. Гусаков // Ин-т аграр. экономики НАН Беларуси. – Минск: Бел. наука, 2005. – 460 с.

7. Лапа, В.В. Продуктивность зернового севооборота и плодородие дерново-подзолистой почвы при различных системах применения удобрений / В.В. Лапа // Агрохимия. – 2003. – № 1. – С. 20–29.

8. Лапа, В.В. Продуктивность зерно-травяно-пропашного севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы при применении различных систем удобрения / В.В. Лапа // Агрохимия. – 2009. – № 6. – С. 22–31.

9. Лапа, В.В. Продуктивность зерно-травяного севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы при применении различных систем / В.В. Лапа // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 1(46). – С. 89–104.

CROP ROTATIONS PRODUCTIVITY AND CHANGE AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOD-PODZOLIC LOAMY SAND SOIL UNDER LONG-TERM FERTILIZATION

V.V. Lapa, N.N. Ivakhnenko

Summary

In a long-term (1995–2010) stationary field experiment on sod-podzolic loamy sand soil in three crop rotations the effect of different levels and correlations of mineral fertilization on the productivity of agricultural crops and dynamics soil agrochemical properties was studied. It was found that the maximum crop productivity (8,2 t f.u./ha) was ensured at the average annual application of N90P40K89 in combination with 12,1 t/ha manure. During the investigated period (14 years), the contents of mobile phosphorus and potassium forms (Kirsanov) decreased in variant with the optimum productivity by 16 and 54 mg/kg soil, respectively, and the soil acidity increased by 0,68 pH units, the content of humus being remained stable.

Поступила 23.04.13

УДК 631.8:633.112.9”324”:631.559

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ, УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОГО ТРИТИКАЛЕ

А.Р. Цыганов[1], Э.М. Батыршаев[2], И.Р. Вильдфлуш[2]
[1]Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь
[2]Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
г. Горки, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе стратегической задачей агропромышленного комплекса Беларуси является обеспечение продовольственной безопасности. Для ее решения важнейшее значение имеет производство в требуемом объеме собственного качественного продовольственного и кормового зерна. Одним из направлений в достижении этой цели является повышение продуктивности сравнительно новой зерновой культуры – озимого тритикале, которое превосходит традиционные для белорусских полей рожь, ячмень и овес как по урожайности, так и по качеству зерна. Поэтому в последние годы посевные площади этой культуры стремительно расширились и к настоящему времени достигли 480 тыс. га. Высокая потенциальная урожайность озимого тритикале, составляющая 10 т/га, пока реализуется не в полной мере (в производственных условиях Беларуси составляет около 3,0–3,5 т/га) [1–3].

Тритикале отличается от других зерновых наименьшим переходом радионуклидов в зерно, что послужило основанием для рекомендаций по расширению посевных площадей этой культуры в районах, загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr [4].

Существенным резервом повышения продуктивности озимого тритикале может быть оптимизация минерального питания путем комплексного применения минеральных макро- и микроудобрений, регуляторов роста и средств химической защиты растений.

В настоящее время разработан ряд новых видов однокомпонентных и многокомпонентных микроудобрений в хелатной и органо-минеральной форме, эффективность которых существенно выше, чем простых солей микроэлементов. Производятся многокомпонентные микроудобрения, эффективность которых в недостаточной мере изучена [5, 6].

Управление ростом и развитием растений при помощи регуляторов роста приобретает актуальное значение в связи с тем, что позволяет существенно повысить стрессоустойчивость растений при неблагоприятных условиях и увеличить урожайность при минимальных затратах. Большой интерес, наряду с природными физиологически активными веществами (ФАВ), представляют синтетические регуляторы роста – аналоги природных фитогормонов, обладающие специфическим спектром физиологической активности, в котором многие свойства фитогормонов

редуцированы, но одновременно их защитное действие усилено. Установлено, что такие регуляторы роста стимулируют биосинтетические процессы и оказывают действие на белок, синтезирующий аппарат листьев, способствуют повышению температурного порога коагуляции белков цитоплазмы, стабилизируют величину листовой поверхности и интенсивность фотосинтеза.

Разработаны комплексные препараты, содержащие в своем составе микроудобрения и регуляторы роста растений [5].

Эффективность применения средств химизации возрастает при использовании их в комплексе, когда каждый компонент создает условия, чтобы другие агрохимические элементы могли проявить свое максимальное действие.

На фоне комплексного применения средств химизации (макро- и микроудобрений, пестицидов и регуляторов роста) растения зерновых культур более полно используют элементы питания (в первую очередь азот) из почвы и удобрений, снижаются затраты на их внесение. В результате у обработанных растений усиливается формирование корневой системы и листового аппарата, повышается интенсивность метаболических процессов. Все это создает условия для формирования высокого урожая зерна с хорошим качеством [5, 7].

Исследования по влиянию совместного применения КАС с пестицидами, регулятором роста рас-тений Эпин и комплексным микроудобрением Витамар–3 на продукционные процессы, урожайность и качество зерна при возделывании озимого тритикале на дерново-подзолистой легкосуглинистой поч-ве проведены впервые в республике, что и определило их новизну и актуальность.

Цель исследований – изучить влияние комплексного применения минеральных удобрений и средств защиты растений на интенсивность продукционных процессов, урожайность и качество зерна озимого тритикале.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние комплексного применения макро- и микроудобрений и средств защиты растений на интенсивность продукционных процессов, урожайность и качество зерна озимого тритикале изучалось на дерново-подзолистой легкосуглинистой, развивающейся на лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины более метра моренным суглинком, почве. Исследования проводили на опытном поле «Тушково» учебно-опытного хозяйства «БГСХА» в 2004–2007 гг. с озимым тритикале сорта Дубрава.

Почва пахотного горизонта опытного участка до закладки опыта по годам исследований характеризовалась близкой к нейтральной реакцией почвенной среды (6,2–6,4), низким и недостаточным содержанием гумуса (1,38–1,83 %), высокой обеспеченностью подвижными соединениями фосфора (296–324 мг/кг почвы), повышенным содержанием подвижного калия (224–225 мг/кг почвы). Обеспеченность почвы подвижными медью и цинком была средней – 1,6–1,7 и 3,7–4,4 мг/кг почвы соответственно.

Предшественник – горохо-овсяная смесь. Общая площадь делянки – 60 м^2, учетная – 39,4 м^2, повторность – четырехкратная.

Посев озимого тритикале был произведен сеялкой RAU Airsem с нормой высева 4,5 млн/га всхожих зерен в оптимальные сроки.

В опытах применялись карбамид (46 % N), КАС (30 % N) (разведение 1:3, объем рабочего раствора – 300 л/га), аммонизированный суперфосфат (8 % N и 30 % P_2O_5) и хлористый калий (60 % K_2O). Внесение минеральных удобрений осуществлялось вручную осенью под предпосевную культивацию. Первую подкормку карбамидом в дозе N_{50} проводили в начале возобновления активной вегетации растений.

В опытах с озимым тритикале комплексное микроудобрение Витамар–3 стимулирующего действия, представляющее собой жидкий концентрат микроэлементов с биологическим стимулятором роста – гидрогуматом, применялось в начале фазы выхода в трубку в дозе 1 л/га. В 1 литре Витамар–3 содержатся следующие компоненты: $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 220 г, H_3BO_3 – 20 г, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ – 20 г, $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ – 120 г, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ – 260 г, $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ – 10 г, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 120 г, соль Мора $(NH_4)_2SO_4 \cdot FeSO_4 \cdot 6H_2O$ – 10 г, гуматы – 50 мл.

Сульфат меди применялся в аналогичные сроки в дозе 150 г/га. Гербицид Линтур вносился в фазу кущения в дозе 135 г/га во всех вариантах, регулятор роста растений Эпин в дозе 20 мг/га и фунгицид Рекс Т в дозах 0,42 и 0,60 л/га – в начале фазы выхода в трубку.

Подкормки КАС, микроудобрениями, а также обработки озимого тритикале гербицидом, фунгицидом и регулятором роста растений проводились согласно схеме опыта ранцевым опрыскивателем.

Агрохимические показатели почвенных и растительных образцов были определены согласно ГОСТам и общепринятым методикам.

В опытах велись фенологические наблюдения, проводилось определение сухой массы растений в фазы начала трубкования, флагового листа, колошения, молочной спелости, полной спелости. Показатели фотосинтетической деятельности посевов (площадь листьев, фотосинтетический потенциал, чистая продуктивность фотосинтеза) определялись по общепринятым методикам.

Учет урожая озимого тритикале проводили сплошным методом.

Полученные данные обработаны дисперсионным и корреляционно-регрессионным методами анализа по Б.А. Доспехову с использованием ПЭВМ.

Отмечена хорошая совместимость КАС с комплексным микроудобрением Витамар–3, сульфатом меди, регулятором роста растений Эпином, фунгицидом Рекс Т, а также Эпина с Рексом Т. При смешивании сульфата меди с КАС и Рексом Т происходило подкисление реакции среды.

Метеорологические условия осени 2004 г. и весенне-летнего периода 2005 г. в целом способствовали нормальному росту и развитию озимого тритикале. Расчет гидротермического коэффициента показал, что в сентябре 2004 г. и июле 2005 г. рост и развитие растений проходили в засушливых условиях, а в мае – июне 2005 г. – в условиях избыточного увлажнения.

Погодные условия осеннего периода 2005 г. и весенне-летнего периода 2006 г. были менее благоприятны для роста и развития озимого тритикале. Сентябрь 2005 г. был сухим (ГТК = 0,2), май 2006 г. – нормально увлажненным (ГТК = 1,5), июнь 2006 г. – избыточно увлажненным (ГТК = 2,0), июль 2006 г. – недостаточно увлажненным (ГТК = 1,2).

Метеоусловия с сентября 2006 г. по август 2007 г. были в некоторой степени аномальными. Данный период характеризовался очень поздней зимой и ранней весной, но несмотря на это в 2007 г. по сравнению с 2006 г. была получена более высокая урожайность зерна хорошего качества.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для разработки ресурсосберегающих технологий применения средств химизации при возделывании озимого тритикале существует необходимость поиска направлений, обеспечивающих оптимальные условия для лучшего использования растением солнечной энергии и протекания процесса фотосинтеза.

По данным РУП «Институт почвоведения и агрохимии», для формирования 1 ц зерна озимых зерновых культур, возделываемых на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, необходимо сформировать площадь листьев в межфазовый период второй узел (последний лист) – колошение в пределах 1 тыс. м^2/га. При меньшей площади листового аппарата процессы фотосинтеза протекают недостаточно активно, что приводит к недобору урожая зерна. Формирование значительно большей площади листьев также не способствует дальнейшему увеличению продуктивности озимых зерновых культур, что связано с активным затенением нижнего яруса листьев и, как следствие, снижением эффективности фотосинтеза. Кроме того, чрезмерное нарастание листового аппарата увеличивает опасность полегания посевов. Для озимого тритикале оптимальным значением фотосинтетического потенциала является 0,52–1,65 млн м^2 × сутки/га [8].

По результатам исследований с зерновыми культурами в Республике Беларусь и других странах, отмечается сильная прямая корреляционная зависимость между урожайностью и площадью листовой поверхности.

При возделывании озимого тритикале на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве динамика нарастания листового аппарата была обусловлена применением в большей степени макроудобрений и в значительной мере – регулятора роста растений Эпин и микроудобрений Витамар–3 и сульфата меди. Как раздельное, так и совместное применение изучаемых средств химизации за 2005–2007 гг. исследований обеспечило интенсивный фотосинтез посевов вплоть до стадии молочной спелости (табл. 1).

Наибольшее значение площади листовой поверхности озимого тритикале в среднем за годы исследований, которое составило 64,2–67,2 тыс. м^2/га, зафиксировано в межфазовый период флаговый лист – колошение в вариантах с применением микроудобрений и Эпина, что и обеспечивало формирование высоких урожаев зерна.

Наименьшая площадь листовой поверхности (31,1 тыс. м^2/га) была отмечена в варианте без удобрений в фазу колошения.

Обработка вегетирующих растений в фазу начала выхода в трубку сульфатом меди приводила к увеличению листовой поверхности на 3,2 тыс. м^2/га по сравнению с фоновым вариантом.

Регулятор роста растений Эпин, применяемый на фоне $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС + Рекс Т, оказал заметное влияние на величину листовой поверхности растений озимого тритикале. Так, под его действием в фазу колошения она увеличилась в среднем за три года на 4,1 тыс. м^2/га.

Препарат Витамар–3, содержащий комплекс микроэлементов и регулятор роста растений, оказывал положительное влияние на динамику формирования листовой поверхности растений озимого тритикале по сравнению с фоном (+ 3,7 тыс. м^2/га).

Таблица 1

Показатели фотосинтетической деятельности озимого тритикале (среднее за 2005 – 2007 гг.)

Вариант	Фаза развития	Показатели		
		Площадь листьев, тыс. м²/га	ФП	ЧПФ
1. Без удобрений + Рекс Т	первый узел – флаговый лист	12,0–27,1	0,20	2,9
	флаговый лист – колошение	27,1–31,1	0,50	2,5
	колошение – молочная спелость	31,1–9,2	0,39	4,4
2. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС + Рекс Т (0,6 л/га) – фон	первый узел – флаговый лист	33,1–56,9	0,45	3,8
	флаговый лист – колошение	56,9–61,7	1,01	4,5
	колошение – молочная спелость	61,7–24,4	0,83	5,4
3. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС с Рексом Т (0,6 л/га)	первый узел – флаговый лист	33,8–58,7	0,46	3,7
	флаговый лист – колошение	58,7–63,8	1,04	4,4
	колошение – молочная спелость	63,8–24,3	0,85	5,5
4. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС с Рексом Т (0,42 л/га)	первый узел – флаговый лист	32,6–58,3	0,45	3,6
	флаговый лист – колошение	58,3–62,9	1,03	4,7
	колошение – молочная спелость	62,9–23,1	0,83	5,6
5. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС + Cu + Рекс Т	первый узел – флаговый лист	33,9–59,0	0,46	4,2
	флаговый лист – колошение	59,0–64,9	1,05	4,7
	колошение – молочная спелость	64,9–24,4	0,86	5,3
6. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС с Cu + Рекс Т	первый узел – флаговый лист	31,8–60,4	0,46	4,3
	флаговый лист – колошение	60,4–65,0	1,07	4,8
	колошение – молочная спелость	65,0–24,3	0,86	5,2
7. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС + Cu с Рексом Т	первый узел – флаговый лист	33,0–60,8	0,47	4,3
	флаговый лист – колошение	60,8–64,2	1,06	4,7
	колошение – молочная спелость	64,2–24,7	0,86	5,3
8. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС + Витамар–З + Рекс Т	первый узел – флаговый лист	31,8–61,8	0,47	4,9
	флаговый лист – колошение	61,8–65,4	1,08	4,9
	колошение – молочная спелость	65,4–25,1	0,88	5,2
9. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС с Витамаром–З + Рекс Т	первый узел – флаговый лист	32,5–62,1	0,47	4,6
	флаговый лист – колошение	62,1–66,8	1,10	5,0
	колошение – молочная спелость	66,8–24,8	0,89	5,2
10. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС + Эпин + Рекс Т	первый узел – флаговый лист	33,2–61,5	0,47	4,5
	флаговый лист – колошение	61,5–65,8	1,08	4,7
	колошение – молочная спелость	65,8–24,8	0,88	5,6

Окончание табл. 1

Вариант	Фаза развития	Показатели		
		Площадь листьев, тыс. м²/га	ФП	ЧПФ
11. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС с Эпином + Рекс Т	первый узел – флаговый лист	32,2–61,6	0,47	4,2
	флаговый лист – колошение	61,6–66,6	1,09	4,8
	колошение – молочная спелость	66,6–24,9	0,88	5,4
12. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС + Эпин с Рексом Т	первый узел – флаговый лист	31,5–61,4	0,47	4,4
	флаговый лист – колошение	61,4–65,7	1,08	4,9
	колошение – молочная спелость	65,7–24,7	0,87	5,5
13. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС + Рекс Т + N_{15}КАС (фаза колошения)	первый узел – флаговый лист	33,4–61,8	0,48	4,0
	флаговый лист – колошение	61,8–67,2	1,10	4,7
	колошение – молочная спелость	67,2–25,8	0,90	5,8

Примечание. ФП – фотосинтетический потенциал, млн м²*сутки/га; ЧПФ – чистая продуктивность фотосинтеза, г/м²*сутки.

Самые высокие значения площади листовой поверхности (61,6–67,2 тыс. м²/га) посевов озимого тритикале в межфазовый период флаговый лист – колошение были отмечены в вариантах с совместным применением КАС с Эпином или Витамаром–3 и в варианте $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС + Рекс Т + N_{15} КАС (фаза колошения).

Установлено, что совместное внесение изучаемых микроудобрений и регулятора роста растений Эпин с КАС или фунгицидом Рекс Т по влиянию на показатели фотосинтетической деятельности посевов озимого тритикале (площадь листовой поверхности, ФП, ЧПФ) было равнозначно их раздельному применению.

Формирование фотосинтетического потенциала по фазам развития озимого тритикале, как показали исследования, определяется, прежде всего, метеорологическими условиями, уровнем минерального питания и применением регулятора роста растений.

Анализ динамики ФП тритикале во все годы исследований по фазам развития растений показал, что наиболее высокие приросты этого показателя по всем вариантам отмечались в межфазовый период флаговый лист – колошение и составляли 0,50–1,10 млн м² × сутки/га.

В вариантах с совместным внесением сульфата меди, Витамара–3 и Эпина с КАС фотосинтетический потенциал в указанный выше период составлял 1,07; 1,10 и 1,09 млн м² × сутки/га соответственно. В варианте $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС + Рекс Т + N_{15}КАС данный показатель достиг 1,10 млн м² × сутки/га.

После прохождения фазы колошения величина ФП уменьшалась вследствие постепенного отмирания листьев.

Полученные результаты исследований показывают, что в межфазовый период первый узел – молочная спелость озимого тритикале чистая продуктивность фотосинтеза увеличивалась с 3,6 до 5,8 г/м² × сутки в зависимости от варианта опыта, за исключением варианта без применения удобрений.

Совместное применение фунгицида Рекс Т с КАС по влиянию на чистую продуктивность фотосинтеза оказалось равнозначным их раздельному внесению. Снижение дозы Рекса Т на 30 % в составе баковой смеси с КАС не повлияло на изменение данного показателя.

Совместное и раздельное внесение изучаемых микроудобрений и регулятора роста растений Эпин с КАС или фунгицидом Рекс Т способствовало повышению чистой продуктивности фотосинтеза озимого тритикале в межфазовый период первый узел – флаговый лист на 0,4–1,1 г/м^2 × сутки по сравнению с фоновым вариантом $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС + Рекс Т.

В среднем за три года исследований наибольшая чистая продуктивность фотосинтеза в период флаговый лист – колошение зафиксирована в варианте с применением баковой смеси комплексного препарата Витамар–3 с КАС – 5,0 г/м^2 × сутки.

Анализ парной корреляционно–регрессионной зависимости урожайности зерна озимого тритикале от площади листовой поверхности, фотосинтетического потенциала и чистой продуктивности фотосинтеза показал тесную связь (R^2 = 0,95–0,97) между урожайностью зерна и площадью листовой поверхности, фотосинтетическим потенциалом (табл. 2).

Величина $(1–R^2)\cdot 100$ % показывает, сколько процентов вариации параметра Y обусловлены факторами, не включенными в регрессионную модель. При высоком (R^2 > или = 75 %) значении коэффициента детерминации можно делать прогноз y = f (x) для конкретного значения x.

Таблица 2

Зависимость урожайности зерна озимого тритикале от показателей продукционного процесса (среднее за 2005–2007 гг.)

Показатель	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации, R^2
Площадь листовой поверхности (колошение), тыс. м^2/га	1) y = 0,8732x + 6,368	0,95
Фотосинтетический потенциал (флаговый лист – колошение), млн м^{2*}сутки/га	2) y = 50,109x + 9,6554	0,97
Чистая продуктивность фотосинтеза (флаговый лист – колошение), г/м^{2*}сутки	3) y = 5,3355x + 37,747	0,61

Примечание. X – показатель; y – урожайность зерна, ц/га. Значения x: 1) 62,9–66,8; 2) 1,03–1,10; 3) 4,4–5,0.

Совместное применение Рекса Т в дозе 0,6 л/га с КАС по сравнению с раздельным повышало урожайность зерна в среднем за три года на 1,5 ц/га, а окупаемость 1 кг NPK кг зерна – на 0,6 кг (табл. 3).

Таблица 3

Влияние раздельного и совместного применения средств химизации на урожайность и качество зерна озимого тритикале (среднее за 2005–2007 гг.)

Вариант	Урожайность, ц/га	Сырой белок, %	Выход сырого белка, ц/га	Масса 1000 зерен, г	Обеспеченность 1 к.ед. переваримым протеином, г
1. Без удобрений + Рекс Т	28,7	10,1	2,5	34,7	59,9
2. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС + Рекс Т (0,6 л/га) – фон	60,2	12,9	6,7	37,6	76,4
3. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС с Рексом Т (0,6 л/га)	61,7	13,5	7,2	37,1	80,0
4. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС с Рексом Т (0,42 л/га)	61,3	13,7	7,2	36,9	81,2
5. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС + Cu + Рекс Т	62,1	13,5	7,2	37,8	80,0
6. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС с Cu + Рекс Т	63,0	13,4	7,3	38,0	79,4
7. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС + Cu с Рексом Т	62,8	14,0	7,6	38,6	83,0
8. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС + Витамар–3 + Рекс Т	63,6	13,8	7,5	38,8	81,8
9. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС с Витамаром–3 + Рекс Т	64,5	14,0	7,8	38,9	83,0
10. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС + Эпин + Рекс Т	63,9	13,9	7,6	38,6	82,4
11. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС с Эпином + Рекс Т	64,5	14,1	7,8	39,0	83,6
12. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС + Эпин с Рексом Т	64,1	14,0	7,7	38,8	83,0
13. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС + Рекс Т + N_{15}КАС	65,0	14,4	8,0	39,2	85,3
$НСР_{0,05}$	1,1	0,6		1,0	

В варианте с совмещением операций по внесению КАС и меди в дозе 150 г/га на фоне $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + Рекс Т повышение урожайности составило 2,8 ц/га, а окупаемость 1 кг NPK кг зерна возросла на 1,1 кг. В варианте $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС + Cu с Рексом Т по сравнению с фоном урожайность зерна повысилась в среднем за три года на 2,6 ц/га, окупаемость – до 1 кг зерна.

Применение препарата Витамар–З на почве со средним содержанием подвижных соединений меди и цинка раздельно или в составе баковой смеси с N_{30}КАС на фоне $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + Рекс Т по действию на урожайность зерна озимого тритикале было равнозначным и повышало ее в среднем за 2005–2007 гг. на 3,4 и 4,3 ц/га соответственно.

При совместном внесении Эпина с КАС и Рексом Т урожайность зерна составила 64,5 и 64,1 ц/га соответственно, что выше по сравнению с фоновым вариантом на 4,3 и 3,9 ц/га. Окупаемость 1 кг NPK кг зерна при раздельном внесении Эпина возросла по сравнению с фоном на 1,4 кг, а при совместном применении с КАС или Рексом Т – на 1,5–1,6 кг.

Следует отметить, что в вариантах с совместным внесением КАС и Эпина или препарата Витамар–З получена самая высокая окупаемость 1 кг NPK кг зерна (13,3 кг).

Максимальная урожайность зерна озимого тритикале 65,0 ц/га получена в среднем за 3 года в варианте $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС + Рекс Т + N_{15}КАС (фаза колошения) при окупаемости 1 кг NPK 12,8 кг зерна. В вариантах опыта, где применялись Эпин и баковая смесь N_{30}КАС с Витамаром–З, урожайность зерна не отличалась от вышеуказанной.

Качество полученной продукции во многом определяет ее конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках. В связи с этим улучшение химического состава растений и повышение качества урожая относится к числу наиболее важных и актуальных агрохимических задач.

При совместном внесении Рекса Т с КАС в начале фазы выхода в трубку при возделывании озимого тритикале как в полной дозе (0,6 л/га), так и в пониженной (0,42 л/га) по сравнению с фоновым вариантом $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС + Рекс Т (0,6 л/га) наблюдалось увеличение содержания сырого белка на 0,6–0,8 %, а его выхода – на 0,5 ц/га (табл. 3).

Некорневые подкормки Витамаром–З в начале трубкования в составе баковой смеси с КАС по сравнению с фоновым вариантом $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС + Рекс Т (0,6 л/га) увеличивали содержание сырого белка в зерне озимого тритикале на 1,1 %, а его выход – на 1,1 ц/га.

Использование в опыте баковой смеси КАС с Эпином привело к получению урожая зерна озимого тритикале с высоким содержанием сырого белка (14,1 %) и его выходом (7,8 ц/га).

Следует отметить эффективность подкормки азотом в дозе 15 кг/га д.в. в начале фазы колошения, которая способствовала повышению содержания сырого белка в зерне в среднем за три года исследований на 1,5 % (14,4 %) и дополнительному сбору белка с 1 гектара на 1,3 ц/га (8,0 ц/га).

Эффективными агрохимическими приемами, способствующими повышению массы 1000 зерен, оказались раздельные или совместные обработки посевов в начале фазы выхода в трубку регулятором роста растений Эпин с КАС или Рексом Т. Значение данного показателя повышалось до 39,0 г.

Максимальное значение обеспеченности кормовой единицы переваримым протеином (85,3 г) зафиксировано в варианте $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС с дополнительной подкормкой N_{15}КАС в начале фазы колошения. При совместном

применении комплексного препарата Витамар–3 и Эпина с N_{30}КАС в начале фазы трубкования на фоне $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} обеспеченность 1 к.ед. переваримым протеином возросла на 6,6 и 7,2 г соответственно.

ВЫВОДЫ

1. Комплексное применение минеральных удобрений и средств защиты растений оказывает положительное влияние на динамику нарастания листовой поверхности и величину листового фотосинтетического потенциала озимого тритикале. Исходя из фактически полученной максимальной урожайности зерна (65,0 ц/га) озимого тритикале, можно считать, что площадь листьев и листовой фотосинтетический потенциал в межфазовый период флаговый лист – колошение при значениях 67,2 тыс. м^2/га и 1,10 млн м^2*сутки/га для озимого тритикале являются оптимальными. Между урожайностью зерна озимого тритикале и площадью листовой поверхности, фотосинтетическим потенциалом отмечена сильно выраженная зависимость (R^2 = 0,95–0,97).

2. Эффективными агрохимическими приемами, способствующими повышению урожайности и качества зерна озимого тритикале, являются обработки посевов:

– N_{15} КАС в начале фазы колошения на фоне $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС + Рекс Т;

– многокомпонентным удобрением Витамар–3 в дозе 1 л/га совместно с N_{30}КАС в начале фазы выхода в трубку на фоне $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + Рекс Т;

– Эпином в дозе 20 мг/га в составе баковой смеси с N_{30}КАС в начале фазы выхода в трубку на фоне $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + Рекс Т и Эпином в дозе 20 мг/га в составе баковой смеси с Рексом Т в дозе 0,6 л/га в начале фазы выхода в трубку на фоне $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30}КАС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булавина, Т.М. Агротехнологические основы повышения эффективности производства зерна тритикале на дерново-подзолистых почвах: автореф. дис. …д-ра с.-х. наук. – Жодино, 2009. – 43 с.

2. Вага, И.И. Эффективность применения удобрений, физиологически активных веществ, ретардантов и фунгицидов при возделывании озимого тритикале на антропогенно-преобразованных торфяных почвах: автореф. дис. …канд. с.-х. наук. – Минск, 2012. – 24 с.

3. Ильина, З.М. Научные основы продовольственной безопасности / З.М. Ильина. – Минск: Мисанта, 2001. – 228 с.

4. Рекомендации по возделыванию озимого тритикале в пределах РДУ на дерново-подзолистых супесчаных почвах, загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr / Ин-т почвоведения и агрохимии; под ред. И.М. Богдевича. – Минск, 2008. – 43 с.

5. Применение новых форм микроудобрений, регуляторов роста и комплексных препаратов на их основе при возделывании сельскохозяйственных культур: рекомендации / И.Р. Вильдфлуш [и др.]; БГСХА. – Горки, 2011. – 34 с.

6. Применение удобрений жидких комплексных с хелатными формами микроэлементов под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Г.В. Пироговская [и др.]. – Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 40 с.

7. Цыганов, А.Р. Влияние комплексного применения минеральных удобрений и средств защиты растений на интенсивность продукционных процессов, урожайность и качество зерна озимой пшеницы / А.Р. Цыганов, И.Р. Вильдфлуш, Э.М. Батыршаев // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2010. – Т. 54, №1. – С. 117.

8. Оптимизация минерального питания зерновых культур на основе регулирования интенсивности продукционных процессов: рекомендации / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2006. – 12 с.

INFLUENCE OF COMPLEX USAGE OF MINERAL FERTILIZERS AND PLANT PROTECTION MEANS ON THE INTENSITY OF PRODUCTIVE PROCESSES, YIELD AND QUALITY OF GRAIN WINTER TRITICALE

A.R. Tsyganov, E.M. Batyrshayeu, I.R. Vildflush

Summary

In the article the information about the influence of separate and complex usage of mineral fertilizers and plant protection means on the intensity of productive processes, yield and quality of grain winter triticale cultivated on sod-podzolic light loamy soil is presented.

Поступила 22.04.13

УДК 633.16:631.8:631.445.24

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МАКРО- И МИКРОУДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

И.Р. Вильдфлуш, О.И. Мишура, И.В. Глатанкова
Белорусская государственная сельскохозяйственная академия
г. Горки, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Одним из элементов технологии возделывания сельскохозяйственных культур является применение микроудобрений. Микроэлементы выполняют важнейшие функции в процессе жизнедеятельности растений и являются необходимым компонентом системы удобрения для сбалансированного питания сельскохозяйственных культур [1, 2].

В настоящее время потребность в микроудобрениях возросла в связи с тем, что сократилось применение органических удобрений, многие формы высококонцентрированных макроудобрений почти не содержат микроэлементов, внесение

повышенных доз азота, фосфора и калия затрудняет поглощение растениями большинства микроэлементов, поскольку сдвигается равновесие почвенного раствора в неблагоприятную для этого сторону [2, 3].

Исследованиями установлено, что в условиях дерново-подзолистых почв наиболее значимыми микроэлементами для зерновых культур являются медь, марганец и цинк [4, 5, 6, 7, 8, 9].

Несмотря на то, что ячмень возделывают на земном шаре почти повсеместно, пригодные для выращивания высококачественного пивоваренного зерна районы относятся лишь к определенным почвенно-климатическим зонам с умеренно теплым летом и хорошим увлажнением. Согласно результатам исследований, проведенных в Беларуси, географическая зона республики была признана пригодной для возделывания пивоваренного ячменя.

Среди агротехнических мероприятий, направленных на повышение урожайности ячменя, в том числе и пивоваренного, минеральные удобрения имеют решающее значение. Кроме урожайности, они могут повысить или снизить технологические показатели качества зерна.

В связи с этим использование минеральных удобрений под пивоваренный ячмень должно быть строго научно обоснованным и рациональным. Неслучайно в Чехии, Германии, Франции и других странах, производящих высококачественное сырье для пивоваренной промышленности, проблема правильного применения удобрений под пивоваренный ячмень находится под постоянным контролем.

Вопросы улучшения минерального питания пивоваренного ячменя как основного фактора увеличения урожайности культуры несут высокую значимость и актуальность для нашей республики. Сложившаяся в стране экономическая ситуация требует неординарного подхода ко многим современным проблемам агропромышленного комплекса. В настоящее время для товаропроизводителей, в том числе и в пищевой промышленности, выжить и не снизить темпов производства можно в основном только за счет создания конкурентоспособной в качественном и ценовом отношении продукции. Таким образом, нет никаких сомнений, что возможность увеличения сборов зерна пивоваренного ячменя за счет современных технологий, к числу которых относится и научно обоснованное применение минеральных удобрений, – задача для Беларуси актуальная и перспективная [10, 11].

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения эффективности макроудобрений, однокомпонентных и многокомпонентных микроудобрений в хелатной форме на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, подстилаемой с глубины около 1 м моренным суглинком, в 2011–2012 гг. на опытном поле «Тушково» учебно-опытного хозяйства БГСХА были заложены полевые опыты с ячменем. Ячмень сорта Бровар высевался с нормой высева семян 5,0 млн/га. Предшественником ячменя были однолетние травы (горохово-овсяная смесь). Посев ячменя проводился немецкой сеялкой RAU.

Общая площадь делянки – 36 м^2, учетная – 24,7 м^2, повторность – четырехкратная. Способ учета урожая – сплошной, поделяночный.

Для изучения эффективности применения макро- и микроудобрений в опыте использовались минеральные удобрения: карбамид (46 % N), аммонизированный суперфосфат (33 % P_2O_5, 8 % N), хлористый калий (60 % K_2O), КАС (30 %). Подкормка ячменя проводилась карбамидом или КАС в фазе 1-го узла.

Из микроудобрений применялись в фазе 1-го узла Эколист зерновые (N–10,5%, K_2O – 5,1 %, MgO – 2,5 %, B – 0,38 %, Cu – 0,45 %, Fe – 3,07 %, Mn – 0,05 %, Mo – 0,0016 %, Zn – 0,14 %) в дозе 3 л/га и комплексный препарат МикроСтим-Медь – в дозе 1 л/га (медь 78,0 г/л, азот 65,0 г/л, гуминовые вещества 0,60–5,0 мг/л).

Агрохимические показатели почвы, приведенные в таблице 1, свидетельствуют о том, что почва опытных участков в 2011 и 2012 гг. имела слабокислую реакцию, недостаточное содержание гумуса, повышенное содержание подвижного фосфора, среднее и повышенное содержание калия.

Определение агрохимических показателей почвы и качества урожая ячменя производили общепринятыми методами согласно ГОСТ и ОСТ.

Агрометеорологические условия в годы проведения исследований характеризовались тем, что май 2011 г. был умеренно теплым, с обилием осадков в первой пятидневке месяца. Средняя за месяц температура воздуха составила 14 ºС, что на 1 ºС выше климатической нормы. Осадков выпало 54 мм (норма).

Таблица 1

Агрохимическая характеристика почвы опытных участков до закладки опыта

pH_{KCL}	Гумус, %	$H_г$	S	T	V, %	P_2O_5	K_2O
		м экв на 100 г почвы				в 0,2 м HCL мг/кг почвы	
2011 г.							
5,7	1,70	2,3	15,4	17,7	87	186	197
2012 г.							
5,8	1,71	1,9	15,7	17,7	89	202	213

Июнь характеризовался высокими температурами и дождливой погодой во второй половине месяца. Средняя температура за месяц составила 18 ºС, что на 2 ºС выше климатической нормы. Осадков выпало 61 мм (79 % нормы). В июле преобладала теплая погода (средняя температура воздуха 21 ºС, что на 3 ºС выше нормы). Осадков выпало 137 мм при норме 88 мм. В целом, погодные условия июля способствовали дозреванию посевов зерновых культур.

Май 2012 г. был умеренно теплым, с обилием осадков в первой и второй декадах. Средняя за месяц температура воздуха составила 14 ºС, что почти на 2 ºС выше климатической нормы. Осадков выпало 100 мм (в пределах 2 месячных норм). Июнь 2012 г. характеризовался умеренным температурным режимом и

обилием осадков. Средняя температура воздуха составила 16 ºС, что в пределах климатической нормы. Осадков в июне выпало 154 мм (2 месячных нормы). Июль был теплым и засушливым. Средняя за месяц температура воздуха равнялась 20 ºС, что почти на 3 ºС выше климатической нормы. Осадков выпало всего 33 мм (38 % месячной нормы), что отрицательно сказалось на развитии растений ячменя. Август был теплым и дождливым. Среднемесячная температура воздуха составила 17 ºС, а количество осадков – 156 % от нормы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдение за динамикой роста и развитием растений позволяет установить их реакцию на изучаемые приемы и погодные условия.

Показатели динамики роста растений ячменя за два года были схожи. В фазе кущения растения ячменя отставали в росте в варианте без удобрений. В фазе выхода в трубку минимальная высота растений была в варианте без внесения удобрений и в варианте с низкой дозой азота (табл. 2).

Максимальная высота растений ячменя в фазе колошения была в вариантах с применением повышенных доз азота, жидкого комплексного удобрения Эколист 3 и комплексного препарата МикроСтим Cu на фоне минеральных удобрений.

Более интенсивное накопление биомассы у ячменя происходило в вариантах с повышенными дозами азота. До фазы кущения варианты, где вносилось 60–90 кг азота, по накоплению биомассы существенно не различались. Различия более четко проявились к фазе колошения и молочно–восковой спелости в 2011 и 2012 гг. Несколько выше масса 100 сухих растений была в вариантах с применением комплексного микроудобрения Эколист 3 и комплексных препарата МикроСтим Cu (табл. 2).

Применение фосфорных и калийных удобрений ($P_{60}K_{90}$) на фоне небольших доз азота (N_{16}) по сравнению с неудобренным контролем повысило урожайность зерна в среднем за два года на 3,2 ц/га. Увеличение доз азота с N_{16} до N_{90} на фоне $P_{60}K_{90}$ способствовало дальнейшему возрастанию урожайности по сравнению с $N_{16}P_{60}K_{90}$.

Дробное внесение N_{60} до посева и N_{30} в подкормку в фазе 1-го узла на фоне $P_{60}K_{90}$ по сравнению с N_{90} за один прием до посева повышало урожайность зерна ячменя при использовании КАС на 2,0 и карбамида на 3,7 ц/га.

В среднем за 2 года применение удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{90} + N_{30}$ карбамид повышало урожайность зерна ячменя по сравнению с вариантом без удобрений на 18,5 ц/га. Максимальная урожайность была получена в варианте с применением комплексного препарата МикроСтим Cu на фоне $N_{60}P_{60}K_{90} + N_{30}$ карбамид. Прибавка урожайности зерна от использования МикроСтим Cu на фоне $N_{60}P_{70}K_{120} + N_{30}$ карбамид составила 7,4 ц/га по сравнению с вариантом без его применения. В этом варианте была и наибольшая окупаемость 1кг NPK кг зерна (10,0 кг) (табл. 3).

Таблица 2

Динамика роста и накопления сухого вещества растениями ячменя (в среднем за 2 года)

Варианты	Высота растений, см				Вес 100 растений, г			
	кущение	выход в трубку	колошение	молочно-восковая спелость	кущение	выход в трубку	колошение	молочно-восковая спелость
1. Без удобрений	18,1	47,0	73,0	78,5	34,7	223,5	262,0	524,0
2. $N_{16}P_{60}K_{90}$	20,8	49,5	78,0	84,0	35,3	266,0	353,5	589,5
3. $N_{60}P_{60}K_{90}$	20,0	54,0	80,5	86,5	36,4	324,0	431,5	658,0
4. $N_{90}P_{60}K_{90}$	22,1	56,0	83,5	90,0	36,5	338,0	474,0	853,0
5. $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30}КАС фаза нач. вых. в трубку	22,0	58,5	81,5	86,0	39,8	373,0	546,0	796,5
6. $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30} карбамид фаза нач. вых. в трубку	21,0	55,0	84,5	92,0	39,1	352,0	561,5	836,0
7.$N_{60}P_{60}K_{90}$+ N_{30} карбамид + МикроСтим Cu фаза нач. вых. в трубку	21,0	61,5	80,0	93,5	38,0	314,0	576,5	857,0
8. $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30} карбамид фаза нач. вых. в трубку + Эколист 3	22,0	60,0	86,0	90,0	39,7	338,5	564,0	843,5

Таблица 3

Влияние макро- и микроудобрений на урожайность зерна ячменя

Варианты опыта	Урожайность, ц/га			Окупаемость 1кг NPK кг зерна, среднее за 2 года
	2011 г.	2012 г.	среднее за 2 года	
1. Без удобрений	26,3	28,1	27,2	–
2. $N_{16}P_{60}K_{90}$	28,7	32,1	30,4	1,9
3. $N_{60}P_{60}K_{90}$	33,5	38,4	36,0	4,2

Окончание табл. 3

Варианты опыта	Урожайность, ц/га			Окупаемость 1кг NPK кг зерна, среднее за 2 года
	2011 г.	2012 г.	среднее за 2 года	
4. $N_{90}P_{60}K_{90}$	41,1	42,8	42,0	6,2
5. $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30} КАС фаза нач. вых. в трубку	44,7	43,3	44,0	7,0
6. $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30} карбамид фаза нач. вых. в трубку	46,1	45,2	45,7	7,7
7. $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30} карбамид + МикроСтим Cu фаза нач. вых. в трубку	51,5	54,6	53,1	10,0
8. $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30} карбамид фаза нач. вых. в трубку + Эколист 3	45,6	47,9	46,8	8,2
$НСР_{05}$	1,6	1,9	1,3	–

Применение жидкого комплексного удобрения Эколист 3 в 2012 г. повышало урожайность зерна ячменя по сравнению с фоновым вариантом $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30} карбамид на 2,7 ц/га, но в 2011 г. и в среднем за два года не обеспечивало существенного ее увеличения.

Более высокая эффективность комплексного препарата МикроСтим Cu по сравнению с Эколистом 3 обусловлена, по-видимому, тем, что с МикроСтим Cu вносилось в подкормку значительно больше меди (78 и 12,5 г/га соответственно). Кроме того, МикроСтим Cu содержит гуминовые вещества, обладающие стимулирующим действием на растения.

Благоприятные погодные условия за вегетационный период в 2011 г. способствовали возрастанию массы 1000 зерен ячменя по сравнению с 2012 г.

Минеральные удобрения и микроэлементы, применяемые в 2011–2012 гг., существенного влияния на массу 1000 зерен ячменя по сравнению с неудобренным контролем не оказали (табл. 4).

Содержание сырого белка в зерне ячменя было выше в вариантах с повышенными дозами азота (табл. 4). Однако по всем вариантам оно находилось в допустимых пределах. В вариантах с применением комплексного препарата МикроСтим Cu или жидкого комплексного удобрения Эколист 3 на фоне $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30} карбамид в фазу начала выхода в трубку содержание сырого белка также в среднем за два года было в допустимых пределах (9,9–10,5 %).

Таким образом, сорт Бровар даже при дозах N_{90} во всех вариантах, в том числе при применении жидкого комплексного удобрения Эколист 3 и комплексного препарата МикроСтим Cu, не накапливал чрезмерно большого количества сырого белка в зерне (табл. 4).

Таблица 4

Влияние макро- и микроудобрений на качество зерна ячменя

Варианты опыта	Масса 1000 семян, г			Сырой белок, %			Содержание элементов питания (среднее за 2011–2012 г), % на сухое в-во		
	2011 г.	2012 г.	среднее за 2 года	2011 г.	2012 г.	среднее за 2 года	N	P	K
1. Без удобрений	56,2	54,8	55,5	7,8	9,5	8,7	1,39	0,87	0,49
2. $N_{16}P_{60}K_{90}$	57,4	54,7	56,1	8,1	9,4	8,7	1,40	0,82	0,47
3. $N_{60}P_{60}K_{90}$	58,2	56,2	57,2	8,0	9,9	8,9	1,43	0,82	0,49
4. $N_{90}P_{60}K_{90}$	57,6	56,4	57,0	10,0	10,8	10,4	1,66	0,83	0,48
5. $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30} КАС фаза нач. вых. в трубку	57,2	55,8	56,5	8,7	9,9	9,3	1,49	0,84	0,51
6. $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30} карбамид фаза нач. вых. в трубку	57,9	56,4	57,2	8,5	11,1	9,8	1,57	0,83	0,50
7. $N_{60}P_{70}K_{90}$ + N_{30} карбамид + МикроСтим Cu фаза нач. вых. в трубку	58,6	55,9	57,3	10,7	10,3	10,5	1,68	0,88	0,53
8. $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30} карбамид фаза нач. вых. в трубку + Эколист 3	57,9	54,0	56,0	10,0	9,8	9,9	1,59	0,88	0,53
$НСР_{05}$	0,5	0,4	0,3	0,7	0,6	0,5			

Содержание азота в зерне ячменя возрастало в вариантах с его повышенными дозами. В то же время содержание фосфора в зерне по вариантам опыта было достаточно стабильным и изменялось в незначительных пределах (табл. 4). Содержание калия в зерне ячменя практически не изменялось по вариантам опыта.

Общий вынос элементов питания существенно возрастал в вариантах, где была получена более высокая урожайность ячменя (табл. 5). Удельный вынос азота на 1 т основной продукции с учетом побочной по вариантам опыта изменялся в пределах от 20,7 до 27,0 кг (табл. 5). В большинстве случаев прослеживается тенденция к возрастанию удельного выноса азота в вариантах, где вносились его повышенные дозы (N_{90}). Удельный вынос фосфора колебался незначительно (от 11,1 до 13,1 кг) на 1 т основной продукции с учетом побочной.

Четкой зависимости удельного выноса калия от применяемых систем удобрения также не отмечено.

Таблица 5

Влияние макро- и микроудобрений на общий и удельный вынос ячменя в 2011–2012 гг.

Вариант опыта	Общий вынос, кг/га			Вынос на 10 ц основной продукции с учетом побочной, кг/га		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
1. Без удобрений	61,6	35,7	78,3	22,7	13,1	28,8
2. $N_{16}P_{60}K_{90}$	65,1	35,5	85,4	21,4	11,6	28,1
3. $N_{60}P_{60}K_{90}$	75,1	42,8	90,4	20,7	11,8	25,1
4. $N_{90}P_{60}K_{90}$	113,2	48,0	127,7	27,0	11,4	30,4
5. $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30} КАС фаза нач. вых. в трубку	91,8	48,9	128,7	20,9	11,1	29,3
6. $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30} карбамид фаза нач. вых. в трубку	121,6	52,9	107,6	26,7	11,6	23,5
7. $N_{60}P_{70}K_{90}$ + N_{30}карбамид + МикроСтим Cu фаза нач. вых. в трубку	130,5	60,5	157,0	24,6	11,4	29,6
8. $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30} карбамид фаза нач. вых. в трубку + Эколист 3	123,6	61,2	145,5	26,5	13,1	31,1

ВЫВОДЫ

1. Увеличение доз азотных удобрений в основное внесение с N_{16} до N_{90} на фоне $P_{60}K_{90}$ повышало урожайность пивоваренного ячменя Бровар в среднем за 2011–2012 гг. с 30,4 до 42,0 ц/га. Дробное внесение азотных удобрений (N_{60} до посева + N_{30} в подкормку в фазе 1-го узла) по сравнению с разовым N_{90} до посева в форме карбамида повышало урожайность зерна ячменя при использовании в подкормку КАС на 2,0 и карбамида на 3,7 ц/га.

2. Некорневая подкормка комплексным препаратом МикроСтим-Медь в дозе 1л/га в фазе 1-го узла на фоне $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30} карбамид в подкормку повышала урожайность зерна ячменя на 7,4 ц/га (с 45,7 до 53,1 ц/га) при окупаемости

1 кг NPK 10 кг зерна. При применении жидкого комплексного удобрения Эколист 3 урожайность зерна ячменя повышалась только в 2011 г., а среднем за 2 года не получено существенной ее прибавки.

3. При внесении повышенных доз азотных удобрений (N_{90}) отмечено увеличение содержания сырого белка в зерне, но оно во всех вариантах опыта было в допустимых пределах для пивоваренного ячменя и не превышало 10,5 %.

4. Применение возрастающих доз азотных удобрений на фоне фосфорных и калийных способствовало увеличению содержания азота в зерне, общего и удельного его выноса. Содержание фосфора и калия в зерне ячменя, общий и удельный их вынос существенно не изменялись по вариантам изучаемых систем удобрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булавин, Л.А. Адаптивная интенсификация – главный резерв земледелия / Л.А. Булавин // Земляробства і ахова раслін. – 2003. – № 4. – С. 11–12.

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

3. Кулинкович, С.Н. Эффективность комплексных микроудобрений в посевах озимой пшеницы / С.Н. Кулинкович, Т.Д. Карнович // Земляробства і ахова раслін. – 2012. – № 5. – С. 30–39.

4. Скальный, А.В. Биоэлементы в медицине / А.В. Скальный. – М.: Мир, 2004. – С. 272.

5. Дубиковский, Г.П. О результатах исследований по биогеохимии и агрохимии микроэлементов в БССР за 1962–1976 гг. / Г.П. Дубиковский // Известкование кислых почв и применение микроудобрений / БелНИИЗ. – Жодино, 1979. – С. 15–23.

6. Применение некорневых подкормок марганцем при возделывании сельскохозяйственных культур / И.М. Богдевич [и др.]. – Минск, 2001. – С. 16.

7. Рак, М.В. Параметры потребления микроэлементов зерновыми культурами из дерново-подзолистой супесчаной почвы и микроудобрений / М.В. Рак, Г.М. Сафроновская // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 1(36). – С. 181–189.

8. Система применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2006. – С. 28.

9. Лапа, В.В. Применение макро- и микроудобрений в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур / В.В. Лапа, М.В. Рак // Белорусское сельское хозяйство. – 2009. – № 4. – С. 40–44.

10. Инфобаза.by. Новости сельского хозяйства.

11. http://naviny.by/rubrics/economic/2012/07/20/ic_news_113_397855/

EFFICIENCY OF MACRO- AND MICROFERTILIZERS IN CULTIVATION BREWING BARLEY ON SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL

I.R. Vildflush, O.I. Mishura, I.V. Glatankova

Summary

Increasing of nitrogen fertilizer doses in the basic application from N_{16} to N_{90} on the background $P_{60}K_{90}$ significantly increased the brewing barley yield and the crude protein content in the grain, which not in one of the variants of the experiment did not exceed the permissible level (10,5 %). The maximum grain yield of barley (53,1 kg/ha) on average for 2011–2012 was obtained at foliar feeding barley by complex preparation MikroStim Cu, which compared with the background $N_{60}P_{60}K_{90}$ + N_{30} in top-dressing increased the yield of 7,4 t/ha with permissible crude protein content in the grain.

Поступила 23.04.13

УДК 631.812.1´2:631.582:631.445.2

ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР ЗВЕНА СЕВООБОРОТА НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

О.М. Бирюкова, Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева, Е.Г. Мезенцева
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

В структуре посевных площадей Республики Беларусь преобладают дерново-подзолистые почвы, которым свойственна большая природная пестрота свойств и низкий естественный уровень плодородия [1, 2].

Формирование высоких устойчивых урожаев на таких почвах тесно связано с интенсификацией сельскохозяйственного производства в целом и с применением удобрений в частности. На современ-ном этапе совершенствование систем применения удобрений должно быть направлено, прежде все-го, на повышение окупаемости удобрений, получение экономически обоснованной урожайности сель-скохозяйственных культур, поддержание достигнутой продуктивности пахотных земель и охрану ок-ружающей среды от загрязнения [3, 4, 5].

Систематическое применение органических удобрений не только позволяет повысить продуктивность сельскохозяйственных культур, но и оказывает положительное влияние на агрономически ценные свойства почвы [6]. При оценке эффективности органических удобрений следует учитывать, что они оказывают значительный, более продолжительный в сравнении с минеральными

удобрениями эффект на урожай сельскохозяйственных культур. Поэтому об эффективности удобрения можно судить по прибавке урожая всех культур севооборота. Размер последействия находится в прямой зависимости от величины прямого действия или от отзывчивости на навозное удобрение первой культуры. Чем больше прямое действие навоза, тем меньше последействие его на урожай последующих культур севооборота [7].

Цель исследований – оценить влияние различных видов и доз органических удобрений на продуктивность культур звена севооборота, вынос и баланс основных элементов питания растений.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2010–2012 гг. в стационарном полевом опыте, заложенном в ГП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района Минской области на дерново-подзолистой оглеенной внизу супесчаной почве, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 80 см моренным суглинком. Испытания проводили в звене севооборота кукуруза – яровой рапс – озимое тритикале. Опыт развернут в двух полях, в четырехкратной повторности вариантов. Общая площадь делянки – 20 м^2 (4 м x 5 м). Всего в опыте 19 вариантов. Пахотный слой исследуемой почвы перед закладкой опыта характеризовался следующими агрохимическими показателями: pH_{KCl} 5,5–5,6; содержание гумуса – 2,21–2,41 %, P_2O_5 (0,2 М HCl) – 155–205 мг/кг, K_2O (0,2 М HCl) – 227–246 мг/кг почвы.

Дозы минеральных удобрений: под кукурузу – $N_{90+60}P_{60}K_{140,}$ яровой рапс – $N_{80+30}P_{60}K_{120,}$ озимое тритикале – $N_{70+30+40}P_{60}K_{120}$. Среднегодовая доза составила $N_{133}P_{60}K_{127.}$

Фосфорные и калийные удобрения вносили весной в виде аммонизированного суперфосфата и хлористого калия, азотные – в виде карбамида под предпосевную культивацию и в подкормки.

Органические удобрения внесены под первую культуру звена севооборота – кукурузу. Дозы торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозного (ТЖДСНК), торфо-лигнино-соломисто-навозного (ТЛСНК) компостов и сапропелей выровнены по азоту, внесенному с 60 т/га подстилочного навоза КРС. Дозы подстилочного куриного помета, жидкого навоза КРС, органических удобрений (ОУ), получаемых на выходе биогазовой установки, эквивалентны по азоту, внесенному с минеральными удобрениями под кукурузу. Также изучены двойные дозы этих органических удобрений. Вермикомпост внесен в рекомендуемых дозах.

Предусмотрены варианты с органической, минеральной и органо-минеральной системами удобрения. Химический состав органических удобрений представлен в таблице 1.

Химический анализ органических удобрений выполнен в соответствии с ГОСТами: определение влаги и сухого остатка – по ГОСТ 26713–85, золы – по ГОСТ 26714–85, органического вещества – по ГОСТ 27980–88, общего азота – по ГОСТ 26715–85, общего фосфора – по ГОСТ 26717–85, общего калия – по ГОСТ 26718–85.

В растительных образцах общий азот, фосфор, калий определяли из одной навески после мокрого озоления серной кислотой, азот – методом Къельдаля (ГОСТ 13496.4–93), фосфор – на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 26657–85), калий – на пламенном фотометре (ГОСТ 30504–97), кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрофотометре (ГОСТ 26570–95, ГОСТ 30504–97).

Продуктивность севооборота в кормовых единицах (к.ед.) рассчитана с учетом побочной продукции согласно [8]. Математическая обработка экспериментального материала проведена дисперсионным методом с использованием программы MS Excel.

Таблица 1

Качественные показатели органических удобрений

Органические удобрения	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	C	Влажность, %	pH_{KCl}
	% в расчете на естественную влажность							
Подстилочный навоз КРС	0,43	0,26	0,33	0,13	0,06	9,6	77	7,87
ТЛСНК	0,43	0,23	0,36	0,31	0,09	10,5	71	7,30
ТЖДСНК	0,42	0,36	0,36	1,41	0,11	9,8	70	8,34
Сапропель органо-известковистый	0,66	0,40	0,39	2,89	0,14	8,8	48	7,90
Сапропель кремнеземистый	0,57	0,25	0,51	1,98	0,24	6,0	50	7,45
Вермикомпост	1,01	0,61	1,00	0,69	0,03	11,5	55	7,23
Жидкий навоз КРС	0,21	0,12	0,27	0,17	0,08	2,4	95	7,6
Подстилочный куриный помет	1,09	2,05	1,22	0,41	0,22	26,8	64	8,6
ОУ на выход биогазовой установки	0,52	0,32	0,33	0,17	0,07	3,1	96	8,1

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность культур звена севооборота (кукуруза на з.м., яровой рапс, озимое тритикале) на дерново-подзолистой супесчаной почве зависела от применяемых удобрений. Влияние минеральных и органических удобрений, а также их сочетаний на урожайность культур звена севооборота прослеживалось на протяжении всего срока исследований.

Суммарная продуктивность звена севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве в варианте без применения удобрений составила 174,9 ц к.ед./га (табл. 2). Применение минеральной системы удобрения обеспечило дополнительный сбор 103,7 ц к.ед./га при окупаемости 1 кг NPK 7,6 к.ед.

Внесение под кукурузу подстилочного навоза КРС, торфо-лигнино-соломисто-навозного (ТЛСНК) и торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозного (ТЖДСНК) компостов в дозах, выровненных по азоту, за звено севооборота обеспечило прибавку

урожайности относительно контрольного варианта на уровне 55,2–62,3 ц к.ед./га. Окупаемость 1 т подстилочного навоза составила 95,1 к.ед., ТЛСНК – 92,0 к.ед./т, ТЖДСНК – 103,9 к.ед./т.

Анализ влияния подстилочного навоза и компостов на каждую культуру звена севооборота показал, что прибавка урожайности, выраженная в процентах к суммарной за звено севооборота от прямого действия указанных удобрений, составила от 74 до 78 % (табл. 3), за счет 1-го года последействия этих органических удобрений обеспечено 12–15 % дополнительного сбора урожая, за счет 2-го года – 8–14 %.

Применение $N_{400}P_{180}K_{380}$ на фоне подстилочного навоза и компостов обеспечило прибавку 140,5–141,4 ц к.ед./га. В этих вариантах за счет органических удобрений получено 36,8–37,7 ц к.ед./га, при этом 1 т подстилочного навоза окупалась 61,3 к.ед., 1 т ТЛСНК – 62,8 к.ед., 1 т ТЖДСНК – 61,5 к.ед. Окупаемость 1 кг NPK минеральных удобрений в среднем составила 6,1 к.ед. Относительно суммарной прибавки урожайности от органических удобрений за звено севооборота в вышеназванных вариантах за счет прямого действия получено 79–82 %, в 1-й год последействия – 11–13 %, во 2-й год – 5–9 %.

Совместное применение $N_{400}P_{180}K_{380}$ с кремнеземистым и органо-известковистым сапропелями обеспечило по сравнению с вариантом без удобрений дополнительный сбор 136,9 и 133,2 ц к.ед./га соответственно при окупаемости 1 т сапропеля 73,7 и 73,8 к.ед.

Варианты с внесением вермикомпоста, отдельно и в сочетании с минеральными удобрениями, характеризовались высокой окупаемостью и максимальной величиной последействия. Внесение под кукурузу 15 т/га вермикомпоста обеспечило дополнительный сбор за звено севооборота 55,3 ц к.ед./га, при этом 64 % прибавки урожайности получено от прямого действия, 20 % – от 1-го года последействия, 16 % – от 2-го года последействия вермикомпоста. Окупаемость 1 т удобрения за три года составила 368,7 к.ед. В вариантах с органо-минеральной системой удобрения вермикомпост обеспечил получение 11,9 ц к.ед./га при дозе 5 т/га и 36,7 ц к.ед./га при дозе 15 т/га при этом 1 т вермикомпоста окупалась 237,3 и 244,4 к.ед. соответственно.

Жидкий навоз КРС, подстилочный куриный помет, ОУ, получаемые на выходе биогазовой установки, в дозах, выровненных по азоту, внесенному с минеральными удобрениями под кукурузу, обеспечили прибавку урожайности культур звена севооборота на уровне 55,6–63,7 ц к.ед./га относительно контрольного варианта. Двойные дозы вышеназванных удобрений дополнительно увеличивали урожайность в среднем на 38 %.

Следует отметить, что жидкий навоз КРС и отходы производства биогаза основное влияние на урожайность оказывали в год внесения: 91–93 % от суммарной прибавки обеспечило прямое действие. Последействие выражено слабо – 3–7 % от суммарной прибавки урожайности. В сравнении с жидкими видами органических удобрений подстилочный куриный помет обладал большим последействием. За счет 1-го года последействия 15 т/га помета получено 10 % прибавки урожайности от суммарной за севооборот, за счет 2-го года последействия – 12 %, внесение двойной дозы обеспечило 12 и 15 % прибавки соответственно.

Таблица 2

Влияние удобрений на продуктивность звена севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве, 2010–2012 гг.

Вариант	Продуктивность, ц к.ед./га	Прибавка, ц к.ед./га			Окупаемость удобрений, к.ед.		
		к контролю	от удобрений				
			органических	минеральных	1 т органических	1 кг NPK органических	1 кг NPK минеральных
Без удобрений (контроль)	174,9	–	–	–	–	–	–
$N_{400}P_{180}K_{380}$ – фон	278,6	103,7	–	103,7	–	–	7,6
Подстилочный навоз КРС, 60 т/га	231,9	57,0	57,0	–	95,1	9,3	–
Фон + подстилочный навоз КРС, 60 т/га	315,4	140,5	36,8	83,5	61,3	6,0	6,1
ТЛСНК, 60 т/га	230,1	55,2	55,2	–	92,0	8,9	–
Фон + ТЛСНК, 60 т/га	316,3	141,4	37,7	86,2	62,8	6,1	6,3
ТЖДСНК, 60 т/га	237,3	62,3	62,3	–	103,9	9,1	–
Фон + ТЖДСНК, 60 т/га	315,6	140,7	36,9	78,3	61,5	5,4	5,8
Фон + сапропель кремнеземистый, 45 т/га	311,8	136,9	33,2	–	73,7	5,5	–
Фон + сапропель органо-известковистый, 40 т/га	308,2	133,2	29,5	–	73,8	5,1	–
Вермикомпост, 15 т/га	230,2	55,3	55,3	–	368,7	21,4	–
Фон + вермикомпост, 5 т/га	290,5	115,6	11,9	–	237,3	13,8	–
Фон + вермикомпост, 15 т/га	315,3	140,4	36,7	85,1	244,4	14,2	6,3
Жидкий навоз КРС, 75 т/га	230,5	55,6	55,6	–	74,1	12,4	–

Окончание табл. 2

Вариант	Продуктивность, ц к.ед./га	Прибавка, ц к.ед./га			Окупаемость удобрений, к.ед.		
		к контролю	от удобрений				
			органических	минеральных	1 т органических	1 кг NPK органических	1 кг NPK минеральных
Жидкий навоз КРС, 150 т/га	266,7	91,8	91,8	–	61,2	10,2	–
Подстилочный куриный помет, 15 т/га	238,6	63,7	63,7	–	424,5	9,7	–
Подстилочный куриный помет, 30 т/га	278,4	103,5	103,5	–	345,0	7,9	–
ОУ на выходе биогазовой установки, 30 т/га	230,9	56,0	56,0	–	186,7	16,0	–
ОУ на выходе биогазовой установки, 60 т/га	263,7	88,8	88,8	–	147,9	12,6	–

Окупаемость 1 т органических удобрений определялась содержанием основных элементов питания в их составе. Окупаемость 1 т органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, составила 186,7 к.ед. при внесении 30 т/га и 147,9 к.ед. при внесении 60 т/га. 1 т подстилочного куриного помета обеспечила получение 424,5 к.ед. при дозе внесения 15 т/га и 345 к.ед. при дозе внесения 30 т/га. Наиболее низкой окупаемостью характеризовался жидкий навоз КРС – 74,1–61,2 к.ед./т.

Таблица 3

Соотношение прибавки урожая от прямого действия и последействия органических удобрений

Вид органического удобрения	Прибавка урожая, % к суммарной за звено севооборота		
	от прямого действия	от 1-го года последействия	от 2-го года последействия
Подстилочный навоз, 60 т/га	77	15	8
ТЛСНК	78	12	10
ТЖДСНК	74	12	14

Окончание табл. 3

Вид органического удобрения	Прибавка урожая, % к суммарной за звено севооборота		
	от прямого действия	от 1-го года после-действия	от 2-го года после-действия
Вермикомпост, 15 т/га	64	20	16
Жидкий навоз КРС, 75 т/га	93	3	4
Жидкий навоз КРС, 150 т/га	86	5	9
Подстилочный куриный помет, 15 т/га	78	10	12
Подстилочный куриный помет, 30 т/га	73	12	15
Отходы производства биогаза, 30 т/га	91	3	6
Отходы производства биогаза, 60 т/га	88	5	7
на фоне NPK			
Подстилочный навоз КРС, 60 т/га	80	11	9
ТЛСНК, 60 т/га	79	12	9
ТЖДСНК, 60 т/га	82	13	5
Сапропель кремнеземистый, 45 т/га	70	13	17
Сапропель органо-известковистый, 40 т/га	80	5	15
Вермикомпост, 5 т/га	74	16	10
Вермикомпост, 15 т/га	73	16	11

Наибольшая продуктивность культур звена севооборота установлена в вариантах с органо-минеральной системой удобрения. При оценке важности отдельных факторов в формировании совокупной продуктивности кукурузы на з.м., ярового рапса, озимого тритикале под влиянием минеральных удобрений на фоне подстилочного навоза КРС, компостов, сапропелей, вермикомпоста (15 т/га) отмечено, что значительная роль принадлежит почвенному плодородию дерново-подзолистой супесчаной почвы – 56 % урожая, 30 % сформировано за счет применения минеральных удобрений, 14 % – за счет прямого действия и последействия органических (рис. 1).

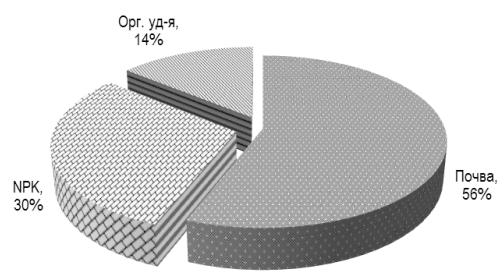


Рис. 1. Долевое участие отдельных факторов в формировании продуктивности культур звена севооборота в вариантах с органо-минеральной системой удобрения на дерново-подзолистой супесчаной почве

Общий вынос элементов питания зависел от видов и доз внесенных удобрений, продуктивности возделываемых культур и их содержания в основной и побочной продукции. Минимальный общий вынос элементов питания за звено севооборота отмечен в варианте без удобрений. Вынос азота составил 225,7 кг/га, фосфора – 113,6 кг/га, калия – 261,1 кг/га, кальция – 26,3 кг/га, магния – 25 кг/га (табл. 4). Применение минеральных удобрений увеличило общий вынос азота на 197,7 кг/га, фосфора – на 76 кг/га, калия – на 220 кг/га, кальция – на 20 кг/га, магния – на 18 кг/га. Внесение подстилочного навоза КРС, компостов и вермикомпоста способствовало увеличению общего выноса азота на 66–100 кг/га, фосфора – на 43–51 кг/га, калия – на 98–127 кг/га, кальция – на 12–19 кг/га, магния – на 8–12 кг/га. Органические удобрения, дозы которых выровнены по азоту, внесенному с минеральными удобрениями под кукурузу, увеличили общий вынос азота на 68–86 кг/га, фосфора – на 31–52 кг/га, калия – на 109–135 кг/га, кальция и магния – на 9–12 кг/га по сравнению с контрольным вариантом. Наибольшим выносом элементов питания характеризовались варианты с органо-минеральной системой удобрения, где вынос азота относительно контроля увеличился на 211–276 кг/га, фосфора – на 88–117 кг/га, калия – на 233–322 кг/га, кальция – на 26–34 кг/га, магния – на 21–25 кг/га.

Таблица 4

Вынос элементов питания культурами звена севооборота в зависимости от применяемых удобрений

Вариант	Общий (хозяйственный) вынос, кг/га			Удельный вынос с 1 т к.ед., кг		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Без удобрений (контроль)	225,7	113,6	261,10	12,9	6,5	14,9
$N_{400}P_{180}K_{380}$ – фон	423,4	189,5	480,90	15,2	6,8	17,3
Подстилочный навоз КРС, 60 т/га	304,8	160,6	388,40	13,1	6,9	16,7
Фон + подстилочный навоз КРС, 60 т/га	495,1	229,8	568,30	15,7	7,3	18,0
ТЛСНК, 60 т/га	291,4	157,4	361,00	12,7	6,8	15,7
Фон + ТЛСНК, 60 т/га	479,4	219,5	554,10	15,2	6,9	17,5
ТЖДСНК, 60 т/га	325,4	164,2	376,50	13,7	6,9	15,9
Фон + ТЖДСНК, 60 т/га	501,3	231,0	565,10	15,9	7,3	17,9
Фон + сапропель кремнеземистый, 45 т/га	488,9	215,9	582,60	15,7	6,9	18,7

Окончание табл. 4

Вариант	Общий (хозяйственный) вынос, кг/га			Удельный вынос с 1 т к.ед., кг		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Фон + сапропель органо-известковистый, 40 т/га	473,1	214,9	538,50	15,4	7,0	17,5
Вермикомпост, 15 т/га	310,6	156,1	358,80	13,5	6,8	15,6
Фон + вермикомпост, 5 т/га	436,3	201,2	493,90	15,0	6,9	17,0
Фон + вермикомпост, 15 т/га	484,8	220,0	567,80	15,4	7,0	18,0
Жидкий навоз КРС, 75 т/га	293,5	144,2	393,20	12,7	6,3	17,1
Жидкий навоз КРС, 150 т/га	364,7	174,7	486,20	13,7	6,6	18,2
Подстилочный куриный помет, 15 т/га	311,7	165,5	395,70	13,1	6,9	16,6
Подстилочный куриный помет, 30 т/га	384,0	201,9	484,30	13,8	7,3	17,4
ОУ на выходе биогазовой установки, 30 т/га	298,8	155,7	369,60	12,9	6,7	16,0
ОУ на выходе биогазовой установки, 60 т/га	363,2	186,7	465,60	13,8	7,1	17,7
Среднее по опыту	**381,9**	**184,3**	**457,5**	**14,2**	**6,9**	**17,0**

На основании общего выноса элементов питания и продуктивности культур звена севооборота рассчитан их удельный вынос за звено севооборота на 1 т к.ед. В результате установлено, что удельный вынос основных элементов питания не значительно изменялся по вариантам. В среднем по опыту с 1 т к.ед. удельный вынос азота составил 14,2 кг, фосфора – 6,9 кг, калия – 17,0 кг, кальция – 1,8 кг, магния – 1,5 кг.

Баланс основных элементов питания в системе удобрение – почва – растение является математическим выражением круговорота питательных элементов в земледелии и оценивается по разности между их приходом и расходом. Расчет хозяйственного баланса элементов питания, интенсивности баланса и реутилизации основных элементов питания на основании полученных результатов позволяет оценить эффективность и обоснованность применения различных видов и доз органических удобрений на дерново-подзолистой супесчаной почве.

Расчеты показали, что при высокой продуктивности культур звена севооборота применение только минеральных или органических удобрений не обеспечивает положительный баланс азота. Применение минеральных удобрений на фоне подстилочного навоза КРС, компостов и сапропелей обеспечивает небольшой положительный баланс азота – +23,6–62,7 кг/га (табл. 5). Установлено, что при органической системе с внесенными удобрениями в почву возвратилось 36–67 % азота, при орга-но-минеральной – реутилизация азота составила 8–39 %.

Таблица 5

Баланс элементов питания в дерново-подзолистой супесчаной почве за звено севооборота, 2010–2012 гг.

Вариант	N			P_2O_5			K_2O		
	баланс, ± кг/га	ИБ*	реутилизация	баланс, ± кг/га	ИБ	реутилизация	баланс, ± кг/га	ИБ	реутилизация
		%			%			%	
Без удобрений (контроль)	–191,5	32	0	–108,5	5	0	–312,7	3	0
$N_{400}P_{180}K_{380}$ – фон	–89,2	85	0	–4,4	98	0	–152,5	72	0
Подстилочный навоз КРС, 60 т/га	–86,1	80	59	12,5	108	104	–242,0	46	44
Фон + подстилочный навоз КРС, 60 т/га	23,6	103	35	123,3	154	73	–41,9	93	32
ТЛСНК, 60 т/га	–49,3	88	67	199,3	226	109	–155,2	63	61
Фон + ТЛСНК, 60 т/га	62,7	109	39	137,2	162	78	31,7	105	42
ТЖДСНК, 60 т/га	–106,9	76	56	197,3	220	107	–176,1	60	58
Фон + ТЖДСНК, 60 т/га	17,2	102	34	130,5	156	76	15,3	102	40
Фон + сапропель кремнеземистый, 45 т/га	37,5	105	36	99,4	146	60	–35,8	94	34

Окончание табл. 5

Вариант	N			P_2O_5			K_2O		
	баланс, ± кг/га	ИБ*	реутилизация	баланс, ± кг/га	ИБ	реутилизация	баланс, ± кг/га	ИБ	реутилизация
		%			%			%	
Фон + сапропель органо-звестковистый, 40 т/га	56,4	108	38	138,2	164	78	–46,3	92	27
Вермикомпост, 15 т/га	–162,8	60	38	–59,5	62	59	–260,4	38	36
Фон + вермикомпост, 5 т/га	–64,2	89	8	14,4	107	15	–115,5	79	9
Фон + вермикомпост, 15 т/га	–37,0	95	22	56,6	126	42	–89,4	86	24
Жидкий навоз КРС, 75 т/га	–144,6	63	40	–79,6	45	41	–232,3	49	47
Жидкий навоз КРС, 150 т/га	–101,0	80	62	–50,6	71	68	–112,8	79	78
Подстилочный куриный помет, 15 т/га	–167,7	58	36	131,2	179	176	–260,1	43	41
Подстилочный куриный помет, 30 т/га	–121,1	76	59	410,7	303	300	–145,9	73	72
ОУ на выходе биогазовой установки, 30 т/га	–149,9	62	39	–72,6	53	50	–343,2	20	18
ОУ на выходе биогазовой установки, 60 т/га	–99,5	80	62	–25,6	86	83	–361,2	31	30

Примечание. ИБ – интенсивность баланса.

Наиболее благоприятным в опыте был баланс фосфора. Применение подстилочного навоза КРС, компостов и вермикомпоста обеспечило интенсивность баланса 108–226 %. Применение минеральных удобрений на фоне органических снижало показатель интенсивности баланса фосфора относительно органической системы в среднем на 40 %. При внесении жидкого навоза КРС и отходов производства биогаза как в дозах, выровненных по азоту, внесенному с

минеральными удобрениями под кукурузу, так и в двойных дозах баланс фосфора был отрицательным. Наибольшая интенсивность баланса фосфора получена в вариантах с применением подстилочного куриного помета – 179 % при дозе 15 т/га, при двойной дозе – 303 %. Реутилизация фосфора при применении органических удобрений составила 59–300 %. Внесенные органические удобрения на фоне NPK обеспечили возврат 15–78 % фосфора.

Небольшой положительный баланс калия получен только в вариантах с применением ТЛСНК + NPK – 31,7 кг/га и сапропеля кремнеземистого + NPK – 15,3 кг/га. Резко отрицательным балансом калия характеризовались варианты с применением ОУ на выходе биогазовой установки (–343,2 – –361,2 кг/га). В связи с чем при применении этих удобрений следует дополнительно вносить минеральные калийные удобрения во избежание снижения содержания подвижного калия в почве.

ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистой супесчаной почве наибольшая продуктивность культур звена севооборота получена в вариантах с органо-минеральной системой удобрения 308,2–316,3 ц к.ед./га при максимальном выносе элементов питания: азота – 473–501 кг/га, фосфора – 215–231 кг/га, калия – 539–583 кг/га.

2. Прибавки урожайности по годам, выраженные в процентах к суммарным за звено севооборота, отражающие величины прямого действия, 1-го и 2-го года последействия органических удобрений, позволили установить, что жидкий навоз КРС и отходы производства биогаза обладали наибольшим прямым действием: 93 % и 91 % соответсвенно при одинарной дозе, 86 % и 88 % – при двойной. Наибольшим последействием (36 %) обладал вермикомпост.

3. Окупаемость 1 т органических удобрений определялась содержанием в них основных элементов питания. Максимальной окупаемостью характеризовался подстилочный куриный помет при дозе 15 т/га – 424,2 к.ед./т, наиболее низкой – жидкий навоз КРС – 73,8–61,1 к.ед./т.

4. Расчет баланса элементов питания позволил установить, что наиболее благоприятным в опыте был баланс фосфора. Максимальную интенсивность баланса фосфора обеспечило внесение 30 т/га подстилочного куриного помета – 303 %.

Небольшой положительный баланс азота получен в вариантах с применением минеральных удобрений на фоне подстилочного навоза КРС, компостов и сапропелей – 23,6–62,7 кг/га. Компосты в сочетании с минеральными удобрениями обеспечили также положительный баланс калия – + 15,3–31,7 кг/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Босак, В.Н. Органические удобрения на пахотных землях Республики Беларусь / В.Н. Босак, Н.М. Жуков // Белорусское сельское хозяйство. – 2007. – № 9.– С. 59–61.

2. Богдевич, И.М. // Почва – удобрение – плодородие: материалы междунар. науч.-произв. конф., Минск, 6–19 февр. 1999 г. – Минск, 2000.

3. Лапа, В.В. Минеральные удобрения и пути повышения их эффективности / В.В. Лапа, В.Н. Босак. – Минск: БелНИИПА, 2002. – 184 с.

4. Богдевич, И.М. Роль удобрений в интенсификации растениеводства / И.М. Богдевич // Интенсификация сельскохозяйственного производства – основа возрождения села, энергетической и продовольственной безопасности: академ. чтения, посвящ. 85-летию М.М. Севернева. – Минск, 2006. – С. 28–41.

5. Богдевич, И.М. Концепция повышения плодородия почв Республики Беларусь / И.М. Богдевич, Н.И. Смеян, В.В. Лапа // Ахова раслін. – 2002. – № 1. – С. 8–11.

6. Мельников, С.П. Изменение физических условий плодородия дерново-подзолистых суглинистых почв в агроценозах / С.П. Мельников, Д.В. Чернов // Тез. докл. 2 съезда почвоведов России. – 1996. – Т. 1. – С. 97–98.

7. Васильев, В.А. Справочник по органическим удобрениям / В.А. Васильев, Н.В. Филипова. – Москва: Россельхозиздат, 1984. – 253 с.

8. 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.

CROP ROTATION LINK PRODUCTIVITY UNDER THE INFLUENCE OF SOLID AND LIQUID ORGANIC FERTILIZERS ON SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL

O.M. Biryukova, T.M. Seraya, E.N. Bogatyrova, E.G. Mezentsava

Summary

The influence different types and doses of organic fertilizers on crop rotation link productivity on sod-podzolic sandy loam soil is studied. The best productivity obtained in variants with organic-mineral fertilizer system – 308,2–316,3 c/ha, at the maximum nutrients removal: nitrogen – 473–501 kg/ha, phosphorus – 215–231 kg/ha, potassium – 539–583 kg/ha. Litter chicken manure (15 t/ha) is characterized by the greatest payback – 424,2 f.u./t. The lowest payback is at cattle liquid manure application (73,8–61,1 f.u./t).

Поступила 15.04.13

УДК 636.087.74:633.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА НЕЗАМЕНИМЫХ АМИНОКИСЛОТ В ОСНОВНОЙ ПРОДУКЦИИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Д.В. Маркевич, Ю.В. Путятин, О.М. Таврыкина
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Пищевая ценность зерна и продуктов его переработки определяется химическим составом, усвояемостью веществ, образующих их, и колеблется в зависимости от многих факторов. Зерновые культуры, относящиеся к разным семействам, отличаются не только соотношением питательных веществ, но и их составом и свойствами [1]. Зерновые культуры представляют собой самый крупный в мире источник белков. Их вклад составляет 57 % всех потребляемых белков, в то время как на клубневые и бобовые культуры приходится 23 % и 20 % на продукты животного происхождения (мясо, молочные продукты и т. д.). Заслуживает внимания также и тот факт, что их фактическая ценность довольна близка к потенциальной [2]. Поэтому всякое повышение содержания белков и увеличение доли в них критических и незаменимых аминокислот в результате селекционной работы или технологий возделывания является очень важным фактором увеличения их питательной ценности.

Аминокислоты содержатся во всех тканях растений. Они играют важную роль в обмене веществ, многие их них служат активаторами ферментов и витаминов. Состав аминокислот влияет на качество пищи (кормов). Их недостаток вызывает серьезные заболевания у людей и животных. Аминокислоты – конечный продукт расщепления белка в пищеварительном канале. Они служат структурным материалом для образования белков в теле человека и животных. Исследования показывают, что отсутствие или недостаток незаменимых аминокислот в пище приводит к нарушению обмена веществ (отрицательному азотному балансу), прекращению в организме регенерации белков, потере аппетита, патологическим изменениям в нервной системе, органах внутренней секреции, составе крови, ферментных системах и т. д. Суточная потребность человека в незаменимых аминокислотах (по данным Ф.М. Пруцкова, Покровского и др.) составляет (в г): лизина – 3–5,2, валина – 3,8–4, лейцина – 4–9, изолейцина – 3–4, метионина – 2–4, треонина – 2–3,5, триптофана – 1–1,1, фенилаланина – 2–4,4. Восемь аминокислот – валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан и фенилаланин относятся к незаменимым и при отсутствии хотя бы одной из них синтез белка, а также белковых веществ невозможен [3–5]. Из них аминокислоты – лизин, метионин и триптофан – основные или критические, так как они лимитируют использование других аминокислот для синтеза молекулы белка [6].

Лизин входит в состав почти всех животных белков и очень важен для здоровья костей. Организм нуждается в этой аминокислоте для усвоения кальция и его доставки к костям. При низком содержании в кормах лизина замедляется

рост животных. Лизин заслуживает внимания за участие в сохранении мышечной ткани, поддержании уровня энергии и здоровья сердца. К тому же он снабжает организм субстанциями для выработки аминокислоты карнитин, которая участвует в превращении жировых тканей в легкодоступное «топливо» для организма животного.

Метионин – это гликогенобразующая серосодержащая аминокислота, донор метильных групп. Участвует в процессах ферментативного метилирования, приводящих к образованию холина, адреналина и других биологически важных соединений. Отсутствие или недостаток метионина нарушает нормальную деятельность печени, витаминный обмен, деятельность некоторых желез внутренней секреции. Он также препятствует развитию атеросклероза [7].

Триптофан участвует в образовании никотиновой кислоты (витамина РР) и серотина. Его недостаток приводит к нарушению функций костного мозга и лимфоидной ткани, снижению в крови эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов, к развитию пеллагры. Кроме того, при недостатке этой аминокислоты в кормах в организме происходят функциональные и органические расстройства [8–9]. Введение в рацион животного незаменимых аминокислот в достаточном количестве повышает использование других аминокислот в организме на 20–30 %, что позволяет обходиться без белков животного происхождения при том же ростовом эффекте, более экономно использовать растительные корма [6]. Литературные данные по содержанию аминокислот в зерне у авторов весьма рознятся в связи с различным сортовым составом и развитием методов исследования аминокислот [3, 4, 10, 11].

Цель наших исследований заключалась в оценке питательной ценности белка зерна возделываемых в республике озимых и яровых зерновых культур по составу незаменимых аминокислот.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определение содержания незаменимых аминокислот (лизин, треонин, валин, метионин, изолейцин, лейцин, фенилаланин) проводилось в лаборатории мониторинга плодородия почв и экологии на жидкостном хроматографе Agilent 1100 после предварительной подготовки проб методом гидролиза (6 pH соляная кислота, 108±2 ^{0}C в течение суток). Для оценки сходимости времен удерживания и площадей, а также предела детектирования и линейности использовали пять различных концентраций стандартов аминокислот: 10, 25, 50, 100 и 250 пмоль/мкл. Онлайновая дериватизация была выполнена с использованием ортофталевого альдегида (OPA) для первичных аминокислот и 9-флуоренилметилхлорформата (FMOC) для вторичных. Применяли 0,4 N боратный буфер с pH 10,4. Анализ аминокислот с использованием предколоночной онлайновой дериватизации выполняли при помощи флуоресцентного детектирования. Сходимость времен удерживания для флуоресцентного детектора ниже 0,2 %, сходимость площадей близка к 5 % [12].

Образцы зерна для анализа получены в научных подразделениях РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в погодно-климатических условиях 2008–2012 гг. Пробы представлены районированными сортами, выращенными на различных почвенных разновидностях и уровнях применения минеральных удобрений. Для анализа использовали цельное зерно.

Стандартное отклонение (SD) и стандартная ошибка (SE) с уровнем надежности 95 % рассчитаны методом описательной статистики с использованием стандартного программного обеспечения (Microsoft® Excel 2003). Количество образцов (n), использованных для математической обработки, по каждой культуре представлено в таблицах 1 и 2.

Сумма критических аминокислот рассчитывалась по треонину, метионину и лизину. Расчеты сбора аминокислот с единицы площади проведены на основании статистических данных урожайности зерновых культур за 2008–2012 гг. в республике, опубликованных Национальным статистическим комитетом Республики Беларусь [13]. При расчетах учитывалась стандартная влажность зерна, полученного в производственных условиях, и влажность зерна, отобранного для анализа. Расчеты сбора аминокислот с единицы площади по голозерному овсу не проводились в связи с его низкой долей в производственных посевах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для повышения кормовой ценности зерна важно не только увеличивать содержание белка, но и улучшать его аминокислотный состав, то есть сбалансированность по аминокислотам. Результаты химического анализа показали, что по удельному содержанию критических аминокислот озимые зерновые можно ранжировать по убыванию в следующем порядке (в г/кг): озимое тритикале (7,75) > озимая пшеница (7,03) > озимая рожь (6,75); незаменимых аминокислот: озимая пшеница (28,72) > озимое тритикале (26,92) > озимая рожь (24,81) (табл.1). По содержанию аминокислот треонина, валина и метионина зерно озимых практически равноценно, озимая пшеница больше синтезирует изолейцина и фенилаланина, озимое тритикале – лизина. В целом можно наблюдать значительное варьирование содержания каждой из аминокислот в выборке от их усредненных показателей.

Таблица 1

Состав критических и незаменимых аминокислот в зерне озимых культур, г/кг на в.с.в.

Показатель	Треонин	Валин	Метионин	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Сумма критических аминокислот	Сумма незаменимых аминокислот
Озимая рожь (n = 109)									
Среднее	**3,02**	**4,38**	**1,27**	**4,34**	**3,30**	**6,04**	**2,46**	**6,75**	**24,81**
Минимум	2,14	3,05	0,79	2,71	2,52	4,29	2,00	–	–
Максимум	4,24	5,78	2,00	6,24	4,26	8,24	3,27	–	–
SE	0,049	0,052	0,024	0,067	0,034	0,074	0,027	–	–
SD	0,516	0,540	0,255	0,699	0,351	0,768	0,286	–	–
Озимая пшеница (n = 61)									
Среднее	**3,06**	**4,98**	**1,35**	**4,91**	**4,19**	**7,62**	**2,61**	**7,03**	**28,72**
Минимум	2,05	3,68	0,99	3,25	3,15	5,82	1,98	–	–

Окончание табл. 1

Показатель	Треонин	Валин	Метионин	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Сумма критических аминокислот	Сумма незаменимых аминокислот
Максимум	3,65	5,82	1,81	5,91	4,87	8,83	3,53	–	–
SE	0,034	0,050	0,022	0,057	0,043	0,065	0,062	–	–
SD	0,263	0,388	0,174	0,443	0,336	0,510	0,482	–	–
Озимое тритикале (n = 383)									
Среднее	**3,02**	**4,70**	**1,44**	**4,35**	**3,67**	**6,45**	**3,29**	**7,75**	**26,92**
Минимум	1,81	3,13	0,78	2,75	2,27	3,75	1,96	–	–
Максимум	4,11	5,86	2,41	5,80	4,90	8,72	5,58	–	–
SE	0,028	0,025	0,020	0,031	0,027	0,045	0,039	–	–
SD	0,557	0,497	0,389	0,597	0,526	0,883	0,772	–	–

По удельному содержанию критических аминокислот яровые зерновые можно ранжировать по убыванию в следующем порядке (в г/кг): овес голозерный (12,86) > ячмень (8,91) > яровая пшеница (8,18) > гречиха (7,76) > яровое тритикале (6,91) > овес (6,7) > просо (5,37); незаменимых аминокислот: овес голозерный (42,36) > ячмень (33,74) > просо (30,54) > яровая пшеница (30,03) > гречиха (25,98) > овес (25,89) > яровое тритикале (24,33) (табл. 2). Существенные различия в биологической ценности голозерного и пленчатого овса объясняются тем, что у последнего пленчатость может достигать 50 % и соответственно его биологическая ценность намного ниже. В значительной степени голозерный овес превосходит другие культуры по содержанию лизина и валина. Минимальное значение суммы критических аминокислот в зерне проса обусловлено концентрацией лизина ниже предела его обнаружения методом жидкостной хроматографии. Белок проса по сравнению с другими зерновыми богат лейцином, его содержание в семенах в среднем составило 11,48 г/кг при варьировании данного показателя 8,29–13,29 г/кг.

Таблица 2

Состав критических и незаменимых аминокислот в зерне яровых культур, г/кг на в.с.в.

Показатель	Треонин	Валин	Метионин	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Сумма критических аминокислот	Сумма незаменимых аминокислот
Яровая пшеница (n = 337)									
Среднее	**3,21**	**4,92**	**1,65**	**5,13**	**4,07**	**7,73**	**3,32**	**8,18**	**30,03**
Минимум	2,04	3,06	1,03	3,22	2,13	5,05	2,09	–	–
Максимум	4,83	7,04	2,84	7,48	6,43	10,36	5,91	–	–
SE	0,031	0,034	0,025	0,037	0,039	0,057	0,045	–	–

Окончание табл. 2

Показатель	Треонин	Валин	Метионин	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Сумма критических аминокислот	Сумма незаменимых аминокислот
SD	0,564	0,618	0,468	0,685	0,711	1,051	0,819	–	–
Яровое тритикале (n = 55)									
Среднее	**2,62**	**4,39**	**1,17**	**3,95**	**3,23**	**5,85**	**3,12**	**6,91**	**24,33**
Минимум	1,79	3,31	0,83	2,44	1,99	4,09	1,88	–	–
Максимум	3,83	5,8	1,73	5,68	4,66	8,26	4,7	–	–
SE	0,085	0,103	0,038	0,128	0,109	0,170	0,102	–	–
SD	0,628	0,766	0,279	0,952	0,809	1,260	0,757	–	–
Ячмень (n = 274)									
Среднее	**3,71**	**6,04**	**1,79**	**6,12**	**4,48**	**8,20**	**3,40**	**8,91**	**33,74**
Минимум	2,14	3,89	0,85	3,61	2,65	5,25	2,00	–	–
Максимум	6,04	8,24	2,69	8,97	6,57	11,03	7,19	–	–
SE	0,045	0,056	0,023	0,071	0,044	0,074	0,071	–	–
SD	0,739	0,934	0,376	1,177	0,731	1,218	1,176	–	–
Овес (n = 16)									
Среднее	**3,04**	**4,84**	**1,23**	**4,37**	**3,49**	**6,49**	**2,43**	**6,70**	**25,89**
Минимум	2,82	4,53	1,10	3,96	3,26	5,91	2,14	–	–
Максимум	3,23	5,24	1,31	4,79	3,73	7,07	3,27	–	–
SE	0,028	0,048	0,016	0,055	0,034	0,074	0,083	–	–
SD	0,111	0,192	0,062	0,220	0,136	0,294	0,333	–	–
Овес голозерный (n = 101)									
Среднее	**5,15**	**7,25**	**2,78**	**6,79**	**5,31**	**10,15**	**4,93**	**12,86**	**42,36**
Минимум	2,71	4,87	1,44	4,36	3,31	6,85	2,96	–	–
Максимум	7,98	8,97	3,72	10,07	7,10	13,1	6,46	–	–
SE	0,120	0,086	0,054	0,096	0,083	0,134	0,085	–	–
SD	1,208	0,868	0,539	0,965	0,834	1,348	0,857	–	–
Просо (n = 103)									
Среднее	**2,92**	**4,57**	**2,45**	**5,10**	**4,02**	**11,48**	< ПО*	**5,37**	**30,54**
Минимум	2,00	2,40	1,55	3,92	3,08	8,29	< ПО*	–	–
Максимум	3,69	5,57	2,99	5,82	4,71	13,29	< ПО*	–	–
SE	0,033	0,050	0,040	0,039	0,023	0,097	–	–	–
SD	0,331	0,508	0,409	0,392	0,232	0,981	–	–	–
Гречиха (n = 17)									
Среднее	**3,37**	**4,76**	**1,50**	**4,03**	**3,26**	**6,16**	**2,90**	**7,76**	**25,98**
Минимум	3,06	4,44	1,15	3,67	3,00	5,68	2,16	–	–
Максимум	3,79	5,5	1,87	4,42	3,65	6,78	4,29	–	–
SE	0,048	0,073	0,048	0,062	0,045	0,079	0,130	–	–
SD	0,200	0,300	0,197	0,254	0,185	0,327	0,537	–	–

Примечание. Концентрация лизина ниже предела обнаружения (ПО) – 1,55 г/кг.

По удельному содержанию критических аминокислот озимые и яровые зерновые культуры можно ранжировать по убыванию в следующем порядке: овес голозерный > ячмень > яровая пшеница > гречиха > озимое тритикале > озимая пшеница > яровое тритикале > озимая рожь > пленчатый овес > просо; незаменимых аминокислот: овес голозерный > ячмень > просо > яровая пшеница >

озимая пшеница > озимое тритикале > гречиха > пленчатый овес > озимая рожь > яровое тритикале. Различия средних по содержанию критических аминокислот в зерне составляют 2,4 раза, незаменимых – 1,7 раза. В анализируемой выборке максимальное содержание как критических, так и незаменимых аминокислот и соответственно питательная ценность отмечены у зерна ячменя.

Ячмень, с точки зрения кормовой культуры, содержит меньше пленок, чем овес (от 6 до 17 %), поэтому лучше переваривается животными. По сравнению с пленчатым овсом он более богат безазотистыми экстрактивными веществами (крахмалом) и содержит значительно меньше жира и клетчатки. В ячмене имеется весь набор незаменимых аминокислот, в том числе и таких дефицитных, как лизин и триптофан. В 1 кг ячменя нормальной влажности в среднем содержится (в г): сырого протеина – 116, в том числе белка – 108, сырого жира – 22, сырой клетчатки – 48, безазотистых экстрактивных веществ – 656, кальция – 1,23, фосфора – 3,3. Питательная ценность 1 кг сухого ячменя в среднем составляет 1,21 к.ед., 81 г – переваримого протеина, 20 – переваримого жира, 16 – переваримой клетчатки, 603 г – переваримых безазотистых экстрактивных веществ [3].

Для планирования и обоснования оптимальной структуры посевов, обеспечивающей сбалансированные и полноценные рационы кормления животных, необходимо учитывать не только биологическую ценность возделываемых культур, но и их продуктивность, которая влияет на выход продукции с единицы площади и валовые сборы.

Таблица 3

Удельный выход критических и незаменимых аминокислот с урожаем зерновых культур, кг/га

Культура	Средняя урожайность по республике за 2008–2012 гг., ц/га	Сбор критических аминокислот, кг/га	Сбор незаменимых аминокислот, кг/га
Озимая рожь	25,70	15,6	57,4
Озимая пшеница	35,50	22,5	91,8
Яровая пшеница	32,78	24,1	88,6
Озимое тритикале	34,84	24,3	84,4
Яровое тритикале	28,98	18,0	63,5
Ячмень	32,84	26,3	99,7
Овес	30,52	18,4	71,1
Просо	21,38*	10,3	58,8
Гречиха	9,68	6,8	22,6

Примечание. Средняя урожайность проса за 2007–2011 гг.

По удельному выходу критических аминокислот с урожаем зерновые культуры можно ранжировать по убыванию в следующем порядке (в кг/га): ячмень (26,3) > озимое тритикале (24,3) > яровая пшеница (24,1) > озимая пшеница (22,5) > овес(18,4)>яровоетритикале(18,0)>озимаярожь(15,6)>просо(10,3)>гречиха(6,8); незаменимых аминокислот: ячмень (99,7) > озимая пшеница (91,8) > яровая пшеница (88,6) > озимое тритикале (84,4) > овес (71,1) > яровое тритикале (63,5) > просо (58,8) > озимая рожь (57,4) > гречиха (22,6) (табл. 3). Различия средних по удельному выходу критических аминокислот в зерне составляют 2,5 раза, незаменимых – 1,7 раза (без учета зерна гречихи).

ВЫВОДЫ

В результате многолетних исследований аминокислотного состава зерна установлено, что по удельному содержанию критических аминокислот озимые и яровые зерновые культуры можно ранжировать по убыванию в следующем порядке (г/кг): овес голозерный (12,86) > ячмень (8,91) > яровая пшеница (8,18) > гречиха (7,76) > озимое тритикале (7,75 г/кг) > озимая пшеница (7,03) > яровое тритикале (6,91) > озимая рожь (6,75) > пленчатый овес (6,7) > просо (5,37); незаменимых аминокислот: овес голозерный (42,36) > ячмень (33,74) > просо (30,54) > яровая пшеница (30,03) > озимая пшеница (28,72) > озимое тритикале (26,92) > гречиха (25,98) > пленчатый овес (25,89) > озимая рожь (24,81) > яровое тритикале (24,33). Различия средних по удельному выходу критических аминокислот с урожаем зерна на 1 га составили до 2,5 раза, незаменимых – до 1,7 раза. Из исследуемых озимых и яровых зерновых культур максимальное содержание как критических, так и незаменимых аминокислот отмечено в зерне ячменя.

Полученные данные могут быть использованы для планирования и обоснования оптимальной структуры посевов, обеспечивающей сбалансированные и полноценные рационы кормления животных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трисвятский, Л.А. Хранение и технология сельскохозяйственных продуктов / Л.А. Трисвятский. – М.: Колос, 1983. – 390 с.

2. Растительный белок / пер. с французского В.Г. Долгополова; под ред. Т.П. Микулович. – М.: Агропромиздат. – 1991. – 684 с.

3. Плешков, Б.П. Биохимия сельскохозяйственных растений / Б.П. Плешков. – М.:Агропромиздат, 1987. – 494 с.

4. Казаков, Е.Д. Биохимия зерна и продуктов его переработки / Е.Д. Казаков, В.П. Кретович. – М.: Агропромиздат, 1989. – 368 с.

5. Биохимия / В.Г. Щербаков [и др.]. – М.: Колос, 2003. – 440 с.

6. Тюльдюков, В.А. Теория и практика луговодства / В.А. Тюльдюков. – М.: Росагропромиздат. – 1988. – 223 с.

7. Емельянова, Н.А. Белки семян и масличных культур / Н.А. Емельянова, А.Г. Тихонова. – М.: Колос, 1977. – 312 с.

8. Беркутова, Н.С. Методы оценки и формирование качества зерна. – М.: Росагропромиздат. – 1991. – 206 с.

9. Крецу, Л.Г. Мир пищевых растений / Л.Г. Крецу, Л.Г. Домащенко, М.Д. Соколов; под. ред. А.Ф. Палия. – Кишинев, 1989. – 328 с.

10. Купцов, Н.С. Роль белка и его аминокислотный состав в основных зерно-фуражных культурах / Н.С. Купцов, В.Ч. Шор // Наше сельское хозяйство. – 2009. – № 5. – С. 8–13.

11. Кретович, В.Л. Биохимия зерна и хлеба / В.Л. Кретович. – М.: Наука, 1991. – 136 с.

12. Gratzfeld-Huesgen, A. Sensitive and Reliable Amino Acid Analysis in Protein Hydrolysates using the Agilent 1100 Series HPLC: Technical Note: Publication Number 5968–5658E / A. Gratzfeld-Huesgen // Agilent Technologies. – 1999. – 12 p.

13. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / И.А. Костевич [идр.] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2011. – 283 с.

COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPOSITION OF ESSENTIAL AMINO ACIDS IN BASIC PRODUCTION OF CEREALS

D.V. Markevich, Yu.V. Putyatin, O.M. Tavrykina

As a result of long-term investigation of amino acids composition (lysine, threonine, valine, methionine, isoleucine, leucine, phenylalanine) in grain it is established, that under the averaged specific contents of critical amino acids winter and spring cereals can be ranged on decrease in a following order, g/kg: baregrained oats (12,86) > barley (8,91) > spring wheat (8,18) > buckwheat (7,76) > winter triticale (7,75) > winter wheat (7,03) > spring triticale (6,91) > winter rye (6,75) > oats (6,7) > millet (5,37); essential amino acids: bare-grained oats (42,36) > barley (33,74) > millet (30,54) > spring wheat (30,03) > winter wheat (28,72) > winter triticale (26,92) > buckwheat (25,98) > oats (25,89) > winter rye (24,81) > spring triticale (24,33). Differences of averages on a specific yield of critical amino acids with grain on 1 hectare have been found up to 2,5 times, essential amino acids – up to 1,7 times.

Поступила 05.04.13

УДК 631.82:633.15:631.445.2

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ОБМЕННЫМ МАГНИЕМ И ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И БИОХИМИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО ЗЕРНА КУКУРУЗЫ

О.М. Таврыкина, И.М. Богдевич, Ю.В. Путятин, Е.С. Третьяков, В.А. Довнар, Д.В. Маркевич
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Кукуруза является важнейшей зерновой культурой в экономике многих стран: она используется на кормовые цели как сырье для ряда отраслей промышленности и широко употребляется населением в качестве продукта питания. Ежегодное потребление кукурузы в некоторых регионах достигает 120–137 кг на душу населения [1, 2].

В Беларуси кукуруза возделывается на площади 800–840 тыс. га, основные площади ее посева в стране используются на силос и лишь около 100 тыс. га – на зерновые цели. За последнее время у нас производилось 446–551 тыс. т зерна кукурузы в год со средней урожайностью 47–49 ц/га [3]. Однако объемы производства кукурузы увеличиваются, и в перспективе их планируется довести до 1 млн т и более. Зерно используется на продовольственные (2 %), технические (15–20 %) и фуражные цели (60–65 %) [4].

Кукуруза обладает рядом ценных свойств – большим содержанием крахмала, высокой переваримостью (до 90 % органического вещества) и питательной ценностью (1,34 к. ед. в 1 кг корма), что обуславливает ее использование в животноводстве в качестве основы рационов [5]. Однако, подобно другим злакам, использование кукурузы в качестве единственного в рационе корма также ограничено, прежде всего, из-за невысокого содержания протеина и недостаточности его аминокислотного состава. Имеющийся в эндосперме зерна белок зеин, занимающий большую часть протеина, дефицитен по таким аминокислотам, как лизин, метионин и триптофан. В целом в 1 кг зерна кукурузы содержится всего 2,8 г лизина, 2,7 г метионина и цистина, 0,8 г триптофана [6]. Значение этих аминокислот трудно переоценить. Введение их в рацион животного в достаточном количестве повышает использование других аминокислот в организме на 20–30 %, что позволяет обходиться без белков животного происхождения, более экономно использовать растительные корма при том же ростовом эффекте.

Кукуруза очень чувствительна к недостатку кальция и магния. Магний входит в состав хлорофилла, участвует в синтезе аминокислот. Недостаток магния проявляется при неблагоприятных почвенных и погодных условиях, при разрушенной структуре почвы, при избытке катионов–антагонистов. Это негативно влияет на процессы цветения и опыления, ограничивается завязывание початков, уменьшается их озерненность. Критическая фаза – завязывание и формирования зерна [7].

Существенное отклонение от нормы соотношения катионов K/(Ca+Mg) в кормах из-за несбалансированного содержания этих элементов в почве является причиной снижения продуктивности скота, может вызвать заболевание животных пастбищной тетанией.

Если биологические особенности кукурузы в отношении потребности в азоте, фосфоре и калии сравнительно хорошо изучены, то сведения о влиянии магния и серы на урожайность и качество зерна ограничены. До сих пор исследования по влиянию магниевых и серосодержащих удобрений на урожайность кукурузы в зависимости от обеспеченности почвы магнием в Беларуси не проводились.

С учетом существующей в республике пестроты плодородия почв, повышения доли высокообеспеченных магнием почв оценка потребности растений кукурузы в магнии на контрастных уровнях обеспеченности почвы этим элементом при внесении разных доз удобрений и проведении внекорневых магниевых подкормок позволит определить оптимальные параметры обеспеченности почвы и растений магнием, обоснованную систему применения минеральных удобрений и магниевых подкормок для получения высокой урожайности и качества зерна кукурузы.

Цель исследования – установить влияние обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием и удобрений на урожайность и биохимическое качество зерна кукурузы.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось в 2010–2011 гг. в модельном стационарном полевом опыте, заложенном в двух полях в СПК «Щемыслица» Минского района, на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощных лессовидных суглинках.

В 2010 г. на поле № 1, в 2011 г. на поле № 2 было создано четыре уровня (блока) обеспеченности почвы обменным Mg (1 н KCl):

– 74 (61–82, n = 40);
– 120 (87–144, n = 40);
– 181 (156–196, n = 40);
– 240 мг/кг почвы (215–267, n = 40).

Высокие уровни содержания обменного Mg на делянках создавались путем внесения разных доз легкорастворимого удобрения – сульфата магния ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$). Агрохимические параметры почвы (pH_{KCl}, гумус, P_2O_5, K, Ca, Mg) были определены до и после насыщения опытных делянок. Посев гибрида кукурузы Дельфин согласно севообороту на поле № 1 был произведен в 2010 г., на поле № 2 – в 2011 г. в оптимальные сроки.

Содержание обменного кальция выравнивали по каждой делянке путем внесения расчетных доз мела. В результате содержание обменного Ca было выравнено в пределах 908–1145 мг/кг почвы. Таким образом, были созданы контрастные эквивалентные уровни соотношений Ca^{2+}:Mg^{2+}, соответственно 10,7–6,5–3,9–2,7. Реакция почвы, pH KCl, различалась на полях незначительно, в пределах 6,11–6,42. Содержание гумуса (по Тюрину) составило по опыту 1,72–2,02 %, подвижных фосфатов (0,2 н HCl) – 211–295 мг/кг почвы, подвижных форм калия, K_2O (0,2 н HCl) – 237–313 мг/кг почвы, S (1 M KCl) – 9,5–10,8 мг/кг.

На каждом блоке в обоих полях исследовано действие базового варианта системы удобрений, двух форм серосодержащих удобрений и некорневых подкормок 4 % раствором сульфата магния по схеме опыта:

1. Контроль (без удобрений);
2. $N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон;
3. Фон + S^{*}_{60};
4. Фон + S^{**}_{60};
5. Фон + S^{**}_{60} + Mg_{10} + Mg_{10},

где S* – сера в форме фосфогипса; S** – сера в форме сульфата аммония.

Минеральные удобрения в виде карбамида, калия хлористого, аммофоса, сульфата аммония, фосфогипса внесены весной под предпосевную культивацию согласно схеме опыта. Некорневые подкормки на кукурузе проводились дважды – в стадию раннего развития растений (6–8 листьев) и перед фазой начала выхода кукурузы в метелку. Агротехника возделывания кукурузы на опытных полях – общепринятая для данной зоны. Учет урожая зерна кукурузы был проведен методом учетных площадок. Повторность опыта 4-кратная, размещение делянок рендомизированное. Общая площадь делянки – 12 м^2, учетная – 8 м^2.

В образцах растений определяли: сухое вещество – высушиванием в сушильном шкафу; общий азот, фосфор, калий, кальций, магний – из одной навески после мокрого озоления серной кислотой; азот – методом Къельдаля, фосфор – на фотоэлектроколориметре, калий – на пламенном фотометре; кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрофотометре. Из качественных характеристик зерна определяли содержание сырого белка, рассчитанное по общему азоту. Содержание сырого белка вычисляли умножением общего азота на коэффициент пересчета азота на белок – 6,25. Определение содержания критических и незаменимых аминокислот (треонин, валин, метионин, изолейцин, лейцин, фенилаланин) и аминокислоты глутамин проводилось на жидкостном хроматографе Agilent 1100. Содержание аминокислоты лизин в зерне кукурузы было ниже предела обнаружения прибором (предел обнаружения лизина составляет 1,55 пмоль), поэтому в результатах она не представлена.

Расчет биологической ценности белка методом оценки по «химическому числу» производился путем выражения каждой незаменимой аминокислоты в зерне кукурузы в процентном отношении к содержанию этой аминокислоты в белке цельного куриного яйца. При расчете «аминокислотного скора» использовали тот же метод, только в нем в качестве идеальной аминокислотной шкалы применяется аминокислотная шкала Всемирной организации здравоохранения и комитета по продовольствию ООН (ФАО/ВОЗ).

Статистическая обработка результатов исследований выполнена по Б.А. Доспехову (1985) с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на компьютере.

Гидротермические условия вегетационных периодов в годы исследования оказались благоприятными для роста и развития кукурузы, что отразилось на соответствующих показателях урожайности и качества культуры. Среднемесячная температура воздуха за вегетационный период в 2010 и 2011 гг. оказалась выше нормы на 3,5°С и 2,3°С соответственно, количество

осадков в отдельные месяцы превышало многолетние показатели в 2 и более раза. Результаты расчета ГТК показали, что май и июнь 2010–2011 гг. характеризовались как избыточно увлажненные (ГТК 1,9–2,6), а июль и август – как благоприятные месяцы с хорошим увлажнением (ГТК 1,3–1,5). ГТК за вегетационный период в 2011 г. составил 2,0, в 2010 г. – 1,7.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условия исследуемого периода способствовали получению высокой урожайности зерна кукурузы, достаточное увлажнение и высокие температуры воздуха позволили получить даже на неудобренных вариантах урожайность 97,7–115,0 ц/га (табл. 1). Урожайность зерна кукурузы на контрольных вариантах повышалась по мере увеличения содержания обменного магния в почве вплоть до уровня 240 мг Mg/кг почвы.

Таблица 1

Урожайность зерна кукурузы в зависимости от удобрений и обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием

Вариант	Урожайность зерна, ц/га			Прибавка зерна, ц/га от			
	2010 г.	2011 г.	среднее	содержания Mg в почве	минеральных удобрений	S удобрений	Mg удобрений
Mg 74 мг/кг почвы, Ca^{2+} : Mg^{2+} = 10,7							
Контроль (б/у)	86,6	108,7	97,7	–	–	–	–
$N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон	110,8	127,3	119,1	–	21,4	–	–
Фон + $*S_{60}$	119,2	130,7	125,0	–	27,3	5,9	–
Фон + $**S_{60}$	120,4	130,5	125,5	–	27,8	6,4	–
Фон + $**S_{60}$ + Mg_{10+10}	129,5	136,2	132,9	–	35,2	–	7,4
Mg 120 мг/кг почвы, Ca^{2+} : Mg^{2+} = 6,5							
Контроль (б/у)	96,1	119,3	107,7	10,0	–	–	–
$N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон	124,6	131,4	128,0	8,9	20,3	–	–
Фон + $*S_{60}$	132,7	133,6	133,2	8,2	25,5	5,2	–
Фон + $**S_{60}$	131,7	132,6	132,2	6,7	24,5	4,2	–
Фон + $**S_{60}$ + Mg_{10+10}	139,8	137,8	138,8	5,9	31,1	–	6,6
Mg 181 мг/кг почвы, Ca^{2+} : Mg^{2+} = 3,9							
Контроль (б/у)	100,1	128,0	114,1	16,4	–	–	–
$N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон	128,9	139,7	134,3	15,2	20,2	–	–
Фон + $*S_{60}$	130,6	140,5	135,6	10,6	21,5	1,3	–
Фон + $**S_{60}$	129,0	135,7	132,4	6,9	18,3	–1,9	–

Окончание табл. 1

Вариант	Урожайность зерна, ц/га			Прибавка зерна, ц/га от			
	2010 г.	2011 г.	среднее	содержания Mg в почве	минеральных удобрений	S удобрений	Mg удобрений
Фон + **S_{60} + Mg_{10+10}	130,1	133,1	131,6	–1,3	17,5		–0,8
Mg 240 мг/кг почвы, Ca^{2+} : Mg^{2+} = 2,7							
Контроль (б/у)	96,2	133,8	115,0	17,3	–	–	–
$N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон	115,3	139,2	127,3	8,2	12,3	–	–
Фон + *S_{60}	115,7	142,2	129,0	4,0	14,0	1,7	–
Фон + **S_{60}	114,2	139,9	127,1	1,6	12,1	–0,2	–
Фон + **S_{60} + Mg_{10+10}	113,6	140,5	127,1	–5,8	12,1	–	0,0
$НСР_{05}$ варианты	*6,11*	*6,62*	*6,37*				
уровни	*10,23*	*10,65*	*10,44*				

Урожайность зерна кукурузы на удобренных вариантах опыта повышалась при возрастании содержания обменного магния от 74 до 181 мг/кг почвы. Наибольшая урожайность зерна кукурузы 131,6–135,6 кг/га получена на третьем уровне обеспеченности почвы обменным магнием при содержании его в пределах 156–196 мг/кг и соотношении катионов Ca:Mg 3,9. Прибавка зерна на этом уровне составила 6,9–15,2 ц/га. При повышении содержания обменного магния в почве до 240 мг·$кг^{-1}$ и соответствующем эквивалентном соотношении Ca:Mg 2,7 наблюдалось снижение урожайности зерна кукурузы в среднем на 3–8 %. Наиболее низкие показатели урожайности зерна кукурузы, не превышающие 129 ц/га на фоне внесения минеральных удобрений, отмечены при самом низком и самом высоком содержании обменного Mg и соотношениях катионов Ca:Mg в почве.

Наибольшие прибавки зерна кукурузы в опыте получены от внесения минеральных удобрений, в особенности на низкообеспеченном магнием уровне при 74 мг Mg на кг почвы. Эффективность удобрений при этом оказалась наибольшей и прибавка составила 21,4–35,2 ц/га, в то время как на почве с содержанием обменного магния 240 мг/кг она оказалась в два раза меньшей и составила 12,1–14,0 ц/га.

Внесение серосодержащих удобрений обеспечило прибавку зерна только на первых двух уровнях содержания обменного магния, достоверной была прибавка при внесении 60 кг/га сульфата аммония на первом уровне содержания обменного Mg в почве – 6,4 ц/га.

Прибавки урожайности зерна кукурузы от некорневых подкормок $MgSO_4$ были достоверными только на первых двух уровнях и снижались по мере повышения содержания обменного Mg в почве. При содержании Mg 74 мг/кг почвы прибавка урожая зерна составила 7,4 ц/га, при содержании 120 мг Mg/кг почвы – 6,6 ц/га.

Таким образом, повышение содержания обменного магния в диапазоне 74–181 мг/кг почвы сопровождалось увеличением урожайности зерна кукурузы на 5–13 %. Система удобрения, включающая внесение $N_{110+30}P_{60}K_{120} + S^{**}_{60} + Mg_{10+10}$, повышала урожайность зерна на 31,1–35,2 ц/га в диапазоне содержания Mg 74–120 мг/кг почвы. Наибольшая урожайность зерна 138,8 ц/га была получена при возделывании кукурузы по вышеуказанной системе удобрения на почве с содержанием Mg 120 мг/кг. Дальнейшее повышение содержания обменного магния до 240 мг/кг почвы приводило к ее небольшому недобору.

Содержание белка в зерне кукурузы изменялось в пределах опыта по уровням и вариантам от 8,0 до 9,6 % (табл. 2). При возрастании содержания обменного магния в почве до 181 мг/кг прибавка сырого белка составила на удобренных вариантах 0,2–0,9 % по сравнению с низким уровнем содержания обменного магния, от внесения удобрений на этом уровне – 0,7–1,5 %. На высокообеспеченной магнием почве содержание сырого белка несколько снижалось.

Сбор сырого белка по вариантам опыта составил 709–1061 кг/га на первом уровне обеспеченности магнием, 797–1148 – на втором, 834–1146 – на третьем, 812–1061 кг/га – на четвертом.

Наибольшее содержание и сбор белка 9,6 % и 1140–1146 кг/га соответственно обеспечило внесение фоновых удобрений совместно с сульфатом аммония и магниевыми подкормками на третьем уровне обеспеченности почвы обменным магнием 181 мг Mg/кг почвы и при соотношении катионов Ca:Mg 3,9.

Таблица 2

Влияние удобрений и обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием на содержание и сбор сырого белка в зерне кукурузы (среднее за 2010–2011 гг.)

Вариант	Содержание сырого белка	Сбор сырого белка	Прибавка сырого белка от			
			Mg в почве	удобрений	Mg в почве	удобрений
	%	кг/га	%		кг/га	
Mg 74 мг/кг почвы, $Ca^{2+} : Mg^{2+} = 10,7$						
Контроль (б/у)	8,0	709	–	–	–	–
$N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон	8,3	884	–	0,3	–	175
Фон + $*S_{60}$	8,5	956	–	0,5	–	247
Фон + $**S_{60}$	9,4	1061	–	1,4	–	352
Фон + $**S_{60} + Mg_{10+10}$	8,8	1044	–	0,8	–	335
Mg 120 мг/кг почвы, $Ca^{2+} : Mg^{2+} = 6,5$						
Контроль (б/у)	8,3	797	0,3	–	88	–
$N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон	8,5	981	0,2	0,2	97	184

Окончание табл. 2

Вариант	Содержание сырого белка	Сбор сырого белка	Прибавка сырого белка от			
			Mg в почве	удобрений	Mg в почве	удобрений
	%	кг/га	%		кг/га	
Фон + $*S_{60}$	9,2	1101	0,7	0,9	145	304
Фон + $**S_{60}$	9,2	1093	–0,2	0,9	32	296
Фон + $**S_{60}$ + Mg_{10+10}	9,2	1148	0,4	0,9	104	351
Mg 181 мг/кг почвы, Ca^{2+} : Mg^{2+} = 3,9						
Контроль (б/у)	8,1	834	0,1	–	125	–
$N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон	8,8	1058	0,5	0,7	174	224
Фон + $*S_{60}$	9,4	1145	0,9	1,3	189	311
Фон + $**S_{60}$	9,6	1146	0,2	1,5	85	312
Фон + $**S_{60}$ + Mg_{10+10}	9,6	1140	0,8	1,5	96	306
Mg 240 мг/кг почвы, Ca^{2+} : Mg^{2+} = 2,7						
Контроль (б/у)	8,1	812	0,1	–	103	–
$N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон	9,2	1047	0,9	1,1	163	235
Фон + $*S_{60}$	9,2	1061	0,7	1,1	105	249
Фон + $**S_{60}$	9,0	1023	–0,4	0,9	–38	211
Фон + $**S_{60}$ + Mg_{10+10}	9,0	1023	0,2	0,9	–21	211
$НСР_{05}$ варианты уровни	*0,15 0,26*	*40 76*				

Как известно, питательная ценность белка определяется количеством и составом незаменимых аминокислот – лизина, треонина, валина, метионина, фенилаланина, изолейцина, лейцина.

По результатам наших исследований было выявлено, что наибольшее содержание критических и незаменимых аминокислот в среднем по вариантам оказалось на уровне с содержанием магния 120 мг/кг почвы (табл. 3). Содержание критических аминокислот составило на этом уровне 3,98–4,19, незаменимых – 25,32–26,60 г/кг зерна. Определенной зависимости между содержанием аминокислот и вносимыми удобрениями обнаружено не было.

Из незаменимых аминокислот в зерне кукурузы преобладал лейцин, его количество составило от 9,90 до 12,35 г/кг зерна, содержание метионина было минимальным – 0,74–1,47 г/кг зерна. Однако больше всего в зерне кукурузы содержалось аминокислоты глутамин – 12,55–16,57 г/кг зерна, или 143,4–180,9 мг/г белка. Нужно отметить, что на повышенном уровне содержания магния при 240 мг/кг почвы содержание глутамина увеличивалось.

Таблица 3

Влияние минеральных удобрений и обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием на содержание аминокислот в зерне и белке кукурузы гибрида Дельфин

Вариант	г/кг зерна								мг/г белка							
	Треонин*	Валин	Метионин*	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Гистамин	ΣАкр*	ΣАкн	Треонин*	Валин	Метионин*	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Гистамин	ΣАкр*	ΣАкн
Mg 74 мг/кг почвы, Ca^{2+} : Mg^{2+} = 10,7																		
Контроль (б/у)	2,72	3,42	1,02	3,80	2,47	10,77	13,09	3,74	24,20	31,2	38,8	11,6	43,3	28,0	123,2	149,2	42,8	276,1
$N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон	2,73	3,75	1,41	4,01	2,79	11,35	13,97	4,14	26,04	33,0	45,0	17,2	48,3	33,3	137,0	168,2	50,2	313,7
Фон + S^{*}_{60}	2,73	3,60	1,23	3,81	2,63	11,04	14,25	3,96	25,04	32,2	41,9	14,4	44,7	30,5	129,8	165,5	46,6	293,5
Фон + S^{**}_{60}	2,52	3,60	1,29	3,85	2,48	10,72	13,87	3,81	24,46	26,8	38,1	13,7	40,7	26,3	113,8	146,8	40,5	259,5
Фон + S^{**}_{60} + Mg_{10+10}	2,69	3,74	1,30	3,88	2,76	11,15	14,87	3,99	25,52	31,0	42,5	15,2	44,3	31,2	127,5	168,2	46,2	291,7
Mg 120 мг/кг почвы, Ca^{2+} : Mg^{2+} = 6,5																		
Контроль (б/у)	2,83	3,87	1,33	4,17	2,80	11,60	14,70	4,16	26,60	34,3	46,4	16,5	50,1	33,5	140,0	176,2	50,8	320,8
$N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон	2,79	3,67	1,35	3,96	2,66	11,36	14,41	4,14	25,79	32,7	42,4	15,8	46,1	30,7	132,7	166,7	48,5	300,5
Фон + S^{*}_{60}	2,72	3,82	1,47	4,01	2,81	11,38	14,89	4,19	26,21	29,6	41,3	16,0	43,6	30,4	123,9	161,4	45,6	284,8
Фон + S^{**}_{60}	2,72	3,73	1,26	3,88	2,70	11,03	14,12	3,98	25,32	29,6	40,4	13,7	42,2	29,2	119,9	152,8	43,4	275,0
Фон + S^{**}_{60} + Mg_{10+10}	2,75	3,68	1,40	3,87	2,73	11,02	14,10	4,15	25,44	29,9	39,7	15,2	41,8	29,4	119,4	152,2	45,1	275,6

Окончание табл. 3

Вариант	г/кг зерна								мг/г белка							
	Треонин*	Валин	Метионин*	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Глутамин	ΣАкр*	ΣАкн	Треонин*	Валин	Метионин*	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Глутамин	ΣАкр*	ΣАкн
Mg 181 мг/кг почвы, Ca^{2+} : Mg^{2+} = 3,9																		
Контроль (б/у)	2,48	3,25	0,95	3,39	2,41	9,96	12,55	3,43	22,44	30,6	40,3	11,7	41,9	29,9	123,0	155,8	42,3	277,4
$N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон	2,52	3,17	0,97	3,34	2,48	9,90	12,55	3,49	22,38	28,8	36,2	11,0	38,2	28,3	113,1	143,4	39,8	255,7
Фон + S^{*}_{60}	2,87	3,81	0,93	3,89	2,81	11,50	14,79	3,80	25,81	30,6	40,0	10,0	41,1	29,4	121,9	155,1	40,6	273,0
Фон + S^{**}_{60}	2,77	3,38	0,74	3,81	2,73	11,26	14,35	3,51	24,69	28,8	35,1	7,7	39,6	28,3	117,0	149,1	36,5	256,5
Фон + S^{**}_{60} + Mg_{10+10}	2,89	3,52	0,76	3,91	2,80	11,51	14,80	3,65	25,38	30,0	36,6	7,8	40,6	29,0	119,5	153,8	37,9	263,6
Mg 240 мг/кг почвы, Ca^{2+} : Mg^{2+} = 2,7																		
Контроль (б/у)	2,56	3,46	1,29	3,72	2,51	10,79	13,31	3,85	24,33	33,0	43,5	16,7	47,6	31,4	139,0	167,3	49,7	311,2
$N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон	2,69	3,58	1,24	3,87	2,65	11,22	16,57	3,93	25,24	29,3	38,7	13,5	42,0	28,6	122,1	180,9	42,9	274,3
Фон + S^{*}_{60}	2,55	3,40	1,17	3,62	2,50	10,23	13,31	3,72	23,47	27,8	36,8	12,8	39,3	27,0	111,3	144,1	40,6	255,0
Фон + S^{**}_{60}	2,60	4,03	1,42	4,28	3,00	12,35	16,19	4,02	27,68	29,0	44,9	15,9	47,8	33,4	138,1	180,6	44,9	309,2
Фон + S^{**}_{60} + Mg_{10+10}	2,61	3,84	1,26	4,02	2,83	11,61	15,03	3,87	26,17	29,1	42,7	14,1	44,8	31,5	129,6	167,1	43,3	291,9
$НСР_{05}$ варианты	*0,121*	*0,320*	*0,105*	*0,421*	*0,314*	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
уровни	*0,154*	*0,365*	*0,132*	*0,473*	*0,387*													

Из-за высокого содержания в зерне кукурузы глутамина его используют для получения в производственных условиях глутаминовой кислоты, которую применяют при лечении невритов, прогрессивной мышечной дистрофии, психозов, эпилепсии, полиомиелитов. Она является составной частью фолиевой кислоты и играет важную роль в деятельности головного мозга, сердца и процессе кроветворения. Глютаминовая кислота широко применяется в пищевой промышленности при консервировании свежих продуктов и овощей [8].

Питательная ценность аминокислот белка зерна зависит от того, какая доля из них способна усваиваться организмом. Помимо технологических особенностей, питательная ценность белкового комплекса зерна определяется его физико-химическими свойствами, а также соответствием его аминокислотного состава составу тех белков, на построение которых он используется в организме человека или животных. Содержание и степень использования поступающих в организм аминокислот характеризует их биологическую ценность.

Биологическая ценность критических аминокислот белка кукурузы по сравнению с цельным яйцом (химическое число) была невысокой и практически не изменялась в зависимости от уровня обеспеченности почвы обменным магнием, несколько снижаясь лишь на третьем уровне Mg. Химическое число незаменимых аминокислот составило: на первом уровне обеспеченности обменным магнием – 64,4–77,8 %, на втором – 68,2–79,6 %, на третьем – 63,5–68,8 %, на четвертом – 63,3–77,2 %.

По аминокислотному скору критических аминокислот содержалось 30,6–42,7 % от показателей, рекомендуемых ФАО/ВОЗ, незаменимых – 81,4–102,2 %.

Таблица 4

Биологическая ценность белка кукурузы гибрида Дельфин

Вариант	Химическое число, %		Аминокислотный скор, %	
	$АК_{кр}$	$АК_{н}$	$АК_{кр}$	$АК_{н}$
Mg 74 мг/кг почвы, Ca^{2+} : Mg^{2+} = 10,7				
Контроль (б/у)	27,1	68,5	36,0	87,9
$N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон	31,7	77,8	42,1	99,9
Фон + S^{*}_{60}	29,5	72,8	39,2	93,5
Фон + S^{**}_{60}	25,7	64,4	34,1	82,6
Фон + S^{**}_{60} + Mg_{10+10}	29,2	72,4	38,8	92,9
Mg 120 мг/кг почвы, Ca^{2+} : Mg^{2+} = 6,5				
Контроль (б/у)	32,2	79,6	42,7	102,2
$N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон	30,7	74,6	40,7	95,7
Фон + S^{*}_{60}	28,9	70,7	38,3	90,7
Фон + S^{**}_{60}	27,4	68,2	36,4	87,6
Фон + S^{**}_{60} + Mg_{10+10}	28,6	68,4	37,9	87,8

Окончание табл. 4

Вариант	Химическое число, %		Аминокислотный скор, %	
	$АК_{кр}$	$АК_{н}$	$АК_{кр}$	$АК_{н}$
Mg 181 мг/кг почвы, Ca^{2+} : Mg^{2+} = 3,9				
Контроль (б/у)	26,8	68,8	35,5	88,4
$N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон	25,2	63,5	33,5	81,4
Фон + S^{*}_{60}	25,7	67,7	34,1	86,9
Фон + S^{**}_{60}	23,1	63,6	30,6	81,7
Фон + S^{**}_{60} + Mg_{10+10}	24,0	65,4	31,8	84,0
Mg 240 мг/кг почвы, Ca^{2+} : Mg^{2+} = 2,7				
Контроль (б/у)	31,5	77,2	41,8	99,1
$N_{110+30}P_{60}K_{120}$ – фон	27,1	68,1	36,0	87,3
Фон + S^{*}_{60}	25,7	63,3	34,1	81,2
Фон + S^{**}_{60}	28,4	76,7	37,7	98,5
Фон + S^{**}_{60} + Mg_{10+10}	27,4	72,4	36,4	93,0

Для оценки кормового качества зерна кукурузы на разных уровнях обеспеченности почвы магнием был использован показатель соотношения катионов К/(Ca+Mg) (рис. 1). С учетом допустимого предела 2,2 на всех уровнях обеспеченности почвы магнием значения данного соотношения находились в его границах и изменялись от 2,0 на первом уровне до 1,1 на последнем при высоком содержании в почве магния.

Оптимальные значения показателя, составляющие по данным ветеринарной службы 1,0–1,3, были выявлены при средней обеспеченности почвы обменным магнием.

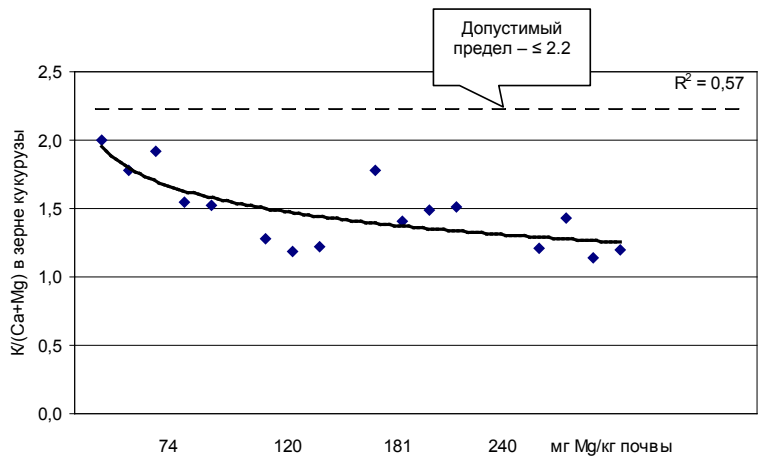


Рис. 1. Влияние содержания обменного магния в почве на соотношение катионов К/(Ca+Mg) в зерне кукурузы (вариант $N_{110+30}P_{60}K_{120}$)

ВЫВОДЫ

1. Повышение содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в диапазоне 74–181 Mg мг/кг почвы и соответствующее изменение соотношения катионов Ca:Mg с 10,7 до 3,9 сопровождалось увеличением урожайности зерна кукурузы на 5–13 % (6,9–15,2 ц/га). Дальнейшее повышение содержания Mg до 240 мг/кг почвы и сужение соотношения Ca:Mg до 2,7 приводило к небольшому снижению его урожайности.

2. Некорневые подкормки растений сульфатом магния были эффективными при содержании обменного магния 74 и 120 мг Mg/кг почвы, прибавки урожайности зерна составили 7,4 и 6,6 ц/га соответственно. В целом система удобрения, включающая внесение $N_{110+30}P_{60}K_{120}$ + $S_{60(сульфат\ аммония)}$ и некорневые подкормки Mg_{10+10}, повышала урожайность зерна кукурузы на 28,3–35,2 ц/га в диапазоне содержания Mg 74–120 мг/кг почвы. При более высоком содержании обменного магния в почве некорневые подкормки сульфатом магния и дополнительное внесение серосодержащих удобрений были неэффективными.

3. Содержание сырого белка в зерне кукурузы существенно повышалось (на 0,9–1,5 %) под действием фонового $N_{110+30}P_{60}K_{120}$ и серосодержащих удобрений и было наибольшим (9,6 %) при содержании обменного магния в почве 181 мг/кг почвы. Аминокислотный состав белка мало изменялся от исследуемых факторов. Наибольшее содержание критических и незаменимых аминокислот в среднем по вариантам оказалось на уровне с содержанием магния 120 мг/кг почвы. Содержание критических аминокислот составило на этом уровне 3,98–4,19, незаменимых – 25,32–26,60 г/кг зерна.

4. Биологическая ценность критических и незаменимых аминокислот белка кукурузы по сравнению с цельным яйцом (химическое число) была невысокой и практически не изменялась в зависимости от уровня обеспеченности почвы обменным магнием, несколько снижаясь лишь на третьем уровне Mg. По аминокислотному скору критических аминокислот содержалось 30,6–42,7 % от показателей, рекомендуемых ФАО/ВОЗ, незаменимых – 81,4–102,2 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин, В.С. Раннеспелая кукуруза: состояние и перспективы / В.С. Ильин, И.В. Ильин. – Омск, 2001. – 172 с.

2. Созинов, А.А. Улучшение качества зерна озимой пшеницы и кукурузы / А.А. Созинов, Т.П. Жемела. – М.: Колос. – 1983. – 270 с.

3. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. ком. РБ. – 2011. – 282 с.

4. Кукуруза: выращивание, уборка, хранение и использование / под ред. Д. Шпаар. – 4-е изд. – 2012. – 464 с.

5. Циков, В.С. Интенсивная технология возделывания кукурузы / В.С. Циков, Л.А. Матюха. – М.: Агропромиздат, 1989. – 246 с.

6. Казаков, Е.Д. Биохимия зерна и хлебопродуктов / Е.Д. Казаков, Г.П. Карпиленко. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 512 с.

7. Руководство по возделыванию кукурузы на зерно / В.В. Мелехов [и др.]. – Волгоград, 2003. – 123 с.

8. Крецу, Л.Г. Мир пищевых растений / Л.Г. Крецу, Л.Г. Домащенко, М.Д. Соколов; под ред. А.Ф. Палия. – Кишинев, 1989. – 328 с.

EFFECT DIFFERENT LEVELS OF EXCHANGEBLE MAGNESIUM IN THE PODZOLUVISOL LOAM SOIL AND MINERAL FERTILIZERS ON THE YIELD AND BIOCHEMICAL QUALITY OF CORN GRAIN

O.M. Tavrykina, I.M. Bogdevich, Yu.V. Putyatin, E.S. Tret'yakov, V.A. Dovnar, D.V. Markevich

Summary

As a result of model stationary field experiment with different exchangeable magnesium content in the podzoluvisol loam soil (1 n KCl) 74–120–181–240 mg Mg/kg and varying Ca:Mg ratios 10,7–6,5–3,9–2,7 it was found increasing corn grain yield on 5–13 % (6,9–15,2 c/ha) in the soil with Mg content 74–181 mg/kg and equivalent Ca:Mg ratio 3,9. Subsequent increasing exchangeable magnesium content to 240 mg/kg and narrowing Ca:Mg ratio to 2,7 was result to small decrease corn grain yield.

Carring out foliar spray of corn plant by magnesium sulfate was effective at exchangeable magnesium content 74 and 120 mg/kg with yield response 7,4 and 6,6 c/ha correspondingly.

Raw protein content in corn grain essential increased (on 0,9–1,5 %) in result of application basic fertilizer system $N_{110+30}P_{60}K_{120}$ and sulfur fertilizers, highest raw protein (9,6 %) was obtained at 181 mg/kg exchangeable magnesium content. Amino acid composition of corn protein and biological value of critical and essential amino acids was change a little against investigate factors.

Поступила 10.04.13

УДК 633.521:631.82:581.14.04

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И БРАССИНОСТЕРОИДОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО И ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ

А.А. Ходянков, И.Ю. Гаврюшин

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

В нашей стране большое значение придается изучению технологических аспектов возделывания льна-долгунца, в то же время в научном и производственном направлениях недостаточно внимания уделяется льну масличному. Это одна из перспективных сельскохозяйственных культур комплексного использования, возделываемая в основном для получения масла, которое обладает высокой ценностью (йодным числом 190–200) и используется для лакокрасочной, электротехнической, медицинской, пищевой и других отраслей промышленности [1].

Резервом повышения урожайности и качества продукции льна масличного являются более полное использование природных факторов и максимальная реализация биологического потенциала сортов льна интенсивного типа, разработка научно обоснованных агрохимических приемов, создающих оптимальные условия для роста и развития растений. Важное значение при этом отводится сбалансированному минеральному питанию растений макро- и микроэлементами, использованию новых высокоэффективных форм минеральных удобрений отечественного производства, применению регуляторов роста растений нового поколения [2].

В агрохимических и физиологических исследованиях всегда уделялось и уделяется большое внимание изучению химического состава растений, так как удовлетворение их потребностей в элементах питания в течение всей вегетации является залогом получения высоких и качественных урожаев [3].

Скорость поступления элементов питания во многом зависит от активности биохимических процессов обмена веществ в растении, интенсивности фотосинтеза, образования углеводов и других органических веществ, обусловленных погодными и почвенными условиями, дозами и формами применяемых минеральных удобрений [4].

Лен масличный отличается специфичностью питания, потребляя на формирование значительно больше питательных элементов, чем другие масличные культуры, одновременно неравномерно поглощая их по фазам роста и развития [5].

Из всех элементов питания лен больше всего поглощает азот, являющийся необходимой составной частью белков [4]. Действие азота на рост и развитие льна многообразно. При достаточном количестве других элементов он способствует более быстрому росту растений, образованию мощной зеленой надземной массы, удлиняет цветение и созревание, а в целом повышает как общий урожай, так и урожай семян в частности.

Среди зольных элементов, входящих в состав растений льна, особое место занимает фосфор. Этот питательный элемент стимулирует развитие корневой системы, способствует сокращению вегетационного периода, обеспечивает благоприятное строение стебля, улучшает качество волокна, повышает семенную продуктивность. Фосфор накапливается в растениях там же, где и азот, т. е. в репродуктивных органах, в которых происходят интенсивные процессы синтеза органических веществ, участвуя главным образом в аккумуляции и передаче энергии. При достаточном количестве в почве подвижной фосфорной кислоты потребление растениями азота сокращается. Вследствие этого в растениях льна образуется правильное соотношение между белками и углеводами, что в конечном итоге положительно сказывается на урожае волокна и его качестве [4, 6].

Масличный лен, как и лен-долгунец, требует большого количества калия. Установлено благоприятное действие калия на образование волокна и улучшение его качества. Хорошее калийное питание обеспечивает увеличение количества бутонов, цветков, способствует лучшему оплодотворению и формированию семян, ускоряет их созревание, усиливает устойчивость растений против полегания, засухи и заболевания ржавчиной [7].

Существенным фактором дальнейшего повышения урожайности сельскохозяйственных культур, по мнению ряда ученых [8, 9], является применение регуляторов роста растений. Среди регуляторов роста растений все большее внимание привлекают соединения класса брассиностероидов – фитогормонов природного происхождения. Они отличаются высокой биологической активностью, способствуют гармоничному росту и развитию растений на всех стадиях онтогенеза, повышая их устойчивость к стрессовым условиям произрастания, вредителям и болезням, в связи с чем увеличивается как урожайность, так и качество продукции [10, 11].

Установлено, что применение физиологически активных веществ брассиностероидов позволяет не только направленно регулировать рост и развитие растений, но и снижать на них стрессовое воздействие неблагоприятных метеорологических условий и средств химической защиты [10].

Несмотря на значительные успехи по изучению действия брассиностероидов на физиолого-биологические процессы развития сельскохозяйственных культур, их эффективность на льне масличном исследована недостаточно, чему и посвящены экспериментальные материалы, изложенные в данной статье.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2010–2012 гг. на опытном поле «Тушково» УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» были проведены исследования по изучению влияния различных форм минеральных удобрений и видов регуляторов роста, вносимых в баковых смесях со средствами химической защиты растений, на урожайность, качество основной и побочной продукции льна масличного, динамику содержания NPK в растениях, их вынос и коэффициенты использования.

Почва опытного участка – дерново-подзолистая легкосуглинистая. Характеризовалась следующими агрохимическими показателями: pH_{KCl} – 6,0–6,2; содержание подвижного P_2O_5 – 168–172; обменного K_2O – 175–181; B – 0,21–0,28; Zn – 2,5–2,7 мг/кг почвы; гумуса – 1,58–1,70 %. Объектом исследований являлся лен масличный сорта Брестский. Норма высева – 10 млн/га всхожих семян.

Общая площадь делянки – 28,8, учетная – 24,5 м^2. Повторность опыта – четырехкратная, предшественник – ячмень.

Из росторегуляторов в опытах использовали эпин и гомобрассинолид, синтезированные в ГНУ «Институт биоорганической химии НАН Беларуси».

Данные препараты повышают устойчивость растений к неблагоприятным факторам внешней среды (погодные условия, болезни, ядохимикаты и т. п.), взаимодействуя с компонентами гормональной системы растений; регулируют синтез и активность эндогенных ауксинов, цитокининов и абсцизовой кислоты; повышают активность фотосинтеза, белкового обмена; оказывают положительное влияние на элементы продуктивности растений, что приводит к существенному повышению урожайности и качества сельскохозяйственных культур [12].

Дозы брассиностероидов, вносимых по вегетирующим растениям, – 20 мг/га д.в. Из гербицидов использовали Агритокс (0,6 л/га) + Хармони (10 г/га) (начало фазы «елочка»), из фунгицидов – Дерозал (фаза бутонизация).

В опыте применяли однокомпонентные минеральные удобрения (мочевина, суперфосфат двойной и хлористый калий) и комплексное АФК удобрение с цинком и бором марки $N_6P_{21}K_{32}Zn_{0,27}B_{0,17}$.

В качестве комплексоната цинка и бора использовали Поликом Л – специальное микроудобрение с антихлорозными свойствами для льна, выращиваемого на известкованных почвах, с утяжеленным гранулометрическим составом. Это концентрат водного раствора микроэлементов с массовой долей цинка – 35 г/кг, меди – 4 г/кг и бора – 3 г/кг. В состав удобрения дополнительно входит хелатирующий агент для листового и корневого питания растений на основе биологически активных комплексонатов микроэлементов.

Схема опыта приведена в таблице 1.

Химические анализы почвы и растений выполняли согласно ГОСТам и методическим указаниям [13]. В пахотном слое почвы до закладки опытов исследовали:

– гумус – по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-84);

– обменную кислотность pH_{KCl} – потенциометрически (ГОСТ 26212-84);

– подвижные соединения P_2O_5 и K_2O – по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91);

– цинк – методом атомной абсорбции;

– бор – спектрофотоколориметрически с азометином-Н.

В отобранных по фазам растительных образцах после мокрого озоления серной кислотой определяли:

– содержание азота и фосфора – на фотоэлектроколориметре, калия – на пламенном фотометре (ГОСТ 26657-97);

– жир в семенах – методом инфракрасной спектроскопии с использованием компьютеризированной инфракрасной аналитической системы PSCO/ISI IBM-PC4250.

Основные цифровые данные обработаны дисперсионным методом анализа на ПЭВМ.

Погодные условия в годы исследований имели ярко выраженную своеобразность. Так, 2010 г. отличался повышенной температурой воздуха и недостаточным количеством атмосферных осадков, в то же время запасы продуктивной влаги под посевами льна в мае-июле были оптимальными. В 2011 г. метеорологические условия были близкими в среднемноголетним показателям. В 2012 г. температура воздуха во все фазы роста и развития льна была близка к среднемноголетним величинам, количество же осадков в апреле-июне превышало норму в 2 раза, что отодвинуло срок сева и привело к удлинению вегетационного периода растений. Однако это не повлияло на урожайность и качество льнопродукции, так как июль и первая декада августа для льна масличного были благоприятными.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность продукции льна масличного в наших опытах зависела от температуры воздуха и количества осадков, выпавших в течение вегетации растений, наличия в почве доступных элементов питания, вносимых макро-, микроудобрений и

брассиностероидов. Несмотря на неидентичные погодные условия, действие минеральных удобрений и физиологически активных веществ достаточно четко проявилось во все годы исследований.

Исследованиями выявлено, что комплексное минеральное удобрение имело существенное преимущество над эквивалентной дозой однокомпонентных форм (табл. 1). Действие комплексоната микроэлементов Поликом Л было достоверным не во все годы исследований, и средние за 3 года данные не позволяют говорить о его высокой эффективности, а лишь позволяют отметить тенденцию к повышению семенной продуктивности на фоне обработки посевов комплексонатом микроэлементов цинка и бора.

Брассиностероиды обеспечили достоверное повышение урожайности и масличности семян. Наибольшего внимания заслуживают следующие варианты. Внесение на фоне $N_{40}P_{60}K_{90}$ (комплексное АФК удобрение) эпина и гомобрассинолида в два приема: в начале фазы «елочки» в баковой смеси с гербицидами и комплексонатом микроэлементов Поликом Л, а также в фазу бутонизации в баковой смеси с фунгицидом Дерозал. При этом, в среднем за годы исследований урожайность семян составила 19,9–21,4 ц/га, при их масличности – 48,3–48,6 % и сборе масла – 9,29–9,84 ц/га.

В засушливых условиях вегетационного периода 2010 г. брассиностероиды позволили растениям противостоять стрессовым условиям произрастания, лен на делянках с регуляторами роста растений был темно-зеленым, сильно облиственным, общая высота растений увеличилась на 5–9 см. Во время ливневых дождей первой декады июля 2011 г. на делянках с брассиностероидами растения не полегли или полегли незначительно.

Опытами подтверждена возможность двухстороннего использования льна масличного Брестский: как на семенные цели, так и для получения льноволокна, пригодного для изготовления технических тканей. Как видно из таблицы 1, урожайность льнотресты на вариантах с внесением брассиностероидов достигала в среднем за три года 40,8–42,5 ц/га при номерности 1,08, а урожайность волокна – 10,4–10,8 ц/га при выходе волокна со стеблей льна – 26 %.

Потребление элементов минерального питания растениями в процессе онтогенеза является важнейшей составной частью круговорота веществ в земледелии. Содержание и соотношение питательных элементов у каждого вида растений изменяются в довольно узких пределах и связаны с критическими периодами их роста и развития, длительностью вегетационного периода [14].

Нами установлено, что по величине содержания в растениях основные элементы питания располагались в следующем порядке: K > N > P. Этот ряд отнюдь не служит показателем степени значимости того или иного элемента для жизнедеятельности льна масличного, поскольку каждый из них незаменим и функционально специфичен (табл. 2).

Исследования показали, что для льна характерно поступление питательных элементов более быстрыми темпами в начальный период роста и развития, так как нарастание биомассы в это время происходило значительно медленнее, чем в последующие фазы: содержание азота и зольных элементов в вегетативной части льна было более высоким в фазе «елочки» с постепенным снижением («разбавлением») на протяжении вегетации до уборки. В семенах к моменту уборки количество азота и фосфора было выше, чем в стеблях, что указывает на

перемещение этих элементов к периоду созревания льна из стеблей в репродуктивные органы. Содержание калия в стеблях и семенах льна к концу вегетации приблизительно выравнивалось.

В процессе исследований выявлено, что применение комплексного АФК удобрения в сравнении с однокомпонентными формами способствовало более активному поступлению всех трех элементов питания как в стебли, так и в семена льна.

Использование в баковой смеси с гербицидами комплексоната цинка и бора Поликом Л не оказало существенного влияния на содержание NPK в растениях.

Физиологически активные вещества – брассиностероиды – активизировали поступление основных элементов питания в растения льна масличного (во все фазы вегетации) как в вегетативные, так и в генеративные органы (табл. 2), что, очевидно, и явилось предпосылкой для формирования более высокой урожайности и качества льнопродукции на вариантах с применением эпина и гомобрассинолида.

Общая потребность растений в элементах минерального питания характеризуется их выносом или с общей урожайностью, или на единицу основной продукции, учитывая при этом соответствующее количество побочной. Различают «биологический вынос», или общую потребность растений в питательных элементах, необходимых для формирования урожайности определенного размера. В практических же целях чаще всего используют величину хозяйственного выноса элементов питания, отчуждаемых из почвы с урожаем. При этом не учитывается та часть питательных элементов, которая вновь возвращается в почву, находясь в стерне, корнях и т. д. Хозяйственный вынос обычно несколько ниже, чем общая потребность в элементах питания для создания такого же количества продукции.

Результаты наших опытов свидетельствуют о том, что наибольшее количество элементов питания выносят растения льна масличного, выращенные на фоне совместного применения комплексного АФК удобрения и брассиностероидов, вносимых за вегетацию дважды. Так, при применении на фоне $N_{40}P_{60}K_{90}$ эпина или гомобрассинолида в начале фазы «елочки» в баковой смеси с гербицидами и комплексонатом микроэлементов Поликом Л, а также в фазу бутонизации с фунгицидом Дерозал вынос элементов питания продукцией льна масличного (семена + солома) в среднем за три года исследований составил: N – 83,5 и 89,5; P_2O_5 – 49,9 и 52,8; K_2O – 82,5 и 86,1 кг/га соответственно.

Четкой зависимости изменения удельного выноса элементов питания (на 10 ц семян с учетом побочной продукции) от брассиностероидов не установлено (табл. 3).

Коэффициенты использования элементов питания из удобрений, рассчитанные разностным методом [15], зависели от применяемых минеральных удобрений, физиологически активных веществ и более высокими были также в вариантах с внесением эпина и гомобрассинолида в два приема. На этих вариантах коэффициенты использования азота составили 122,3 и 137,3 %, что свидетельствует о том, что азот льном масличным использовался не только из минеральных удобрений, но и из почвенных запасов, коэффициенты использования P_2O_5 – 49,3 и 54,2, K_2O – 50,3 и 54,3 % соответственно.

Таблица 1

Влияние удобрений и брассиностероидов на урожайность и качество продукции льна масличного

Вариант	Урожайность семян, ц/га				Среднее за 2010–2012 гг.						
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	среднее за 2010–2012 гг.	масличность семян, %	сбор масла, ц/га	урожайность соломы, ц/га	урожайность тресты, ц/га	средний номер тресты	выход волокна, %	урожайность волокна, ц/га
1. Контроль (без удобрений)	8,0	8,4	7,9	8,1	45,2	3,66	25,7	21,3	0,5	23	4,9
2. $N_{40}P_{60}K_{90}$ (однокомпонентные)	12,5	14,7	13,0	13,4	46,6	6,24	33,9	28,2	0,67	24	6,8
3. $N_{40}P_{60}K_{90}$ (комплексное АФК, 2,85 ц/га) + N_{23} (в однокомпонентном удобрении) – фон	13,2	16,4	14,8	14,8	47,3	7,00	37,4	31,0	0,83	25	7,7
4. Фон + комплексонат Zn и B в баковой смеси с гербицидами	14,4	16,6	15,8	15,6	47,6	7,40	40,9	33,9	0,83	25	8,4
5. Фон + комплексонат Zn и B + эпин в баковой смеси с гербицидами	16,3	17,8	16,9	17,0	47,8	8,11	43,6	36,2	0,92	25	9,0
6. Фон + комплексонат Zn и B + гомобрассинолид в баковой смеси с гербицидами	16,6	18,3	18,2	17,7	47,8	8,46	45,4	37,6	0,92	25	9,4
7. Фон + комплексонат Zn и B + гербициды + фунгицид	14,8	18,0	16,1	16,3	47,4	7,69	41,8	34,6	0,83	25	8,5
8. Фон + комплексонат Zn и B и гербициды + фунгицид и эпин	16,9	18,5	18,6	18,0	47,8	8,60	45,3	37,6	0,92	25	9,4
9. Фон + комплексонат Zn и B и гербициды + фунгицид и гомобрассинолид	17,3	18,9	19,6	18,6	48,0	8,93	45,9	37,8	0,92	25	9,5
10. Фон + комплексонат Zn и B и эпин в баковой смеси с гербицидами + фунгицид и эпин	17,7	19,8	22,2	19,9	48,3	9,29	49,2	40,8	1,08	26	10,4
11. Фон + комплексонат Zn и B и гомобрассинолид в баковой смеси с гербицидами + фунгицид и гомобрассинолид	18,1	21,4	24,7	21,4	48,6	9,84	50,9	42,5	1,08	26	10,8
$НСР_{05}$	0,43	0,35	0,52	–	0,20–0,31	–	0,65–1,48	0,49–1,19	–	–	0,18–0,25

Таблица 2

Динамика поступления основных элементов питания в растения масличного льна в зависимости от условий питания по фазам роста и развития, % к абсолютно сухому веществу (среднее за 2010–2012 гг.)

Вариант	«Елочка»			Интенсивный рост			Бутонизация			Цветение			Ранняя желтая спелость			Семена		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
1. Контроль (без удобрений)	3,12	0,90	3,70	2,87	0,81	3,14	1,65	0,65	2,52	1,52	0,60	2,00	0,81	0,41	1,43	2,40	1,60	0,89
2. $N_{40}P_{60}K_{90}$ (однокомпонентные)	3,43	0,97	3,73	3,01	0,84	3,27	1,80	0,68	2,68	1,68	0,62	2,06	0,83	0,42	1,48	2,44	1,62	0,94
3. $N_{40}P_{60}K_{90}$ (комплексное АФК, 2,85 ц/га) + N_{23} (в однокомпонентном удобрении) – фон	3,74	1,03	3,80	3,19	0,90	3,44	1,86	0,69	2,83	1,72	0,63	2,10	0,84	0,42	1,51	2,52	1,63	0,94
4. Фон + комплексонат Zn и B в баковой смеси с гербицидами	3,62	1,00	3,83	3,11	0,88	3,36	1,83	0,73	2,61	1,70	0,66	2,03	0,83	0,43	1,53	2,58	1,67	0,92
5. Фон + комплексонат Zn и B + эпин в баковой смеси с гербицидами	3,80	1,01	3,92	3,22	0,91	3,51	1,90	0,73	2,86	1,74	0,67	2,15	0,86	0,44	1,56	2,58	1,68	0,95
6. Фон + комплексонат Zn и B + гомобрассинолид в баковой смеси с гербицидами	3,89	1,03	3,81	3,31	0,91	3,40	1,95	0,75	2,79	1,76	0,66	2,15	0,88	0,44	1,57	2,64	1,64	0,93
7. Фон + комплексонат Zn и B + гербициды + фунгицид	3,70	0,99	3,77	3,17	0,87	3,40	1,86	0,68	2,71	1,70	0,60	1,96	0,83	0,42	1,52	2,57	1,62	0,93
8. Фон + комплексонат Zn и B и гербициды + фунгицид и эпин	3,98	1,03	3,88	3,34	0,90	3,50	1,94	0,76	2,80	1,76	0,70	2,09	0,87	0,47	1,56	2,60	1,69	0,95
9. Фон + комплексонат Zn и B и гербициды + фунгицид и гомобрассинолид	4,09	1,05	3,93	3,41	0,92	3,47	2,00	0,78	2,79	1,78	0,71	2,10	0,89	0,49	1,58	2,63	1,67	0,96
10. Фон + комплексонат Zn и B и эпин в баковой смеси с гербицидами + фунгицид и эпин	4,21	1,05	3,97	3,43	0,95	3,58	2,03	0,80	2,94	1,80	0,71	2,19	0,91	0,49	1,59	2,62	1,69	0,96
11. Фон + комплексонат Zn и B и гомобрассинолид в баковой смеси с гербицидами + фунгицид и гомобрассинолид	4,25	1,06	4,04	3,45	0,95	3,52	2,01	0,81	2,91	1,83	0,73	2,22	0,93	0,49	1,59	2,64	1,69	0,96
$НСР_{05}$	0,03–0,04	0,03	0,03–0,04	0,03–0,04	0,02–0,03	0,04	0,03–0,04	0,02–0,03	0,03–0,04	0,02–0,03	0,03	0,03–0,04	0,02–0,03	0,02–0,03	0,03	0,02–0,03	0,02	0,02–0,03

Таблица 3

Вынос элементов питания растениями льна масличного и коэффициенты их использования из удобрений (среднее за 2010–2012 гг.)

Вариант	Общий вынос элементов питания, кг/га			Вынос элементов питания на 10 ц семян с учетом побочной продукции, кг/га			Коэффициенты использования элементов питания из удобрений, %		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
1. Контроль (без удобрений)	34,6	20,3	37,2	42,7	25,1	45,9	–	–	–
2. $N_{40}P_{60}K_{90}$ (однокомпонентные)	52,4	31,1	53,2	39,1	23,2	39,7	44,5	18,0	17,8
3. $N_{40}P_{60}K_{90}$ (комплексное АФК 2,85 ц/га) + N_{23} (в однокомпонентном удобрении) – фон	59,2	34,4	59,7	40,0	23,2	40,3	61,5	23,5	25,0
4. Фон + комплексонат Zn и B в баковой смеси с гербицидами	63,9	37,7	65,2	40,9	24,1	41,8	73,3	29,0	31,1
5. Фон + комплексонат Zn и B + эпин в баковой смеси с гербицидами	70,1	41,3	71,4	41,2	24,3	42,0	88,8	35,0	38,0
6. Фон + комплексонат Zn и B + гомобрассинолид в баковой смеси с гербицидами	74,7	42,3	74,4	42,2	23,8	42,0	100,3	36,7	41,3
7. Фон + комплексонат Zn и B + гербициды + фунгицид	66,0	38,0	66,7	40,5	23,3	40,9	78,5	29,5	32,8
8. Фон + комплексонат Zn и B и гербициды + фунгицид и эпин	74,3	44,7	74,4	41,3	24,8	41,3	99,3	40,7	38,0
9. Фон + комплексонат Zn и B и гербициды + фунгицид и гомобрассинолид	77,4	46,2	76,6	41,6	24,8	41,2	107,0	43,2	43,8
10. Фон + комплексонат Zn и B и эпин в баковой смеси с гербицидами + фунгицид и эпин	83,5	49,9	82,5	41,9	25,0	41,4	122,3	49,3	50,3
11. Фон + комплексонат Zn и B и гомобрассинолид в баковой смеси с гербицидами + фунгицид и гомобрассинолид	89,5	52,8	86,1	41,8	24,6	40,2	137,3	54,2	54,3

ВЫВОДЫ

1. В полевых исследованиях, проведенных в 2010-2012 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве северо-восточной части Республики Беларусь со льном масличным, установлена высокая эффективность эпина и гомобрассинолида.

2. Лучшие условия для снабжения льна основными питательными элементами и повышения его продуктивности обеспечили двойные обработки посевов брассиностероидами (в начале фазы «елочки» в баковой смеси с гербицидами и комплексонатом микроэлементов Поликом Л и в фазу бутонизации в баковой смеси с фунгицидом Дерозал) на фоне комплексного АФК удобрения.

3. Брассиностероиды активизировали поступление NPK в генеративные и репродуктивные органы растений во все фазы вегетации, что способствовало увеличению общего выноса элементов питания и коэффициентов их использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самсонов, В. Масличный лен – на поля Беларуси / В. Самсонов, Н. Маковский // Белорус. сел. хоз-во. – 2005. – № 11(43). – С. 32–35.

2. Технологические основы возделывания льна масличного / И.А. Голуб [и др.] // Белорус. сел. хоз-во. – 2007. – № 2. – С. 35–37.

3. Кулаковская, Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т.Н. Кулаковская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 220 с.

4. Тихомирова, В.Я. Новые аспекты в вопросах биологии и питания льна: монография / В.Я. Тихомирова, О.Ю. Сорокина, Н.Н. Кузьменко. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2012. – 108 с.

5. Коломникова, Г.Д. Пищевой режим почвы и поступление питательных веществ в растения льна масличного при выращивании его по разным предшественникам в условиях Омской области / Г.Д. Коломникова // Агрохимия. – 1976. – № 11. – С. 71–78.

6. Лен Беларуси: монография / Белорусский НИИ льна; под ред. И.А. Голуба. – Минск: Орех, 2003. – С. 32.

7. Тихомирова, В.Я. Физиологическая роль и агрономическая эффективность калийных удобрений на посевах льна / В.Я. Тихомирова // Научные труды ВНИИЛ. – Торжок, 2002. – Т. 1. – С. 207–213.

8. Влияние регуляторов роста нового поколения на генетический аппарат сельскохозяйственных растений / С.В. Клещев [и др.] // Регуляторы роста и развития растений: материалы III междунар. науч.-практ. конф. / Моск. с.-х. акад. им. К.А. Тимирязева. – М., 1995. – С. 190–191.

9. Деева, В.П. Избирательное действие химических регуляторов роста на растения / В.П. Деева, Н.В. Санько. – Минск: Наука и техника, 1988. – 355 с.

10. Перспективы практического применения брассиностероидов – нового класса фитогормонов / В.А. Хрипач [и др.] // С.-х. биология. – 1995. – № 1. – С. 3.

11. Жарина, И.А. Влияние физиологически активных веществ на морфофизиологические показатели и продуктивность различных генотипов льна-долгунца (Linum usitatissimum L.): автореф. дис. …канд. биол. наук: 03.00.12 / И.А. Жарина; Ин-т экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича. – Минск, 2005. – 22 с.

12. Брассиностероиды / В.А. Хрипач [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1993. – С. 287.

13. Агрохимия: практикум: учеб. пособие / И.Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И.Р. Вильдфлуша, С.П. Кукреша. – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 386 с.

14. Гудвин, Т. Введение в биохимию растений / Т. Гудвин, Э. Мерсер. – Т. 2. – М.: Мир, 1986. – 312 с.

15. Босак, В.Н. Краткий нормативный агрохимический справочник / В.Н. Босак. – Минск: БелНИИ внедрения новых форм хозяйствования в АПК, 2003. – 68 с.

EFFECT OF MINERAL FERTILIZERS AND BRASSINOSTEROIDS ON FLAX OIL PRODUCTIVITY AND NUTRIENTS REMOVAL

A.A. Khadziankou, I.U. Gavryushin

Summary

In article results of researches for 2010-2012 with flax oil variety Brestsky are given. It is established the high efficiency of this crop in the north-eastern part of Belarus: seed yield up to 24,7 c/ha with oil content 48,6 %.

The nutrient status of the plants depended on the applied mineral fertilizers and plant growth regulators. The better conditions for the supply of flax basic nutrients and increase its productivity provide double processing of crops with brassinosteroids (early phase of “fur-tree” in tank mixtures with herbicides and micronutrients complexonate Polycom L in the budding stage in tank mixtures with fungicide Derozal) on background of complex NPK fertilizer application.

Поступила 13.03.13

УДК 631.582:631.445.2

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗВЕНА СЕВООБОРОТА И ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УДОБРЕНИЙ

А.И. Щетко
Гродненский зональный институт растениеводства, г. Щучин, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Уровень применения минеральных и органических удобрений в севообороте является одним из наиболее важных факторов, определяющих его продуктивность. Снижение объемов применения минеральных удобрений в сельскохозяйственном производстве в последние годы определило необходимость научного поиска и разработки ресурсосберегающих приемов, позволяющих получать планируемую урожайность сельскохозяйственных культур за счет повышения окупаемости удобрений и более эффективного использования достигнутого потенциала плодородия почв.

Наиболее полно оценить комплексное влияние системы удобрения можно лишь в условиях ее длительного применения в севооборотах. При этом рекомендуемая система удобрения в сельскохозяйственном производстве Республики Беларусь предусматривает сбалансированное внесение всех элементов питания с учетом содержания их в почвах, планируемой урожайности и биологических особенностей растений [1, 2, 3, 4].

Оптимизация реакции почвенной среды в зернопропашных севооборотах вызывает определенные сложности в связи с различием в биологических особенностях возделываемых культур и реакции на наличие кальция в почвенно-поглощающем комплексе. Для обеспечения максимальной продуктивности как отдельных культур, так и севооборота в целом требуется сбалансированное сочетание всех видов удобрений. Обязательным условием эффективной системы удобрения в таких севооборотах должно быть также улучшение или поддержание достигнутого уровня агрохимических показателей плодородия почв.

Цель исследования – установить дозы комплексного применения органических и минеральных макро- и микроудобрений при разных уровнях кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы, обеспечивающие получение агрономически обоснованных уровней продуктивности сахарной свеклы, ячменя и льна-долгунца с хорошим качеством продукции при поддержании плодородия почвы.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению эффективности комплексного применения удобрений при возделывании сахарной свеклы, ярового ячменя и льна-долгунца проводили на опытном поле РУП «Гродненский ЗИР НАН Беларуси» на дерново-подзолистой супесчаной, развивающейся на связной водно–ледниковой супеси,

подстилаемой с глубины 70 см моренным суглинком почве со следующим чередованием культур: сахарная свекла (2001, 2002 гг.) – ячмень (2002, 2003 гг.) – лен-долгунец (2003–2004 гг.). Схема опыта предусматривала изучение эффективности органических и минеральных макро- и микроудобрений на двух уровнях кислотности почвы: первый – $pH_{кс1}$ 5,1–5,3, второй – $pH_{кс1}$ 6,1–6,3 (табл. 1). При возделывании сельскохозяйственных культур руководствовались отраслевыми регламентами. Применялась интегрированная система защиты растений от сорняков, болезней и вредителей.

Посев сахарной свеклы осуществляли сеялкой СТВ–12 с нормой высева 1,2–1,4 посевные единицы/га. Ячмень и лен-долгунец высевали сеялкой СПУ–3. Норма высева ячменя – 5 млн./га, льна-долгунца – 20 млн./га.

Некорневые подкормки проводили ранцевым опрыскивателем на сахарной свекле борной кислотой и сульфатом марганца в фазу 10–12 листьев и через месяц после первой; на ячмене – сульфатом меди и марганца в стадию 1–го узла; на льне-долгунце – в фазы всходы и «елочки» борной кислой и сернокислым цинком.

Общая площадь делянки в опыте – 40,5 м^2, учетная – 30 м^2, повторность – четырехкратная. Варианты опыта располагали методом систематическим, многорядным. Метод учета урожая – сплошной, поделяночный.

Статистическая обработка результатов исследований проведена по Б.А. Доспехову с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на ПЭВМ.

Метеорологические условия в годы исследований различались, что сказалось на величине урожаев и наступлении фаз развития культур. Метеоусловия вегетационного периода 2001 г. складывались вполне благоприятно для растений сахарной свеклы. В июне температура воздуха была на 1,1 °С ниже среднемноголетней. Апрель-июнь отличались недостаточным количеством выпавших осадков (на 25,9–31,5 мм меньше среднемноголетних значений). Вегетационный период 2002 г. отличался недостатком влаги (на 4,9–53,1 мм меньше среднемноголетних значений) при повышенных температурах воздуха, что привело к снижению урожайности сахарной свеклы и ячменя. Погодные условия вегетационного периода 2003 г. были благоприятными по температурному режиму и количеству выпавших осадков, а в 2004 г. при значительном количестве осадков (за исключением апреля и июля) температура мая и июня была ниже средней многолетней на 1,1–1,7 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных по продуктивности звена севооборота сахарная свекла – ячмень – лен-долгунец показал, что различные сочетания удобрений и степень кислотности почвы оказали неоднозначное влияние (табл. 1). Продуктивность звена севооборота зависела от вида изучаемых сельскохозяйственных культур. Продуктивность сахарной свеклы и ячменя была выше на почве с pH пахотного слоя 6,1–6,3, продуктивность льна-долгунца практически во всех вариантах опыта, кроме $N_{30}P_{60}K_{120} + Zn_{0,2+0,2}$, оказалась выше на 1,1–6,1 к.ед. при pH пахотного слоя 5,1–5,3. Сбор кормовых единиц в звене севооборота сахарная свекла – ячмень – лен-долгунец варьировал от 91,8 ц/га до 161,8 ц/га. В варианте без удобрений на уровне кислотности пахотного слоя pH_{KCl} 5,1–5,3 получено 91,8 ц/га кормовых единиц.

Применение органического удобрения способствовало росту продуктивности звена севооборота до 106,1 ц к.ед./га на первом уровне кислотности и до 111,9 ц к.ед./га – на втором. Прибавки от применения соломистого навоза составили соответственно 14,3 и 13,9 ц к.ед./га.

Применение минеральных удобрений способствовало дальнейшему росту продуктивности сельскохозяйственных культур. Если при внесении минеральных удобрений в среднем за три года в дозе $N_{57}P_{50}K_{100}$ получено 122,5 ц к.ед./га при pH_{KCl} 5,1–5,3, то на втором уровне кислотности данный показатель был значительно выше и составил 131,9 ц к.ед./га. Увеличение уровня минерального питания до $N_{75}P_{70}K_{130}$ способствовало дальнейшему росту продуктивности звена севооборота. Сбор кормовых единиц составил 126,9 ц к.ед./га (pH_{KCl} 5,1–5,3) и 136,4 ц к.ед./га (pH_{KCl} 6,1–6,3).

Применение минеральных удобрений на фоне действия и последействия органических удобрений привело к дальнейшему росту продуктивности звена севооборота, особенно при повышенных дозах минеральных удобрений $N_{75}P_{70}K_{130}$. Сбор кормовых единиц в данном варианте составил 137,4 ц к.ед./га при кислотности почвы pH_{KCl} 5,1–5,3 и 147,2 ц к.ед./га при pH_{KCl} 6,1–6,3.

Наиболее высокие показатели продуктивности звена севооборота получены при некорневых подкормках микроэлементами на фоне совместного действия минеральных удобрений и последействия соломистого навоза. Сбор кормовых единиц в этих вариантах опыта варьировал от 134,3 ц к.ед./га до 146,0 ц к.ед./га при уровне кислотности почвы pH_{KCl} 5,1–5,3 и от 148,0 ц к.ед./га до 161,2 ц к.ед./га при кислотности почвы pH_{KCl} 6,1–6,3.

Более высокая продуктивность звена севооборота в целом отмечена при кислотности почвы с pH 6,1–6,3. Прибавки в звене севооборота сахарная свекла – ячмень – лен-долгунец на втором уровне кислотности с pH 6,1–6,3 по отношению к первому уровню pH_{KCl} 5,1–5,3 варьировали от 5,8 до 15,2 ц к.ед./га. Самая низкая прибавка кормовых единиц в опыте 5,8 ц/га получена при действии и последействии 60 т/га навоза КРС. Прибавки в вариантах при внесении минеральных удобрений были выше и составили 9,4 и 9,5 ц к.ед./га. Однако самые высокие прибавки кормовых единиц с гектара пашни при оптимизации почвенной кислотности получены при применении некорневых подкормок микроудобрениями на фоне минеральных макроудобрений и действии и последействии органических удобрений. Прибавки в этих вариантах опыта за счет снижения кислотности почвенного раствора составили 12,6–15,2 ц к.ед./га. Самая высокая прибавка продуктивности звена севооборота 15,2 ц к.ед./га получена при применении некорневых подкормок микроудобрениями на фоне минеральных удобрений в дозе $N_{75}P_{70}K_{130}$ и действия и последействия навоза.

Минеральные удобрения увеличивали продуктивность севооборота на 30,7–38,4 ц к.ед./га, причем эффективность минеральных удобрений была выше при pH_{KCl} 6,1–6,3.

Внесение минеральных удобрений на фоне действия и последействия 60 т/га навоза КРС позволило получить прибавки 36,8–49,2 ц к.ед./га на обоих уровнях кислотности.

Существенную роль в повышении продуктивности звена севооборота сыграли некорневые подкормки культур микроудобрениями. Прибавки от их внесения по вариантам опыта составили 1,5–15,3 ц к.ед./га.

Максимальная среднегодовая продуктивность звена севооборота на обоих фонах кислотности получена в вариантах со сбалансированным органоминеральным питанием (20 т/га соломистого навоза КРС + $N_{75}P_{70}K_{120}$ + некорневая подкормка микроэлементами) – 146,0–161,2 ц к.ед./га.

Таблица 1

Среднегодовая продуктивность звена севооборота в зависимости от удобрений при возделывании сельскохозяйственных культу на дерново-подзолистой супесчаной почве

Вариант	Продуктивность, ц/га к.ед.				Прибавка, ц/га к.ед.					
	сахар-ная свекла	ячмень	лен-долгунец	звено сево-оборота, ц к.ед./га	pH_{KCl}	навоз	NPK	навоз + NPK	микро-удоб-рения	оплата 1 кг NPK к.ед
pH_{KCl} 5,1–5,3										
1.Без удобрений	87,0	35,7	152,6	91,8	–	–	–	–	–	–
2.Навоз, 20 т/га – фон*	119,1	42,2	156,9	106,1	–	14,3	–	–	–	–
3.$N_{57}P_{50}K_{100}$	131,1	55,6	180,8	122,5	–	–	30,7	–	–	14,8
4.$N_{75}P_{70}K_{130}$	140,0	57,0	183,6	126,9	–	–	35,1	–	–	12,8
5.Фон + $N_{57}P_{50}K_{100}$	146,8	58,8	180,3	128,6	–	–	–	36,8	–	10,9
6.Фон + $N_{75}P_{70}K_{130}$	154,8	59,8	197,7	137,4	–	–	–	45,6	–	11,4
7.Фон + $N_{57}P_{50}K_{100}$ + микроэл-ты	155,5	60,7	186,6	134,3	–	–	–	–	5,7	13,6
8.Фон + $N_{75}P_{70}K_{130}$ + микроэл-ты	167,1	62,3	187,5	138,9	–	–	–	–	1,5	11,9
9.Фон + $N_{57}P_{50}K_{100}$ + микроэл-ты	150,8	60,1	196,6	135,8	–	–	–	–	7,2	14,3
10.Фон + $N_{75}P_{70}K_{130}$ + микроэл-ты	160,0	61,1	198,9	140,0	–	–	–	–	2,6	12,3
11.Фон + $N_{57}P_{50}K_{100}$ + микроэл-ты	159,1	62,9	202,6	141,5	–	–	–	–	12,9	17,1
12.Фон + $N_{75}P_{70}K_{130}$ + микроэл-ты	169,2	64,6	204,2	146,0	–	–	–	–	8,6	14,5

Окончание табл. 1

Вариант	Продуктивность, ц/га к.ед.				Прибавка, ц/га к.ед.					
	сахарная свекла	ячмень	лен-долгунец	звено севооборота, ц к.ед./га	pH_{KCl}	навоз	NPK	навоз + NPK	микроудобрения	оплата 1 кг NPK к.ед
pH_{KCl} 6,1–6,3										
1.Без удобрений	105,6	41,9	146,5	98,0	6,2	–	–	–	–	–
2.Навоз, 60 т/га – фон	133,6	46,8	155,2	111,9	5,8	13,9	–	–	–	–
3.$N_{57}P_{50}K_{100}$	157,9	60,1	177,7	131,9	9,4	–	33,9	–	–	16,4
4.$N_{75}P_{70}K_{130}$	168,0	60,9	180,2	136,4	9,5	–	38,4	–	–	14,0
5.Фон + $N_{57}P_{50}K_{100}$	179,8	62,4	178,3	140,2	11,6	–		42,2	–	13,7
6.Фон + $N_{75}P_{70}K_{130}$	184,7	64,8	192,1	147,2	9,8	–		49,2	–	12,8
7.Фон + $N_{57}P_{50}K_{100}$ + микроэл-ты	193,4	65,2	185,3	148,0	13,7	–	–	–	7,8	17,4
8.Фон + $N_{75}P_{70}K_{130}$ + микроэл-ты	205,2	67,3	186,4	152,9	14,0	–	–	–	5,7	14,9
9.Фон + $N_{57}P_{50}K_{100}$ + микроэл-ты	185,2	65,6	194,5	148,4	12,6	–	–	–	8,2	17,6
10.Фон + $N_{75}P_{70}K_{130}$ + микроэл-ты	195,5	68,1	199,6	154,4	14,4	–	–	–	7,2	15,5
11.Фон + $N_{57}P_{50}K_{100}$ + микроэл-ты	198,8	67,7	200,0	155,5	14,0	–	–	–	15,3	21,1
12.Фон + $N_{75}P_{70}K_{130}$ + микроэл-ты	211,3	70,0	202,3	161,2	15,2	–	–	–	14,0	17,9
$НСР_{05}$	5,0	2,4	3,4	2,1						

Окупаемость 1 т органических удобрений (20 т/га) на кислой почве (pH 5,1–5,3) составила 71,5 к.ед., на почве с pH 6,1–6,3 – 69,5 к.ед. Окупаемость 1 кг NPK на почве с pH пахотного слоя 5,1–5,3 изменялась от 10,9 до 17,1 к.ед., на почве с pH 6,1–6,3 – от 12,8 до 21,1 к.ед. Окупаемость минеральных удобрений при оптимизации кислотности пахотного слоя повысилась на 1,2–4,0 к.ед.

Степень и направленность изменений агрохимических показателей почв при применении минеральных и органических удобрений обуславливаются типом севооборота, уровнем продуктивности возделываемых культур, системой применения удобрений и т. д. Применение различных уровней минеральных удобрений оказало неодинаковое влияние на изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой супесчаной почвы (табл. 2).

Таблица 2

Изменение агрохимических показателей почвы за звено севооборота

Вариант	pH в KCl			P_2O_5, мг/кг почвы			K_2O, мг/кг почвы			Гумус, %		
	исходное содержание	в конце ротации	±	исходное содержание	в конце ротации	±	исходное содержание	в конце ротации	±	исходное содержание	в конце ротации	±
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
pH_{KCl} 5,1–5,3												
1	5,2	4,9	–0,3	262	260	–2	144	140	–4	1,45	1,40	–0,05
2	5,1	4,7	–0,4	270	290	+20	153	150	–3	1,43	1,46	+0,03
3	5,3	5,2	–0,1	250	281	+31	141	140	–1	1,61	1,72	+0,11
4	5,3	4,8	–0,5	260	295	+35	135	134	–1	1,57	1,67	+0,10
5	5,2	5,0	–0,2	261	300	+39	160	158	–2	1,40	1,59	+0,19
6	5,2	4,9	–0,3	269	312	+43	154	156	+2	1,55	1,70	+0,15
7	5,1	4,8	–0,3	253	284	+31	144	142	–2	1,49	1,59	+0,10
8	5,3	5,2	–0,1	269	302	+33	158	161	+3	1,37	1,46	+0,09
9	5,3	4,8	–0,5	271	300	+29	163	159	–4	1,44	1,55	+0,11
10	5,2	4,8	–0,4	251	279	+28	139	142	+3	1,50	1,69	+0,19
11	5,1	4,7	–0,4	270	291	+21	150	145	–5	1,70	1,87	+0,17
12	5,1	4,9	–0,2	260	294	+34	161	157	–4	1,52	1,70	+0,18
pH_{KCl} 6,1–6,3												
1	6,1	5,7	–0,4	275	269	–6	181	172	–9	1,63	1,62	–0,01
2	6,1	5,8	–0,3	270	298	+28	159	153	–6	1,40	1,42	+0,02
3	6,2	5,8	–0,4	264	290	+26	161	156	–5	1,54	1,61	+0,07
4	6,0	5,6	–0,4	273	303	+30	170	165	–5	1,39	1,50	+0,11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	6,2	5,9	–0,3	268	308	+40	169	160	–9	1,57	1,68	+0,11

Окончание табл. 2

Вариант	pH в KCl			P_2O_5, мг/кг почвы			K_2O, мг/кг почвы			Гумус, %		
	исходное содержание	в конце ротации	±	исходное содержание	в конце ротации	±	исходное содержание	в конце ротации	±	исходное содержание	в конце ротации	±
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6	6,2	5,8	–0,4	279	320	+41	153	145	–8	1,62	1,74	+0,12
7	6,3	6,0	–0,3	270	315	+45	169	165	–4	1,67	1,86	+0,19
8	6,1	5,9	–0,2	263	305	+42	160	153	–7	1,38	1,49	+0,11
9	6,3	5,9	–0,4	268	301	+32	179	172	–7	1,44	1,62	+0,18
10	6,1	6,0	–0,1	270	310	+40	166	161	–5	1,55	1,69	+0,14
11	6,2	5,9	–0,3	280	319	+39	150	144	–6	1,61	1,79	+0,18
12	6,3	5,9	–0,4	266	300	+34	159	154	–5	1,59	1,71	+0,12
$НСР_{05}$	0,1	0,1	0,07	18	16	12	13	11	8,5	0,3	0,3	0,21

В большей степени это влияние проявилось на содержании в ней фосфора, калия и гумуса. Систематическое внесение удобрений в течение всей ротации привело к увеличению содержания в пахотном слое почвы подвижного фосфора. Содержание фосфора по вариантам опыта увеличилось на 20–45 мг/кг почвы. В опыте отмечено снижение содержания подвижного фосфора в вариантах без удобрений (на 2 мг/кг – при pH_{KCl} 5,1–5,3 и на 6 мг/кг – при pH_{KCl} 6,1–6,3). В вариантах без применения удобрений в конце ротации звена севооборота в пахотном слое почвы содержание фосфора составило 260 мг/кг почвы (pH 5,1–5,3) и 269 мг/кг почвы при pH 6,1–6,3. При применении минеральной системы удобрения и среднегодовом внесении P_{50} в сочетании с азотными и калийными удобрениями ($N_{57}K_{100}$) содержание подвижного фосфора по сравнению с исходным его наличием увеличилось на 31 мг/кг на кислой почвы и на 26 мг/кг на почве с кислотностью пахотного слоя близкой к нейтральной, а при внесении дополнительно к этому количеству минеральных удобрений 60 т/га навоза – на 39 мг/кг (pH_{KCl} 5,1–5,3) и 40 мг/кг (pH_{KCl} 6,1–6,3). Увеличение дозы фосфорных удобрений до P_{70} в сочетании с $N_{75}K_{130}$ привело к дальнейшему повышению содержания подвижного фосфора: на первом уровне кислотности до 35 мг/кг почвы, на втором – до 30 мг/кг, а при внесении на фоне органических удобрений – до 43 мг/кг (pH_{KCl} 5,1–5,3) и до 41 мг/кг (pH_{KCl} 6,1–6,3).

При применении калийных удобрений за звено севооборота на уровне 100 и 130 кг/га как без фона, так и на фоне действия и последействия 60 т/га органических удобрений наблюдается тенденция или достоверное снижение содержания обменного калия в пахотном слое в связи с высоким выносом его урожаями сельскохозяйственных культур.

Содержание обменного калия в пахотном слое почвы в конце звена севооборота уменьшилось по всем вариантам опыта (за исключением нескольких вариантов при pH_{KCl} 5,1–5,3) по сравнению с исходным его наличием на 1–9 мг/кг почвы.

В результате проведенных исследований установлено, что на содержание гумуса в почве положительное влияние оказала органоминеральная система удобрения. При внесении минеральных удобрений в сочетании с органическими наблюдалась тенденция к повышению содержания гумуса на 0,19–0,25 % (pH 5,1–5,3) и на 0,21–0,26 % (pH 6,1–6,3). В вариантах без применения удобрений содержание гумуса изменялось в пределах ошибки опыта. Также некоторая тенденция к увеличению содержания гумуса на 0,07–0,11 % (ниже НСР) отмечена при применении только минеральных удобрений.

За период исследований отмечено подкисление пахотного слоя дерново-подзолистой супесчаной почвы. На первом уровне (pH 5,1–5,3) кислотность пахотного слоя увеличилась при снижении pH с 5,0–5,4 до 4,7–5,2, а на втором фоне – с 5,9–6,4 до 5,7–6,2.

ВЫВОДЫ

1. Максимальная среднегодовая продуктивность 146,0–161,2 ц к.ед./га звена севооборота на обоих уровнях кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы формировалась при сбалансированном органоминеральном питании (20 т/га навоз КРС + $N_{75}P_{70}K_{120}$ + некорневая подкормка микроэлементами). При внесении минеральных удобрений на фоне действия и последействия 60 т/га навоза КРС получены прибавки 36,8–49,2 ц к.ед./га на обоих уровнях кислотности. Прибавки от некорневых подкормок микроудобрениями составили 1,5–15,3 ц к.ед./га. Прибавка продуктивности звена севооборота от оптимизации реакции почвенной среды составила 5,8–15,2 ц к.ед./га при повышении окупаемости 1 кг NPK на 1,4–4,0 к.ед.

2. При среднегодовом применении в звене севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве с pH 5,1–5,3 и 6,0–6,3 минеральных удобрений в дозах $N_{57,75}P_{50,70}K_{100,130}$ на фоне действия и последействия 60 т/га содержание подвижного фосфора увеличилось в пахотном слое на 20–45 мг/кг. Применение калийных удобрений на уровне 100 и 130 кг/га не компенсировало вынос калия сельскохозяйственными культурами. Отмечено сохранение гумуса на первоначальном уровне при подкислении пахотного слоя на 0,1–0,5 ед.: на первом уровне кислотность увеличилась при снижении pH с 5,1–5,3 до 4,7–5,0, на втором уровне – с 6,0–6,3 до 5,7–6,0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические регламенты для повышения плодородия почв и эффективного использования удобрений / В.В. Лапа [и др.]. – Горки: БГСХА, 2002. – 48 с.

2. Алексейчик, Н.Н. Продуктивность севооборота при повторном известковании дерново-подзолистой суглинистой почвы / Н.Н. Алексейчик, Л.П. Детковская, Н.Н. Ивахненко // Почвенные исследования и применение удобрений. – 1988. – Вып. 19. – С. 76–81.

3. Алексейчик, Н.Н. Продуктивность севооборотов на известкованных дерново-подзолистых почвах / Н.Н. Алексейчик, М.К. Рахуба // Известкование и применение минеральных удобрений в интенсивных системах земледелия. – Горки, 1985. – С. 46–50.

4. Титова, С.А. Особенности минерального питания растений и эффективность удобрений на хорошо окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве: автореф. дис. …канд. с.-х. наук: 06.01.04 / С.А. Титова; БелНИИПА. – Минск, 1999. – 19 с.

PRODUCTIVITY OF LINK CROP ROTATION AND CHANGE AGROCHEMICAL INDEXES OF SOD-PODZOLIC LOAMY SAND SOIL DEPENDING ON FERTILIZATION

A.I. Shchetko

Summary

Maximum productivity of the crop rotation 146,0–161,2 c f.u./ha on two levels of acidity sod-podzolic loamy sand soil was formed when application 20 t/ha cattle manure + $N_{75}P_{70}K_{120}$ + microelements. The mobile phosphorus content increased in arable layer on 20–45 mg/kg. Using the potassium fertilizers in a rate of 100 and 130 kg/ha did not compensate potassium removal agricultural crops.

Поступила 02.04.13

УДК 633.11/.14 «321»:632.51:631.811

ВЫНОС ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ЯРОВОЙ ТРИТИКАЛЕ И СОРНЫМИ РАСТЕНИЯМИ В ОРГАНОГЕНЕЗЕ

А.С. Пестерева, **С.В. Сорока**
Институт защиты растений, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Вынос питательных веществ сорными растениями оказывает негативное влияние как на обеспеченность почв элементами питания, так и на формирование запланированных урожаев сельскохозяйственных культур [1]. В отсутствии надлежащей защиты сорные растения за период вегетации способны вынести из почвы 160–200 кг/га азота, 55–90 кг/га фосфора и 170–250 кг/га калия [2].

Содержание большого количества питательных элементов в надземной массе сорных растений в значительной степени предопределяет уровень отчуждения и, следовательно, выноса их из почвы, обедняя тем самым почвы элементами питания, перехватывая их у культурных растений [3].

Исследованиями украинских ученых установлено, что количество NPK в сухой массе сорной растительности зависит от их видового состава. Высокое содержание азота отмечено у фиалки полевой, лебеды белой, редьки дикой, галинзоги мелкоцветной; калия – у мари белой, проса куриного; фосфора – у мышея сизого, редьки дикой и мари белой [2].

Уровень потребления питательных элементов сорными растениями в агроценозах зависит в большой степени от конкурентоспособности основных доминантов и сложившихся погодных и других условий [3].

Вынос питательных веществ из почвы даже при относительно малой численности сорняков значителен. Так, при общем количестве сорной растительности до 30 шт./м^2 выносится из почвы около 50 кг NPK. Такое же количество питательных веществ выносит пырей ползучий при численности от 21 до 30 стеблей на 1 м^2 [4]. Результаты исследований Т.М. Булавиной показывают, что у яровой тритикале вынос фосфора находится на таком же уровне, как и у других яровых, азота и калия выше, чем у ячменя и пшеницы (N – 28,9; P_2O_5 – 11,3; K_2O – 32,7), и может в определенной степени изменяться в зависимости от сорта и погодных условий [5].

Цель исследований – определить вынос основных элементов питания (N, P_2O_5, K_2O, CaO, MgO) доминирующими видами сорных растений и яровой тритикале в динамике и оценить его влияние на урожайность.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по оценке выноса основных элементов питания (N, P_2O_5, K_2O, CaO, MgO) сорными растениями и яровой тритикале сорта Узор проводили в 2011 г. на опытном поле РУП «Институт защиты растений», д. Прилуки Минского р-на, в опытах по оценке критического периода вредоносности сорняков [6]. Агротехника возделывания – общепринятая для Центральной агроклиматической зоны Беларуси. Почва опытного поля дерново-подзолистая, среднесуглинистая, с обеспеченностью гумусом пахотного слоя – 1,98 %, кислотностью – 4,64–5,26, содержанием подвижных форм калия – 18,2–18,9 мг/100 г почвы, фосфора – 17,3–26,1 мг/100 г почвы. Минеральные удобрения вносились весной в предпосевную культивацию из расчета $N_{90}P_{60}K_{110}$.

Отбор надземной массы сорных растений и культуры проводили в сухую погоду, после высыхания росы с площади 1 м^2 на следующих стадиях развития яровой тритикале: развитие листьев, кущение, выход в трубку, появление соцветий, образование зерен и созревание зерен. Стадии развития культуры определяли по шкале ВВСН. Повторность опыта шестикратная. Содержание общего азота в растительных образцах определяли по Къельдалю, фосфора – по Кирсанову на фотоэлектроколориметре, калия – пламенно-фотометрическим способом после мокрого озоления смесью перекиси водорода и серной кислоты, кальция и магния – на атомно-адсорбционном спектрометре AAS–100 в лабораторно-аналитическом исследовательском центре РУП «Институт почвоведения и агрохимии».

Общий (хозяйственный) вынос элементов питания сорняками и яровой тритикале вычисляли согласно [6, 7, 8] по следующим формулам:

$$У_{сор.} = 0,1 \times У; \quad В = У_{сор.} \times С,$$

где $У_{сор.}$ – биомасса сухого вещества сорных растений, ц/га;

У – биомасса этого вида сорного растения в перерасчете на сухое вещество, г/м^2;

В – вынос питательных веществ, кг/га;

С – содержание элемента питания, % сухого вещества.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованиями установлено, что содержание элементов минерального питания в сухой массе сорных растений зависит от их видового состава. В период кущения (ст. 23) яровой тритикале большинство сорных растений находилось в стадии роста в длину. Наибольшее содержание азота наблюдалось у пастушьей сумки (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), трехреберника непахучего (*Tripleurospermum inodora* (L.) Sch. Bip.) и мари белой (*Chenopodium album* L.) и составило 2,45–2,66 % к воздушно-сухой массе. В стадии выход в трубку (микростадия 2-го узла) культуры более высокая концентрация азота отмечена у трехреберника непахучего и мари белой – 2,17 и 2,45 %, колошения культуры – у проса куриного (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.) – 2,03 %, горца вьюнкового (*Polygonum convolvulus* L.), трехреберника непахучего – 2,52–2,59 %. Яровая тритикале в начальные периоды роста содержала 2,31 % азота, по мере развития культуры он снижался (табл. 1).

Больше всего калия использовали марь белая и трехреберник непахучий, его содержание в сухом веществе этих видов растений в стадии развития культуры выход в трубку составило 9,42 и 7,26 %, в то время как у горца вьюнкового, проса куриного и пастушьей сумки – 2,77; 4,48 и 4,57 %. У яровой тритикале по сравнению с сорными растениями концентрация данных элементов находилась на более низком уровне: азота – 1,61 %, калия – 3,45 %.

Содержание фосфора у изучаемых видов сорняков в различные стадии развития культуры находилось приблизительно на одном уровне и превышало концентрацию данного элемента у яровой тритикале.

Наибольшая концентрация кальция отмечена в надземной массе пастушьей сумки (0,62–0,90 %) и мари белой (0,63–0,74 %), магния – в надземной массе мари белой (0,25–0,45 %) и проса куриного (0,27–0,42 %). Самое низкое содержание обоих элементов было выявлено в надземной массе культуры – 0,06–0,16 и 0,06–0,09 % к воздушно-сухой массе (табл. 2).

Общий (хозяйственный) вынос элементов минерального питания яровой тритикале в стадии развития листьев (ст. 13) составил: N – 12,7 кг/га; P_2O_5 – 7,1; K_2O – 22,1; CaO – 0,9; MgO – 0,5 кг/га; сорными растениями: N – 2,7 кг/га; P_2O_5 – 2,2; K_2O – 6,7; CaO – 0,8; MgO – 0,5 кг/га.

В стадии кущения культуры вынос азота сорняками составил 4,7 кг/га, яровой тритикале – 13,9 кг/га; фосфора – 6,9 и 12,8; калия – 17,3 и 32,5; кальция – 1,7 и 1,3; магния – 0,9 и 0,6 кг/га соответственно (табл. 3, 4).

Поглощение и вынос питательных элементов сорняками в значительной степени зависели от вида растения. Особенно интенсивно поглощали элементы питания сорные растения, формирующие хорошо развитую вегетативную массу (рис. 1, 2).

Так, например, из общей массы сорных растений вынос основных элементов питания за весь период вегетации на долю мари белой составил 34,5–50,2 %, трехреберника непахучего – 16,0–33,7 %, проса куриного – 6,0–17,8 %. В связи с этим вынос элементов питания марью белой в стадиях кущение и выход в трубку равнялся: N – 2,5; 2,0 кг/га; P_2O_5 – 4,0; 5,6; K_2O – 10,5; 14,9; CaO – 0,9; 1,2; MgO – 0,6; 1,0 кг/га. Трехреберник непахучий и просо куриное, вегетативная масса которых была несколько ниже, в этот период выносили из почвы 4,9; 8,7 и 2,2; 1,7 кг/га элементов питания (рис. 3).

Таблица 1

Содержание азота, фосфора и калия в надземной массе сорных растений в посевах яровой тритикале (% к воздушно-сухой массе)

Вид растения	Азот					Фосфор					Калий				
	Стадия развития культуры														
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Горец вьюнковый	–	1,40	2,52	2,17	2,52	–	1,33	1,24	1,20	1,17	–	2,77	2,25	2,65	2,30
Звездчатка средняя	–	–	–	1,26	1,54	–	–	–	1,11	1,19	–	–	3,75	3,75	–
Марь белая	2,66	2,45	1,68	2,31	2,17	1,86	1,87	1,40	1,25	1,12	9,20	9,42	5,55	5,40	4,65
Пастушья сумка	2,45	1,75	1,75	2,31	–	1,39	1,28	1,31	1,04	–	5,31	4,57	2,65	2,70	–
Трехреберник непахучий	2,52	2,17	2,59	2,10	1,89	1,28	1,29	1,35	1,26	1,47	7,85	7,26	4,90	4,40	4,60
Просо куриное	2,03	1,68	2,03	1,54	1,68	1,08	0,94	1,15	1,11	0,99	5,00	4,48	4,30	3,60	3,10
Прочие виды	1,75	1,54	1,54	1,89	2,17	1,52	1,39	1,33	0,99	1,40	4,92	5,72	4,15	4,15	4,45
Всего	11,41	10,99	12,11	13,58	11,97	7,13	8,10	7,78	7,96	7,34	32,28	34,22	27,55	26,65	19,10
Культура															
Яровая тритикале	2,31	1,61	2,03	1,82	1,19	0,93	0,81	1,04	1,01	0,82	4,49	3,45	3,00	1,15	1,25

Примечание. 1. Кущение культуры (ст. 23); 2. выход в трубку (ст. 32); 3. появление соцветий (ст. 55); 4. образование зерен (ст. 73); 5. созревание зерен (ст. 89).

Таблица 2

Содержание кальция и магния в надземной массе сорных растений в посевах яровой тритикале (% к воздушно-сухой массе)

Вид растения	Кальций					Магний				
	Стадия развития культуры									
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Горец вьюнковый	–	0,56	0,50	0,30	0,37	–	0,31	0,23	0,21	0,23
Звездчатка средняя	–	–	–	0,05	0,28	–	–	–	0,16	0,20
Марь белая	0,69	0,68	0,63	0,74	0,65	0,37	0,45	0,25	0,32	0,32
Пастушья сумка	0,90	0,78	0,66	0,62	–	0,26	0,22	0,20	0,17	–
Трехреберник непахучий	0,52	0,48	0,45	0,41	0,46	0,16	0,17	0,17	0,17	0,18
Просо куриное	0,34	0,34	0,35	0,02	0,20	0,42	0,27	0,27	0,27	0,36
Прочие виды	0,57	0,37	0,35	0,47	0,70	0,31	0,26	0,26	0,32	0,33
Всего	**3,02**	**3,21**	**2,94**	**2,61**	**2,66**	**1,52**	**1,68**	**1,38**	**1,62**	**1,62**
Культура										
Яровая тритикале	0,16	0,14	0,14	0,06	0,09	0,06	0,06	0,07	0,09	0,07

Примечание. 1. Кущение культуры (ст. 23); 2. выход в трубку (ст. 32); 3. появление соцветий (ст. 55); 4. образование зерен (ст. 73); 5. созревание зерен (ст. 89).

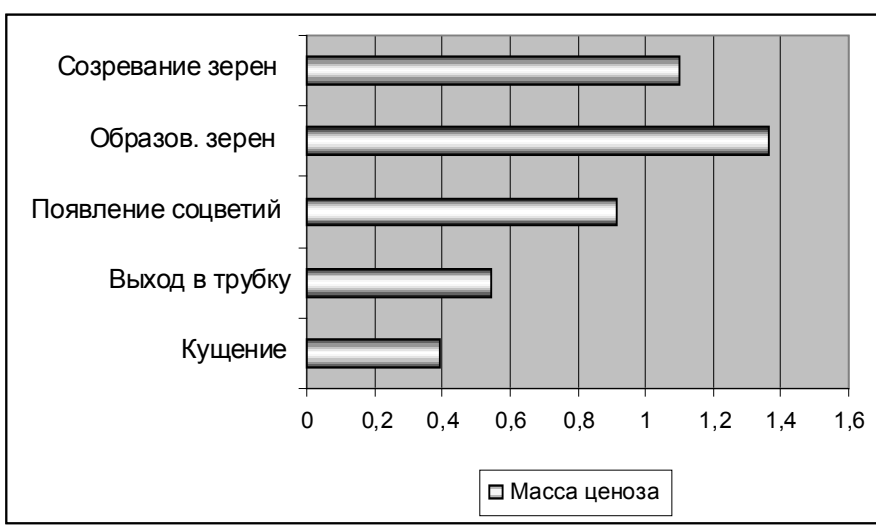


Рис. 1. Вегетативная масса сорных растений и яровой тритикале в динамике, кг/м^2

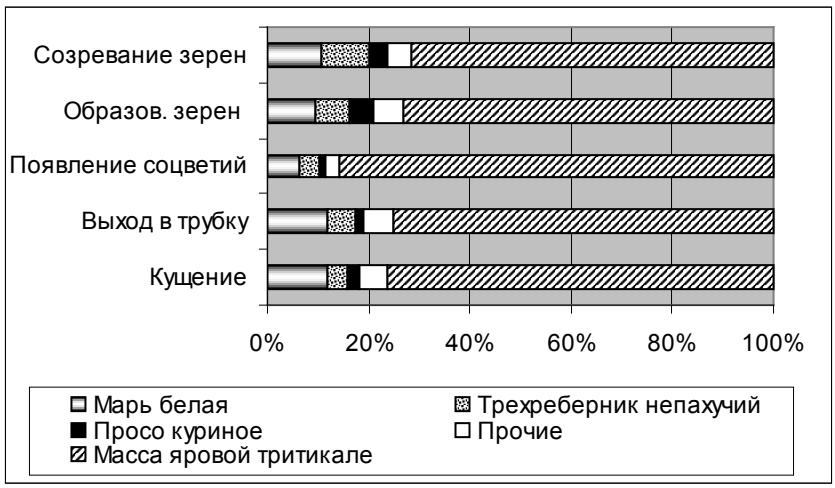


Рис. 2. Вегетативная масса сорных растений, % к общей массе ценоза

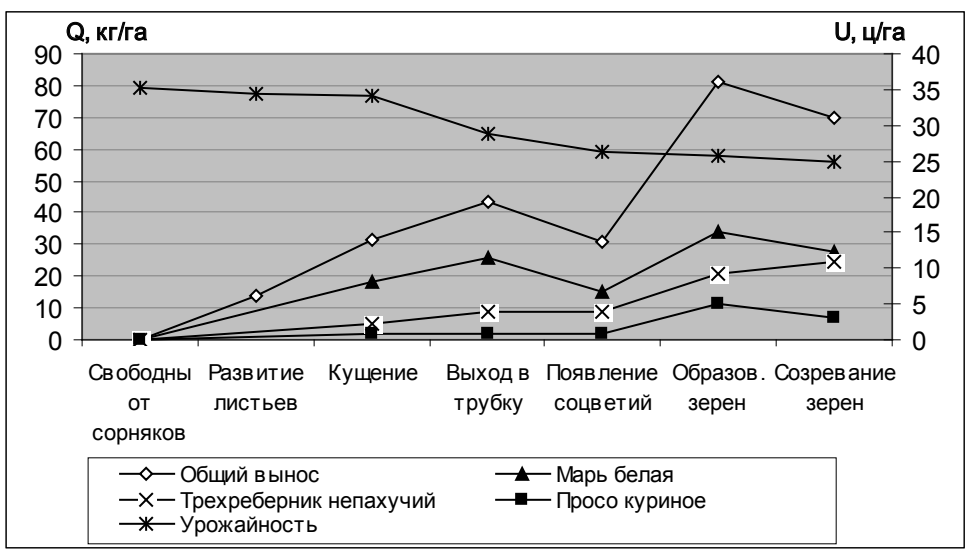


Рис. 3. Биомасса яровой тритикале (U) и вынос элементов питания сорными растениями (Q) в динамике

В стадии развития яровой тритикале, выход в трубку (стадия 2-го узла), вынос сорными растениями магния в 2 раза превышал вынос данного элемента питания этой культурой. Увеличилось потребление азота, фосфора, калия и кальция как сорняками, так и яровой тритикале и составило: N – 5,8 и 13,1 кг/га; P_2O_5 – 9,6 и 15,2; K_2O – 24,4 и 33,9; CaO – 2,3 и 1,6; MgO – 1,6 и 0,8 кг/га соответственно (табл. 3, 4).

Таблица 3

Вынос азота, фосфора и калия сорной растительностью в посевах яровой тритикале, кг/га (мелкоделяночный опыт, РУП «Институт защиты растений», 2011 г.)

Вид растения	Азот					Фосфор					Калий				
	Стадия развития культуры														
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Горец вьюнковый	–	0,2	0,2	1,0	0,6	–	0,5	0,2	1,3	0,7	–	0,6	0,2	1,5	0,7
Звездчатка средняя	–	–	–	0,7	0,2	–	–	–	1,4	0,4	–	–	–	2,5	0,7
Марь белая	2,5	3,2	2,0	5,9	5,1	4,0	5,6	3,8	7,3	6,1	10,5	14,9	7,9	16,6	13,2
Пастушья сумка	0,6	0,6	0,6	0,4	–	0,8	1,1	1,0	0,4	–	1,6	2,0	1,0	0,5	–
Трехреберник непахучий	0,8	1,3	1,8	3,9	4,0	0,9	1,7	2,2	5,4	7,1	2,9	5,1	4,2	9,9	11,6
Просо куриное	0,4	0,3	0,4	2,0	1,3	0,5	0,3	0,5	3,3	1,8	1,1	0,9	1,1	5,7	3,0
Прочие виды	0,4	0,2	0,2	0,9	1,2	0,7	0,4	0,3	1,0	1,8	1,2	0,9	0,5	2,3	3,1
Итого	**4,7**	**5,8**	**5,2**	**14,8**	**12,4**	**6,9**	**9,6**	**8,0**	**20,1**	**17,9**	**17,3**	**24,4**	**14,9**	**39,0**	**32,3**
Культура															
Яровая тритикале	13,9	13,1	31,9	36,4	18,8	12,8	15,2	37,6	46,5	29,7	32,5	33,9	56,8	27,7	23,7

Примечание. 1. Кущение культуры (ст. 23); 2. выход в трубку (ст. 32); 3. появление соцветий (ст. 55); 4. образование зерен (ст. 73); 5. созревание зерен (ст. 89).

Таблица 4

Вынос кальция и магния сорной растительностью в посевах яровой тритикале, кг/га (мелкоделяночный опыт, РУП «Институт защиты растений», 2011 г.)

Вид растения	Кальций					Магний				
	Стадия развития культуры									
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Горец вьюнковый	–	0,1	0,1	0,2	0,1	–	0,1	0,03	0,2	0,1
Звездчатка средняя	–	–	–	0,04	0,1	–	–	–	0,2	0,1
Марь белая	0,9	1,2	1,0	2,6	2,1	0,6	1,0	0,5	1,4	1,3
Пастушья сумка	0,3	0,4	0,3	0,1	–	0,1	0,1	0,1	0,04	–
Трехреберник непахучий	0,2	0,4	0,4	1,1	1,4	0,1	0,2	0,2	0,5	0,6
Просо куриное	0,1	0,1	0,05	0,04	0,2	0,1	0,1	0,1	0,6	0,5
Прочие виды	0,2	0,05	0,05	0,3	0,6	0,03	0,1	0,04	0,2	0,3
Итого	**1,7**	**2,3**	**2,0**	**4,4**	**4,5**	**0,9**	**1,6**	**1,0**	**3,1**	**2,9**
Культура										
Яровая тритикале	1,3	1,6	3,1	1,7	2,0	0,6	0,8	1,8	3,0	1,8

Примечание. 1. Кущение культуры (ст. 23); 2. выход в трубку (ст. 32); 3. появление соцветий (ст. 55); 4. образование зерен (ст. 73); 5. созревание зерен (ст. 89).

В период появления соцветий культуры отмечено увеличение выноса калия яровой тритикале (56,8 кг/га), что связано с формированием колоса.

В стадии образования зерен культуры увеличился вынос элементов питания сорными растениями. В этот период вынос отдельных питательных веществ сорняками превосходил их вынос яровой тритикале (K_2O – 39,0 и 27,7; CaO – 4,4 и 1,7; MgO – 3,1 и 3,0 кг/г), т.к. большинство сорных растений (марь белая, горец вьюнковый, фиалка полевая (*Viola arvensis* Murr.), подмаренник цепкий (*Galium aparine L.*) находилось в фазе образования семян. В посевах засоренных весь период вегетации (стадия развития культуры – созревание зерен) наблюдалась сходная тенденция.

Исследования показали, что максимальная урожайность была получена на делянках, свободных от сорных растений весь период вегетации, и составила 35,2 ц/га, минимальная – в посевах, засоренных весь период вегетации – 24,9 ц/га. При удалении сорных растений со стадии развития листьев урожайность яровой тритикале составила 34,4 ц/га; кущения – 34,1; выхода в трубку – 28,7; появления соцветий – 26,3; образования зерен – 25,6 ц/га.

Данные статистического анализа показали, что между урожайностью яровой тритикале и выносом элементов питания сорными растениями наблюдается отрицательная зависимость, которая описывается уравнением линейной регрессии ($Y = A – bX$). Коэффициент детерминации ($R^2 = 0,711$) показал, что в 71 % случаев урожайность яровой тритикале зависела от выноса элементов питания сорными растениями. Коэффициент корреляции составил 0,843, что говорит о сильной обратной зависимости.

Следовательно, чем позднее проводится прополка, тем больше сорные растения выносят элементов питания и тем выше потери урожая культуры.

ВЫВОДЫ

Исследованиями установлено, что в надземной массе яровой тритикале в течение периода вегетации содержится 1,19–2,31 % азота; 0,81–1,04 % фосфора; 1,15–4,49 % калия; 0,06–0,16 % кальция и 0,06–0,09 % магния к воздушно-сухой массе. В зависимости от стадии развития культурой выносится из почвы 13,1–36,4 кг/га азота; 12,8–46,5 кг /га фосфора; 23,7–56,8 кг/га калия; 1,3–3,1 кг/га кальция; 0,6–3,0 кг/га магния. В различные стадии развития культуры сорные растения выносят из почвы 2,7–14,8 кг/га азота; 2,2–20,1 кг/га фосфора; 6,7–39,0 кг/га калия; 1,7–4,5 кг/га кальция и 0,9–3,1 кг/га магния.

Содержание элементов минерального питания в сухой массе сорных растений зависит от их вида. Особенно интенсивно поглощают элементы питания сорные растения, формирующие хорошо развитую вегетативную массу. В посевах яровой тритикале наибольший вынос элементов питания приходился на марь белую и трехреберник непахучий. По мере роста сорных растений происходит увеличение их вегетативной массы и как следствие увеличивается вынос ими элементов минерального питания, что приводит к снижению урожайности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сискевич, Ю.И. Вынос основных элементов питания из почвы в зависимости от степени засоренности / Ю.И. Сискевич, Г.Н. Никонова // Агрохимический вестник. – 2009. – № 2. – С. 32–33.

2. Брухаль, Ф.Й. Шкідливісць бур·янів у посівах сої / Ф.Й. Брухаль, Л.М. Красюк // Карантин і захист рослин. – 2011. – № 4. – С. 9–12.

3. Ладонин, В.Ф. Комплексное применение гербицидов в интенсивном земледелии / В.Ф. Ладонин, А.М. Алиев. – М.: Агромпромиздат, 1991. – 271 с.

4. Маслёнкина, И.Н. Вредоносность сорных растений в посевах капусты белокочанной, возделываемой по безрассадной технологии / И.Н. Маслёнкина, С.В. Сорока // Земляробства і ахова раслін. – 2009. – № 2. – С. 65–67.

5. Булавина, Т.М. Оптимизация приемов возделывания ярового тритикале в Беларуси / Т.М. Булавина; Ин-т земледелия и селекции НАН Беларуси. – Минск: ИВЦ Минфина, 2005. – 224 с.

6. Методические указания по определению выноса питательных веществ сорняками с учетом видового состава и степени засоренности посевов. – М.: Информагротех, 1999. – 16 с.

7. Научно-методические подходы к определению выноса питательных веществ сорняками / Л.М. Державин [и др.] // Агрохимический вестник. – 1998. – № 5–6. – С. 10–11.

8. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 390 с.

REMOVAL OF BASIC NUTRIENTS BY SPRING TRITICALE AND WEED PLANTS IN ORGANOGENESIS

A.S. Pestereva, **S.V. Soroka**

Summary

As a result of carried out researches it is determined that during the vegetation period at various stages of crop development the amount of nitrogen removed by weed plants has made 2,7–14,8 kg/ha, phosphorus – 2,2–20,1 kg/ha, potassium – 6,7–39,0 kg/ha, calcium – 1,7–4,5 kg/ha, magnesium – 0,9–3,1 kg/ha. A dependence of nutrients removal on weed plant species and vegetative mass is revealed.

Поступила 10.04.13

УДК 633.367:631.81.095.338:631.445.2

ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО ОТ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСИТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ КОБАЛЬТОМ И ПРИМЕНЕНИЯ КОБАЛЬТОВЫХ УДОБРЕНИЙ

М.В. Рак, Е.Н. Пукалова
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Среди зернобобовых культур в условиях Беларуси, кроме гороха и вики, большое кормовое и агротехническое значение имеет люпин. В Беларуси в настоящее время он представлен на 92 % сортами люпина узколистного белорусской селекции высокого репродукционного состава. Биологический зерновой потенциал сортов люпина узколистного в почвенно-климатических условиях республики при соблюдении технологии возделывания достаточно высок и в отдельные годы превышает 6 т/га. Современные сорта кормового люпина отличаются высоким содержанием белка в семенах. Люпин узколистный, например, имеет в семенах 36–38 % сбалансированного по аминокислотам белка. Они используются как высокобелковая добавка в рационах всех видов сельскохозяйственных животных, птицы и рыбы, а также могут применяться во многих пищевых продуктах. Вегетативная масса люпина тоже содержит от 18 до 23 % белка в переводе на сухое вещество и используется в кормлении животных как в свежескошенном виде, так и для приготовления грубых и сочных кормов. Кроме большого количества полноценного белка, семена и вегетативная масса люпина содержат жиры, углеводы, витамины, микроэлементы и другие полезные вещества, что имеет важное значение для кормления скота. С экономической точки зрения,

люпин узколистный – высокорентабельная культура. Так, при урожайности 3,0 т/га фуража рентабельность производства люпина составляет 90,9 %, прибыль – 174,7 доллара США/га [1].

Дифференцированное применение микроэлементов в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур является дополнительным и значительным резервом дальнейшего роста урожайности и качества растениеводческой продукции.

Анализ имеющихся в литературе сведений показывает, что кобальт особенно необходим бобовым и зернобобовым культурам, так как усиливает азотфиксирующую деятельность клубеньковых бактерий. Ряд исследователей отмечают, что применение кобальтовых удобрений в некорневые подкормки позволяет повысить урожайность зернобобовых культур на 10–40 %. Роль кобальта заключается не только в повышении продуктивности зернобобовых культур, но и в решении проблемы качества кормов. Применение кобальтовых удобрений при возделывании зернобобовых культур позволяет значительно повысить содержание в зерне и зеленой массе протеина, жира, незаменимых аминокислот. Кобальт входит в состав витамина $B_{12,}$ недостаток которого в кормах для сельскохозяйственных животных вызывает резкое падение их продуктивности, а также может быть причиной ряда заболеваний, таких как акобальтоз и авитаминоз $B_{12,}$ которые могут привести к гибели животных [2, 3, 4].

Дерново-подзолистые супесчаные почвы Беларуси характеризуются наибольшей вариабельностью в содержании подвижного кобальта. Закономерности распределения в почвах кобальта и его потребления требовательными к этому элементу культурами в зависимости от уровней обеспеченности им почвы в республике изучены слабо.

Цель исследований – изучить влияние кобальта на урожайность и показатели качества люпина узколистного в зависимости от уровней обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы этим микроэлементом, видов и доз кобальтовых микроудобрений.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2011–2012 гг. в полевом опыте в РУП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района Минской области на дерново-подзолистой супесчаной почве, развивающейся на рыхлых водно-ледниковых супесях, сменяемых с глубины около 0,5 м связной супесью. Агрохимическая характеристика пахотного горизонта почвы: pH_{KCl} – 5,6; содержание гумуса – 2,0 %, P_2O_5 (0,2 н HCl) – 330 мг/кг и K_2O (0,2 н HCl) – 267 мг/кг. Исходное содержание подвижного кобальта в пахотном горизонте почвы составляло 0,15–0,54 мг/кг.

Исследования проводились на фоне минеральных удобрений ($P_{60}K_{120}$), которые вносились в форме аммонизированного суперфосфата, хлористого калия под культивацию. Сорт люпина – Прывабны. Норма высева – 1,2 млн всхожих семян на 1 гектар. Предшественник – ячмень.

Схема полевого опыта с люпином включала 8 вариантов. Некорневые подкормки растений люпина узколистного кобальтовыми микроудобрениями развернуты на 4-х уровнях насыщения супесчаной почвы кобальтом, созданных перед закладкой опыта. Площадь делянки – 12 м^2. Уровни насыщения пахотного слоя

почвы кобальтом в полевом опыте были созданы путем внесения сернокислого кобальта в виде водного раствора с учетом исходного содержания подвижного кобальта в почве на каждом уровне и нормативов затрат для смещения его содержания на данной почве.

Схема опыта с люпином узколистным

Уровни насыщения почвы кобальтом:

I – низкий уровень (0,9 мг/кг);
II – средний уровень (2,0 мг/кг);
III – высокий уровень (3,0 мг/кг);
IV – избыточный уровень (3,5 мг/кг).

Некорневые подкормки:

1. Контроль без удобрений;
2. $P_{60}K_{120}$ – фон;
3. $Co_{0,025}$;
4. $Co_{0,05}$; } некорневые подкормки микроудобрением МикроСтим-Кобальт
5. $Co_{0,075}$;
6. $Co_{0,025}B_{0,025}$;
7. $Co_{0,05}B_{0,05}$; } некорневые подкормки микроудобрением МикроСтим-Кобальт,Бор
8. $Co_{0,075}B_{0,075}$.

Некорневые подкормки растений люпина узколистного с возрастающими дозами кобальта и бора (0,025, 0,05, 0,075 кг/га д.в.) проводились в фазу бутонизации на фоне минеральных удобрений ($P_{60}K_{120}$). В процессе ухода посевы люпина обработаны гербицидом Примэкстра голд (2,5 л/га), инсектицидом Децис (60 мл/га). Закладку и проведение опыта, учет урожайности, качественных показателей, анализы почвы и растений проводили согласно принятым методикам.

Вегетационные периоды 2011–2012 гг. по значению ГТК характеризовались как избыточно увлажненные, с неравномерным выпадением осадков. Избыточное количество влаги в большей мере отмечалось в июне, а ее дефицит наблюдался в 2011 г. в августе, в 2012 г. количество осадков было ниже среднемноголетнего показателя в мае, июле и августе. Температура воздуха в течение вегетации в 2011 г. было выше, чем в 2012 г. В целом погодные условия были благоприятными для возделывания люпина.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов исследований за два года показал, что урожайность зерна люпина в значительной степени определялась уровнем обеспеченности почвы кобальтом. Наибольшая урожайность на фоновых вариантах опыта отмечалась при среднем уровне обеспеченности почвы кобальтом (2,0 мг/кг). Применение кобальтовых микроудобрений в некорневую подкормку растений люпина более эффективно на первых двух уровнях обеспеченности почвы кобальтом (до 2,0 мг/кг) (рис. 1, табл. 1). Так, при низком уровне содержания кобальта в почве (0,9 мг/кг) урожайность зерна составила 27,1 ц/га. По мере увеличения обеспеченности почвы кобальтом до 2,5 мг/кг урожайность зерна люпина повысилась на 1,9 ц/га (7 %).

Более высокие концентрации кобальта в почве не оказывали положительного влияния на урожайность культуры. Так, повышение содержания подвижного кобальта (до 3,0 мг/кг) приводило к снижению урожайности зерна на 3,9 ц/га, или на 13,4 %.

Наибольшие прибавки урожайности зерна люпина от применения некорневой подкормки исследуемыми микроудобрениями отмечались при низкой обеспеченности почвы кобальтом. При уровне содержания кобальта в почве 0,9 мг/кг некорневая подкормка удобрением МикроСтим-Кобальт увеличивала урожайность зерна на 3,1–3,6 ц/га, удобрением МикроСтим-Кобальт,Бор – на 2,0–3,0 ц/га. При повышении содержания в почве кобальта до 2,0 мг/кг эффективность некорневой подкормки кобальтовыми удобрениями несколько снижалась. Так, прибавки урожайности зерна были на уровне 2,9–3,5 ц/га от удобрения МикроСтим-Кобальт и 2,0–2,4 ц/га от удобрения МикроСтим-Кобальт,Бор. При высоком уровне содержания кобальта в почве прибавка от некорневой подкормки (2,2 ц/га) была получена только от удобрения МикроСтим-Кобальт в дозе 0,025 кг/га д.в. кобальта.

Анализ урожайных данных по дозам и видам удобрений показал, что наибольшие прибавки урожайности зерна люпина отмечались при внесении удобрения МикроСтим-Кобальт в дозе 0,05 кг/га д.в. и составили 3,6 ц/га при низком уровне содержания кобальта в почве и 3,5 ц/га при среднем уровне. В среднем за два года исследований можно отметить некоторое преимущество по влиянию на урожайность зерна удобрения МикроСтим-Кобальт в сравнении с удобрением МикроСтим-Кобальт,Бор.

Рис. 1. Урожайность зерна люпина в зависимости от обеспеченности почвы кобальтом и кобальтовых удобрений, ц/га

Таблица 1

Влияние кобальтовых удобрений на урожайность зерна люпина при различной обеспеченности почвы кобальтом

Уровни содержания кобальта в почве	Вариант опыта		Урожайность зерна, ц/га			Прибавка, ц/га
			2011 г.	2012 г.	среднее	
	1. Контроль		18,0	22,0	20,0	–
Низкий (0,9 мг/кг)	2. $P_{60}K_{120}$ – фон		25,0	29,2	27,1	–
	3. $Co_{0,025}$	МикроСтим-Кобальт	27,2	33,6	30,4	3,3
	4. $Co_{0,05}$		28,2	33,3	30,7	3,6
	5. $Co_{0,075}$		29,0	31,5	30,2	3,1
	6. $Co_{0,025}B_{0,025}$	МикроСтим-Кобальт,Бор	26,8	31,5	29,1	2,0
	7. $Co_{0,05}B_{0,05}$		27,0	33,0	30,0	2,9
	8. $Co_{0,075}B_{0,075}$		28,2	32,0	30,1	3,0
Средний (2,0 мг/кг)	2. $P_{60}K_{120}$ – фон		28,8	29,3	29,0	–
	3. $Co_{0,025}$	МикроСтим-Кобальт	31,1	32,8	31,9	2,9
	4. $Co_{0,05}$		31,8	33,2	32,5	3,5
	5. $Co_{0,075}$		32,5	31,5	32,0	3,0
	6. $Co_{0,025}B_{0,025}$	МикроСтим-Кобальт,Бор	30,6	32,0	31,3	2,3
	7. $Co_{0,05}B_{0,05}$		30,8	31,2	31,0	2,0
	8. $Co_{0,075}B_{0,075}$		30,8	32,0	31,4	2,4
Высокий (3,0 мг/кг)	2. $P_{60}K_{120}$ – фон		25,6	24,6	25,1	–
	3. $Co_{0,025}$	МикроСтим-Кобальт	27,7	27,0	27,3	2,2
	4. $Co_{0,05}$		24,4	26,6	25,5	0,4
	5. $Co_{0,075}$		23,8	25,5	24,6	–
	6. $Co_{0,025}B_{0,025}$	МикроСтим-Кобальт,Бор	27,4	25,0	26,2	1,1
	7. $Co_{0,05}B_{0,05}$		23,5	24,5	24,0	–
	8. $Co_{0,075}B_{0,075}$		21,2	26,6	23,9	–
$НСР_{05}$ вариантов $НСР_{05}$ уровней			1,74 1,24	1,08 1,54	1,49 1,31	

Установлено, что под влиянием кобальта содержание сырого протеина в зерне люпина по вариантам опыта составило 28,4–34,0 %, выход сырого протеина – 7,0–10,4 ц/га (табл. 2). По мере увеличения концентрации кобальта в почве на фоновых вариантах от низкого (0,9 мг/кг) до высокого уровня (3,0 мг/кг) отмечалась тенденция к снижению содержания сырого протеина в зерне люпина на 0,2–0,3 %. Сбор сырого протеина зависел от урожайности люпина и увеличивался на 0,5 ц/га до 2 уровня содержания кобальта в почве.

Таблица 2

Влияние кобальтовых удобрений на качество зерна люпина при различной обеспеченности почвы кобальтом (среднее за 2011–2012 гг.)

Вариант опыта		Уровни содержания кобальта в почве		
		низкий (0,9 мг/кг)	средний (2,0 мг/кг)	высокий (3,0 мг/кг)
сырой протеин, %				
2. $P_{60}K_{120}$ – фон		28,7	28,5	28,4
3. $Co_{0,025}$	МикроСтим-Кобальт	31,8	30,1	27,1
4. $Co_{0,05}$		34,0	30,5	30,5
5. $Co_{0,075}$		32,0	31,9	30,2
6. $Co_{0,025}B_{0,025}$	МикроСтим-Кобальт,Бор	32,3	31,2	30,3
7. $Co_{0,05}B_{0,05}$		31,8	31,4	31,4
8. $Co_{0,075}B_{0,075}$		31,6	31,2	29,1
сбор сырого протеина, ц/га				
2. $P_{60}K_{120}$ – фон		7,8	8,3	7,1
3. $Co_{0,025}$	МикроСтим-Кобальт	9,7	9,6	7,4
4. $Co_{0,05}$		10,4	9,9	7,8
5. $Co_{0,075}$		9,8	10,2	7,4
6. $Co_{0,025}B_{0,025}$	МикроСтим-Кобальт,Бор	9,4	9,8	7,9
7. $Co_{0,05}B_{0,05}$		9,5	9,7	7,5
8. $Co_{0,075}B_{0,075}$		9,5	9,8	7,0

Применение кобальтовых удобрений в некорневую подкормку растений люпина способствовало повышению содержания сырого протеина в зерне с наибольшей эффективностью при низкой концентрации кобальта в почве. С увеличением концентрации кобальта в почве эффективность влияния некорневой подкормки на данный показатель снижается. Наибольшее содержание сырого протеина (34,0 %) и сбор сырого протеина (10,4 ц/га) были получены в варианте с внесением МикроСтим-Кобальт в дозе 0,05 кг/га д.в. кобальта при низкой концентрации его в почве.

Анализ данных по содержанию кобальта в зерне свидетельствует о линейной зависимости его поступления в растения люпина от концентрации его в почве и некорневой подкормки кобальтсодержащими удобрениями (табл. 3). Увеличение содержания подвижной формы кобальта в почве (от низкого до высокого) способствовало накоплению элемента в зерне от 0,43 до 0,49 мг/кг, или на 0,03 мг/кг от 1 мг/кг в почве. При этом для достижения нижней границы оптимального содержания кобальта в сухом веществе (0,43 мг/кг) достаточно содержания его в почве на уровне 0,9 мг/кг. Некорневые подкормки кобальтовыми удобрениями в фазу бутонизации повышали его содержание в зерне по вариантам опыта до 0,48 –0,60 мг/кг, или на 11,6–22,4 % по сравнению с фоновыми вариантами.

Коэффициент накопления является отношением содержания микроэлемента в растениях к содержанию его в почве и может быть использован для прогнозирования содержания микроэлемента в растениях (табл. 3). Для расчетов коэффициента использовано содержание подвижной формы кобальта в пахотном горизонте почвы к концу созревания люпина. Результаты расчетов свидетельствуют о значительном усвоении кобальта из почвы. Наиболее активно он накапливается в зерне при низкой концентрации его в почве (0,9 мг/кг), где коэффициент накопления был равен 0,49. По мере увеличения концентрации кобальта от низкого до избыточного уровня коэффициент накопления элемента в зерне снижался до 0,16. Коэффициент накопления от некорневой подкормки кобальтом увеличивался с возрастающими дозами микроэлемента и максимально составил 0,63 при низком уровне содержания кобальта в почве и 0,20 при избыточном.

Экономическая эффективность некорневой подкормки люпина кобальтовыми микроудобрениями МикроСтим-Кобальт и МикроСтим-Кобальт,Бор рассчитана на основании полученных в опыте прибавок зерна и нормативных данных затрат и цен (табл. 4). При низком и среднем содержании в почве подвижного кобальта экономически эффективно использование обоих видов удобрения. Рентабельность от разных доз и видов удобрений в некорневую подкормку колебалась от 116 до 530 %. Уровень рентабельности выше в вариантах с применением удобрения МикроСтим-Кобальт по сравнению с МикроСтим-Кобальт,Бор. Наибольший экономический эффект был получен в вариантах с применением МикроСтим-Кобальт в дозе 0,025 кг/га д.в. кобальта. При этом рентабельность составила 530 % при низком содержании кобальта в почве и 490 % – при среднем.

Таблица 3

Содержание кобальта в зерне люпина в зависимости от уровней насыщения почвы кобальтом, доз и видов кобальтовых удобрений (среднее за 2011–2012 гг.)

Вариант опыта		Уровни содержания кобальта в почве		
		низкий (0,9 мг/кг)	средний (2,0 мг/кг)	высокий (3,0 мг/кг)
содержание кобальта в зерне, мг/кг сухой массы				
2. $P_{60}K_{120}$ – фон		0,43	0,46	0,49
3. $Co_{0,025}$	МикроСтим-Кобальт	0,48	0,49	0,51
4. $Co_{0,05}$		0,49	0,51	0,52
5. $Co_{0,075}$		0,52	0,53	0,55
6. $Co_{0,025}B_{0,025}$	МикроСтим-Кобальт,Бор	0,49	0,52	0,56
7. $Co_{0,05}B_{0,05}$		0,50	0,54	0,57
8. $Co_{0,075}B_{0,075}$		0,55	0,57	0,60
коэффициент накопления кобальта				
2. $P_{60}K_{120}$ – фон		0,49	0,23	0,16
3. $Co_{0,025}$	МикроСтим-Кобальт	0,55	0,25	0,17
4. $Co_{0,05}$		0,56	0,26	0,17
5. $Co_{0,075}$		0,59	0,27	0,18
6. $Co_{0,025}B_{0,025}$	МикроСтим-Кобальт,Бор	0,54	0,26	0,18
7. $Co_{0,05}B_{0,05}$		0,56	0,27	0,19
8. $Co_{0,075}B_{0,075}$		0,63	0,28	0,20

Таблица 4

Экономическая эффективность некорневых подкормок люпина кобальтовыми удобрениями на почве с разным уровнем содержания кобальта

Показатели	Дозы и виды удобрений					
	$Co_{0,025}$	$Co_{0,025}B_{0,025}$	$Co_{0,05}$	$Co_{0,025}B_{0,025}$	$Co_{0,075}$	$Co_{0,075}B_{0,075}$
	МикроСтим-Кобальт	МикроСтим-Кобальт,Бор	МикроСтим-Кобальт	МикроСтим-Кобальт,Бор	МикроСтим-Кобальт	МикроСтим-Кобальт,Бор
Уровень 1. Низкое содержание кобальта (0,9 мг/кг почвы)						
Прибавка, ц/га	3,3	2,0	3,6	2,9	3,1	3,0
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	1155,0	700,0	1260,0	1015,0	1085,0	1050,0
Всего затрат, тыс. руб./га	183,0	178,3	260,3	302,0	317,0	405,0
Чистый доход, тыс. руб./га	972,0	521,7	1000,0	713,0	768,0	645,0
Рентабельность,%	530	292	384	236	242	159
Уровень 2. Среднее содержание кобальта (2,0 мг/кг почвы)						
Прибавка, ц/га	2,9	2,3	3,5	2,0	3,0	2,4
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	1015,0	805,0	1225,0	700,0	1050,0	840,0
Всего затрат, тыс. руб./га	172,0	186,0	258,0	278,0	315,0	388,0
Чистый доход, тыс. руб./га	843,0	619,0	967,0	422,0	735,0	452,0
Рентабельность,%	490	333	375	152	233	116

ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистой супесчаной почве урожайность зерна люпина узколистного зависела от содержания кобальта в почве и была более высокой при среднем уровне обеспеченности почвы этим микроэлементом (2,0 мг/кг). Дальнейшее повышение концентрации кобальта в почве (до 3,0 мг/кг) приводило к снижению урожайности люпина.

2. Эффективность кобальтовых удобрений была различной и зависела от уровня обеспеченности почвы кобальтом, доз и видов микроудобрений. Некорневая подкормка растений люпина в фазу бутонизации кобальтовыми удобрениями повышала урожайность зерна на 2,0–3,6 ц/га. При этом более высокую экономическую эффективность (прибавки зерна 3,3 и 2,9 ц/га при рентабельности 530 и 490 %) обеспечивает внесение в некорневые подкормки удобрения МикроСтим-Кобальт в дозе 0,025 кг/га д.в. при низком (0,9 мг/кг) и среднем (2,0 мг/кг) уровнях содержания кобальта в почве.

3. Некорневые подкормки кобальтовыми удобрениями повышали содержание кобальта в зерне по вариантам опыта до 0,48–0,60 мг/кг сухой массы, или на 11,6–22,4 % в сравнении с фоновыми вариантами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Купцов, Н.С. Потенциал люпина заслуживает более пристального внимания / Н.С. Купцов, И.И. Борис // Белорусское сельское хозяйство. – 2009. – № 2. – С. 40–41.

2. Каталымов, М.В. Микроэлементы и их роль в повышении урожайности / М.В. Каталымов. – М.: Химия, 1965. – 332 с.

3. Анспок, П.И. Микроудобрения: справочник / П.И. Анспок. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 272 с.

4. Ковальский, В.В. Микроэлементы в растениях и кормах / В.В. Ковальский, Ю.Е. Раецкая, Т.И. Грачева. – М.: Колос, 1971. – 235 с.

DEPENDENCE OF YIELD AND QUALITY OF BLUE LUPINE ON THE COBALT SUPPLY OF PODZOLUVISOL LOAMY SAND SOIL AND COBALT FERTILIZERS

M.V. Rak, E.N. Pukalova

Summary

Results of researches on study of influence of various levels of cobalt content in podzoluvisol loamy sand soil, doses and cobalt fertilizers on the yield and quality of blue lupine are presented in the article. It is established that higher efficiency (grain increase 3,3 and 2,9 c/ha at profitability of 530 and 490 %) provides the application introduction of MikroStim-Cobalt in foliar fertilizations in a dose of 0,025 kg/ha a.s. at low (0,9 mg/kg) and average (2,0 mg/kg) levels of the cobalt content in a soil.

Поступила 29.04.13

УДК 631.81.095.337:633:631.445.2

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОУДОБРЕНИЙ ЭЛЕГУМ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

М.В. Рак[1], В.В. Лапа[1], Г.А. Соколов[2], С.А. Титова[1], Т.Г. Николаева[1], Е.Н. Пукалова[1]

[1]Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

[2]Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

При возделывании зерновых культур по интенсивным технологиям, при высоком уровне минерального питания, резко возрастает роль микроэлементов. Эффективность микроэлементов зависит от почвенно-агрохимических условий, биологических особенностей растений, видов и форм микроудобрений, соотношения цен на продукцию и микроудобрения. Установлено, что на почвах с низким содержанием микроэлементов внесение микроудобрений может повысить урожай на 10–15 % и более. Возделывание зерновых культур невозможно без таких микроэлементов, как медь, марганец, цинк и бор. Микроэлементы играют важную роль в физиологических и биохимических процессах развития растений, входят в состав ферментов, витаминов, гормонов и других веществ, участвуют в процессах синтеза и передвижения углеводов, в белковом и жировом обмене веществ. При их дефиците нарушаются процессы обмена веществ в растениях, задерживается их развитие, снижается устойчивость к неблагоприятным условиям внешней среды и болезням. Недостаток микроэлементов может привести не только к снижению урожая, но и к резкому ухудшению его качества [1, 2, 3, 4].

Эффективность удобрений во многом определяется способом их внесения. В практике сельского хозяйства эффективными способами применения микроудобрений является предпосевная обработка семян и некорневые подкормки растений. Предпосевная обработка семян оказывает положительное действие на их всхожесть и устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды. Некорневая подкормка позволяет снизить норму расхода дорогостоящих микроудобрений и устранить дефицит микроэлементов в критические фазы роста и развития растений [5, 6].

Для обеспечения потребности сельскохозяйственных культур в элементах питания, а также учитывая высокую стоимость импортных удобрений, в последние годы ведется разработка новых, более экономичных и технологичных видов отечественных микроудобрений. Наиболее эффективной формой микроэлементов для растений является перевод их в комплексные соединения металлов типа хелатов. Эффективность хелатных форм выше, чем химических солей, они легкорастворимы в воде и более технологичны в применении. Микроудобрения в данной форме отличаются низкой токсичностью и обеспечивают высокую эффективность даже в малых дозах, они более подвижны и доступны для растений.

Большое значение имеет использование регуляторов роста природного происхождения как биологического резерва повышения продуктивности культур. К группе таких веществ относится биологически активный препарат природного происхождения, получаемый на основе гуминовых веществ. Гуминовый препарат выделяется посредством обработки торфа водным раствором аммиака при повышенной температуре и давлении с последующим обогащением микроэлементами в хелатной и органо-минеральной форме.

Цель исследований заключалась в разработке и изучении эффективности новых жидких двухкомпонентных комплексных микроудобрений ЭлеГум при возделывании озимой пшеницы и ячменя на дерново-подзолистых почвах.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению эффективности жидких двухкомпонентных комплексных микроудобрений ЭлеГум на урожайность и качество озимой пшеницы и ярового ячменя проводились в 2009–2011 гг. в полевых опытах на дерново-подзолистых почвах.

В СПК «Щемыслица» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве проведены исследования по применению жидких микроудобрений ЭлеГум в предпосевную обработку семян и некорневые подкормки озимой пшеницы Тонация. Агрохимические показатели пахотного горизонта почвы опытных участков: pH в KCl – 5,82–6,44, содержание гумуса – 1,62–2,11 %, P_2O_5 – 348–378 мг/кг почвы, K_2O – 237–279, Cu – 1,76–1,93, Mn обм. – 1,88–5,3, Zn – 2,0–2,85 мг/кг почвы. Исследования с озимой пшеницей проводили на фоне $N_{173}P_{70}K_{150}$. Площадь делянки – 25 м^2, повторность опыта – 4-кратная.

Эффективность предпосевной обработки семян и некорневой подкормки посевов ячменя Атаман и Батька микроудобрениями ЭлеГум изучали в полевых опытах в РУП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района на дерново-подзолистой супесчаной почве. Агрохимическая характеристика пахотного горизонта почвы опытных участков: pH в KCl – 5,21–6,56, содержание гумуса – 2,01–2,6 %, P_2O_5 – 144–210 мг/кг почвы, K_2O – 190–285, Cu – 1,55–2,0, Mn обм. – 1,0–2,77, Zn – 2,41–4,37 мг/кг почвы. Исследования проводили на фоне $N_{65}P_{90}K_{150}$ и $N_{90}P_{90}K_{150}$. Площадь делянки – 25 м^2, повторность опыта – 3,4-кратная.

Технология возделывания озимой пшеницы и ячменя общепринятая для республики. Минеральные удобрения вносили в виде мочевины, КАС, аммофоса и хлористого калия. Во время вегетации культур осуществлялся уход за посевами, применялись средства защиты. Уборку проводили комбайном «Сампо–500» в фазу полной спелости зерна. Учет урожая зерна озимой пшеницы и ячменя – сплошной поделяночный.

Разработанные двухкомпонентные комплексные микроудобрения ЭлеГум представляют собой жидкие микроудобрения, изготовленные путем обогащения гуминовых торфяных экстрактов различными наборами и соотношением микроэлементов меди и марганца, бора и меди, цинка и марганца, бора и марганца, бора и цинка (ТУ BY 100289079.041–2011). Хорошо растворимы в воде, нетоксичны. В зависимости от назначения микроудобрения ЭлеГум представлены шестью марками, которые отличаются друг от друга по составу и содержанию микроэлементов. Химический состав жидких комплексных микроудобрений ЭлеГум представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав жидких комплексных микроудобрений ЭлеГум

Марки микроудобрения	Бор	Цинк	Медь	Марганец	Гуминовые вещества
	г/л				
ЭлеГум Медь-Марганец	–	–	25–33	25–33	10
ЭлеГум Медь-Цинк	–	25	25	–	10
ЭлеГум Бор-Марганец	50–100	–	–	25–50	10
ЭлеГум Бор-Цинк	50	50	–	–	10
ЭлеГум Бор-Медь	50–100	–	25–50	–	10
ЭлеГум Цинк-Марганец	–	20–30	–	20–30	10

Комплексные микроудобрения ЭлеГум предназначены для предпосевной обработки семян и некорневых подкормок сельскохозяйственных культур. При предпосевной обработке семян зерновых культур расход рабочего раствора 10 л/т. Рабочий раствор готовился непосредственно перед предпосевной обработкой семян в рабочей емкости машины при непрерывном перемешивании и использовался в день приготовления. Некорневые подкормки озимой пшеницы различными марками микроудобрений ЭлеГум в дозе 1,0 л/га проводили в фазу начало кущения осенью, в стадию первого узла и в фазу выхода флагового листа, ячменя – в фазу выхода в трубку в дозе 1,0 л/га. Рабочий раствор готовился непосредственно перед проведением некорневой подкормки растений путем разведения концентрата удобрения водой. Расход рабочего раствора 200 л/га.

Исследования проводили в соответствии с методическими указаниями по закладке полевых опытов. Статистическая обработка результатов исследований проведена методом дисперсионного анализа. Схемы опытов, дозы микроудобрений и фоны минеральных удобрений представлены далее в таблицах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что применение различных марок микроудобрений ЭлеГум при возделывании озимой пшеницы и ячменя способствует повышению урожайности. Величина прибавок урожая зерна зависела от способа, марок и доз вносимых микроудобрений.

При возделывании озимой пшеницы предпосевная обработка семян и некорневые подкормки жидкими комплексными микроудобрениями на основе гуматов торфа с медью, бором, цинком и марганцем ЭлеГум на фоне минеральных удобрений способствовали повышению урожайности зерна, не снижая показателей его качества. В среднем за два года исследований предпосевная обработка семян различными марками микроудобрений ЭлеГум обеспечила достоверное повышение урожайности зерна. При урожайности в фоновом варианте 62,1 ц/га

применение микроудобрения ЭлеГум Медь-Марганец в дозе 3,0 л/т в предпосевную обработку семян озимой пшеницы обеспечило прибавку урожайности зерна 4,7 ц/га (табл. 2).

Наибольшая эффективность новых микроудобрений получена от их применения в некорневые подкормки. Внесение микроудобрений ЭлеГум в трехкратную некорневую подкормку (в фазу начало кущения – осенью, в стадию первого узла и в фазу выхода флагового листа) озимой пшеницы способствовало повышению урожайности зерна в сравнении с вариантом, где микроэлементы не применялись. Так, от некорневых подкормок озимой пшеницы в зависимости от марок микроудобрений получены следующие прибавки урожайности зерна: ЭлеГум Бор-Медь – 5,4 ц/га, ЭлеГум Медь-Марганец – 6,0 ц/га, ЭлеГум Цинк-Марганец – 4,2 ц/га и ЭлеГум Медь-Цинк – 4,3 ц/га. По годам прибавки зерна от микроудобрений достигали от 3,7 ц/га до 6,4 ц/га при урожайности в фоновом варианте 49,9 и 62,1 ц/га.

Таблица 2

Влияние микроудобрений ЭлеГум на урожайность зерна озимой пшеницы

Варианты	Урожайность, ц/га			Прибавка к фону, ц/га
	2010 г.	2011 г.	среднее	
1. NPK – фон	49,9	74,3	62,1	–
Предпосевная обработка семян				
2. Фон + ЭлеГум Медь-Марганец (3,0 л/т)	54,4	79,1	66,8	4,7
Некорневая подкормка				
3. Фон + ЭлеГум Бор-Медь (1,0 л/га)	55,2	79,8	67,5	5,4
4. Фон + ЭлеГум Медь-Марганец (1,0 л/га)	55,4	80,7	68,1	6,0
5. Фон + ЭлеГум Цинк-Марганец (1,0 л/га)	53,6	78,9	66,3	4,2
6. Фон + ЭлеГум Медь-Цинк (1,0 л/га)	53,9	78,8	66,4	4,3
$НСР_{05}$			2,5	

Наряду с увеличением урожайности от применения макро- и микроудобрений, важны и качественные показатели зерна. Исследования показали, что при возделывании озимой пшеницы применение различных марок микроудобрений ЭлеГум практически не оказало влияния на содержание белка и клейковины в зерне (табл. 3).

Таблица 3

Влияние микроудобрений ЭлеГум на качество зерна озимой пшеницы

Варианты	Белок, %			Сбор белка, ц/га			Клейковина, %		
	2010 г.	2011 г.	среднее	2010 г.	2011 г.	среднее	2010 г.	2011 г.	среднее
1. NPK – фон	13,6	12,0	12,8	5,8	7,6	6,7	28,8	25,4	27,1
Предпосевная обработка семян									
2. Фон + ЭлеГум Медь-Марганец (3,0 л/т)	13,8	11,2	12,5	6,5	7,6	7,1	29,2	23,7	26,5
Некорневая подкормка									
3. Фон + ЭлеГум Бор-Медь (1,0 л/га)	13,7	11,9	12,8	6,5	8,2	7,4	29,1	25,2	27,2
4. Фон + ЭлеГум Медь-Марганец (1,0 л/га)	14,0	11,9	13,0	6,7	8,3	7,5	29,6	25,2	27,4
5. Фон + ЭлеГум Цинк-Марганец (1,0 л/га)	14,0	12,0	13,0	6,7	8,1	7,4	29,6	25,4	27,5
6. Фон + ЭлеГум Медь-Цинк (1,0 л/га)	13,9	12,0	13,0	6,4	8,1	7,3	29,5	25,4	27,5

Предпосевная обработка семян ячменя различными марками микроудобрений ЭлеГум обеспечивала повышение урожайности зерна в среднем за два года на 2,4–4,2 ц/га при урожайности в фоновом варианте 46,1 ц/га (табл. 4). Наилучший результат показали марки микроудобрений ЭлеГум Медь-Марганец и ЭлеГум Бор-Марганец. Некорневая подкормка ячменя в фазу выхода в трубку исследуемыми микроудобрениями также способствовала повышению урожайности зерна. В зависимости от марок микроудобрений в среднем за годы исследований прибавки составили: ЭлеГум Бор-Медь – 4,3 ц/га, ЭлеГум Медь-Марганец – 5,8 ц/га, ЭлеГум Цинк-Марганец – 4,6 ц/га и ЭлеГум Медь-Цинк – 3,7 ц/га. Прибавки зерна ячменя в опытах несколько отличались по годам исследований и составили 3,6–6,5 ц/га.

Таблица 4

Влияние микроудобрений ЭлеГум на урожайность зерна ячменя

Варианты	Урожайность, ц/га			Прибавка к фону, ц/га
	2010 г.	2011 г.	среднее	
Предпосевная обработка семян				
1. NPK – фон	41,5	50,7	46,1	–
2. Фон + ЭлеГум Медь-Марганец (4,0 л/т)	44,9	55,4	50,2	4,1
3. Фон + ЭлеГум Бор-Марганец (2,0 л/т)	45,8	54,7	50,3	4,2
4. Фон + ЭлеГум Бор-Цинк (2,0 л/т)	43,1	53,8	48,5	2,4
$НСР_{05}$	1,9	2,1	2,0	
Некорневая подкормка				
1. NPK – фон	46,4	50,7	48,6	–
2. Фон + ЭлеГум Бор-Медь (1,0 л/га)	50,6	55,1	52,9	4,3
3. Фон + ЭлеГум Медь-Марганец (1,0 л/га)	51,6	57,2	54,4	5,8
4. Фон + ЭлеГум Цинк-Марганец (1,0 л/га)	50,6	55,7	53,2	4,6
5. Фон + ЭлеГум Медь-Цинк (1,0 л/га)	50,0	54,6	52,3	3,7
$НСР_{05}$	2,4	2,1	2,2	

Отмечается улучшение качества зерна при применении различных марок микроудобрений ЭлеГум в предпосевную обработку семян и некорневую подкормку ячменя (табл. 5). В зависимости от способа внесения, марок и доз получено увеличение содержания белка в среднем за два года на 0,4–1,5 %, сбора белка – на 0,4–1,1 ц/га.

Таблица 5

Влияние микроудобрений ЭлеГум на качество зерна ячменя

Варианты	Белок, %			Сбор белка, ц/га		
	2010 г.	2011 г.	среднее	2010 г.	2011 г.	среднее
Предпосевная обработка семян						
1. NPK – фон	12,3	10,0	11,2	4,4	4,3	4,4
2. Фон + ЭлеГум Медь-Марганец (4,0 л/т)	13,4	12,0	12,7	5,2	5,7	5,5
3. Фон + ЭлеГум Бор-Марганец (2,0 л/т)	13,1	10,0	11,6	5,2	4,7	5,0
4. Фон + ЭлеГум Бор-Цинк (2,0 л/т)	13,5	10,0	11,8	5,0	4,6	4,8
Некорневая подкормка						
1. NPK – фон	9,9	10,0	10,0	4,0	4,3	4,2
2. Фон + ЭлеГум Бор-Медь (1,0 л/га)	10,8	10,8	10,8	4,6	5,1	4,9
3. Фон + ЭлеГум Медь-Марганец (1,0 л/га)	10,4	10,4	10,4	4,6	5,1	4,9
4. Фон + ЭлеГум Цинк-Марганец (1,0 л/га)	10,0	11,2	10,6	4,4	5,4	4,9
5. Фон + ЭлеГум Медь-Цинк (1,0 л/га)	10,0	10,8	10,4	4,3	5,1	4,7

ВЫВОДЫ

1. Применение различных марок новых двухкомпонентных микроудобрений ЭлеГум при возделывании озимой пшеницы и ячменя показало положительную эффективность в повышении урожайности и качества зерна.

2. На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве применение различных марок микроудобрений ЭлеГум в предпосевную обработку семян озимой пшеницы обеспечило повышение урожайности зерна на 3,8–4,7 ц/га. Некорневые подкормки посевов озимой пшеницы новыми микроудобрениями в зависимости от марок и доз способствовали повышению урожайности зерна на 4,2–6,0 ц/га.

3. При возделывании ячменя на супесчаной почве предпосевная обработка семян микроудобрениями ЭлеГум обеспечила повышение урожайности зерна на 2,4–4,2 ц/га, некорневая подкормка – на 3,7–5,8 ц/га. В зависимости от марки микроудобрений и способа внесения содержание белка увеличивалось на 0,4–1,5 %, сбор белка – на 0,4–1,1 ц/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по зерновым культурам / М.П. Шкель [и др.]; под ред.: В.П. Самсонова, Н.Д. Мухина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Ураджай, 1986. – 304 с.

2. Ягодин, Б.А. Агрохимия: учебник / Б.А. Ягодин, П.М. Смирнов, А.В. Петербургский. – М.: Агропромиздат, 1989. – 639 с.

3. Анспок, П.И. Микроудобрения / П.И. Анспок. – Л: Агропромиздат, 1990. – 272 с.

4. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 390 с.

5. Рациональное применение удобрений: пособие / И.Р. Вильдфлуш [и др.]; под общ. ред. И.Р. Вильдфлуша. – Горки: БГСХА, 2002. – 324 с.

6. Система применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2006. – 28 с.

EFFECTIVENESS OF MICROFERTILIZERS ELEGUM IN WINTER WHEAT AND BARLEY CULTIVATION ON SOD-PODZOLIC SOILS

M.V. Rak, V.V. Lapa, G.A. Sokolov,
S.A. Titova, T.G. Nikolaeva, E.N. Pukalova

Summary

In field experiments on sod-podzolic soils with winter wheat and barley the effectiveness of various kinds and dozes of liquid two component complex microfertilizers EleGum has studied.

Поступила 29.04.13

УДК 631.416.9:631.445.2

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА СКЛОНОВЫХ ПОЧВ ЛЕВОБЕРЕЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ УКРАИНЫ

Н.Н. Мирошниченко[1], А.В. Тертышная[1], А.В. Панасенко[2]

[1]Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н.Соколовского», г. Харьков, Украина

[2]Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева, г. Харьков, Украина

ВВЕДЕНИЕ

По экспертным оценкам, в различных физико-географических регионах Украины до 30–60 % сельскохозяйственных угодий расположены на склонах [1]. Среди склоновых почв выделяют как несмытые почвы (ксероморфные) со слаборазвитым профилем, так и смытые (эродированные) с утра-ченным верхним, наиболее плодородным слоем. Из-за особенностей распределения воды, тепла, растительности склоновое почвообразование имеет ряд специфических характеристик, которые находят отражение в физико-химических, агрохимических

и иных свойствах [2–3]. Это в полной мере относится и к формированию микроэлементного состава этих почв. Уменьшение гумусонакопления, как правило, сопровождается меньшей аккумуляцией биофильних элементов, а приближение к по-верхности карбонатного горизонта ухудшает их подвижность и доступность растениям [4]. Однако четких количественных закономерностей изменения микроэлементного состава с переходом от пла-корных почв к склоновым до сих пор почти не обнаружено. Вероятной причиной этого является зависимость общей направленности процессов перераспределения элементов от зональных условий почвообразования, кислотно-основной и окислительно-восстановительной обстановки, гидротермическо-го режима склона и особенностей микрорельефа [5–6]. Вследствие этого в отличных условиях склоновых почв может наблюдаться различный и даже противоположный ход аккумулятивных и элювиальных процессов.

Задача исследований – выявить различия в обеспечении склоновых почв физиологически необходимыми микроэлементами, что позволит вносить соответствующие коррективы в зональные рекомендации по применению микроудобрений, которые до сего времени не предусматривали дифференцированного подхода к плакорным и склоновым почвам.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на трех объектах, расположенных в пределах Харьковско-Змиевского агропочвенного района юго-восточной подпровинции Левобережной Лесостепи Украины (юго-западная окраина Среднерусской возвышенности). Почвенный покров места исследований представлен целым рядом разновидностей, от чернозема типичного глубокого до темно-серой оподзоленной почвы, и в совокупности характеризует закономерности формирования микроэлементного состава на участке перехода от плакорной части до хорошо развитой овражно-балочной системы в пределах транселювиального геохимического ландшафта. Все исследования проводили на почвах, находящихся в обработке.

На территории почвенно-экологического полигона «Люботинский» (терраса реки Люботинка) почвенные разрезы располагались по трансекте пологого (от 2° до 4°) склона юго-восточной экспозиции с преобладанием темно-серых оподзоленных почв на лессовидных суглинках. На объекте «Роганская балка» опорные разрезы были расположены по трансекте пологого (от 2° до 7°) склона юго-западной экспозиции с преобладанием черноземов оподзоленных. На каждом из упомянутых объектов было заложено по 3 опорных разреза в наиболее типичном месте верхней, средней и нижней части трансекты, почвенные пробы отбирали по генетическим горизонтам.

На объекте «Балка Яблочная» изучали пространственное распределение микроэлементов в пахотном слое почвы на поле общей площадью 108 га, расположенном на склоне 2–5° от восточной и юго-восточной экспозиции, в почвенном покрове преобладают черноземы оподзоленные с переходом в темно-серые

оподзоленные почвы различной степени эродированности. Детальное обследование этого земельного выдела проводили по регулярной сети 100 × 150 м, закладывая пробные делянки 5 × 5 м для отбора смешанных почвенных и растительных проб.

В почвенных пробах определяли содержание подвижных форм микроэлементов по Крупскому и Александровой (ацетатно-аммонийный буферный раствор с pH 4,8) атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Сатурн, гумус – по Тюрину, легкогидролизируемый азот – по Корнфилду, pH солевой вытяжки – по ГОСТ 26423, гранулометрический состав по – Качинскому, минералогический состав илистой части, выделенной по Горбунову, – рентгендифрактометрическим методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Физико-химические свойства почв пологих склонов лесостепной зоны отображают различное соотношение процессов выщелачивания, лессиважа и аккумуляции в зависимости от местоположения в ландшафте, уклона поверхности, экспозиции и формы профиля склона, материнской породы и других факторов почвообразования. Это проявляется в формировании достаточно разного гумусового и карбонатного профиля, а следовательно, и в различных условиях закрепления микроэлементов в составе органического вещества и карбонатов. Известно, что распашка черноземов привела к усилению подвижности и снижению количества карбонатов в профиле почвы. Однако в современных пахотных почвах оподзоленного ряда отмечено очень быстрое восстановление карбонатного профиля: за 1–3 года залежи карбонатов могут подтягиваться к поверхности даже ближе, чем в целинных аналогах [7]. Н. Кухарук с соавторами отмечает, что при длительном сельскохозяйственном использовании темно-серые оподзоленные почвы на карбонатных лессовидных суглинках характеризуются разнонаправ-ленными изменениями. Уменьшается проявление «присыпки» на гранях агрегатов, подтягиваются к поверхности карбонаты, подщелачивается нижняя часть профиля, расширяется соотношение СГК : СФК, что является признаками сближения с черноземами. Наряду с этим, отмечается усиление подвижности гумуса, ухудшение структуры верхних горизонтов и их дегумификация, что свидетельствуют об обратном [8]. Аналогичные процессы наблюдаются и в объектах наших исследований. Установлено, что в пахотных темно-серых оподзоленных почвах и в черноземах оподзоленных в летний период наблюдается наличие «подвешенного» (т. е. без связи с карбонатами материнской породы) карбонатного слоя. Мощность и глубина залегания этого слоя оказалась различной. В темно-серых оподзо-ленных почвах объекта «Люботинка» в почве верхней части склона глубина залегания карбонатов составляла около 50 см, что совпадает с иллювиальным горизонтом и в дальнейшем переходит в окарбоначенный лессовидный суглинок (табл. 1).

Таблица 1

Распределение подвижных форм микроэлементов по профилю черноземов оподзоленных в различных частях пологого склона

Часть склона/форма	Горизонт	Глубина, см	Вскипание	$pH_{сол.}$	$C_{орг.}$, %	Физ. глина, %	Содержание подвижных форм микроэлементов, мг/кг			
							Zn	Co	Cu	Mn
Верхняя часть/ выпуклая	A	0–34	+	7,20	2,57	34,9	0,20	0,21	0,10	1,60
	AB	34–59	+	7,40	2,00	44,2	0,17	0,23	0,35	5,97
	B	59–79	+	7,45	0,85	40,5	0,35	0,25	0,38	18,4
	BC	79–105	–	6,55	0,25	56,0	0,62	0,23	0,74	16,8
Средняя часть/ прямая	A	0–31	–	5,60	2,27	60,9	0,74	0,92	0,50	45,1
	AB	31–50	–	5,85	1,85	59,9	0,18	0,93	0,48	34,0
	B	50–79	+	7,40	1,32	65,6	0,38	0,91	0,51	23,8
	BC	79–105	–	6,00	0,40	53,5	0,50	0,84	0,17	38,3
Нижняя часть/ вогнутая	A	0–26	–	5,80	2,10	56,5	2,13	0,90	0,78	78,3
	AB	26–46	+	7,10	1,62	54,2	4,76	0,73	0,78	7,7
	B	46–80	–	5,45	0,52	57,7	1,97	0,66	1,19	11,7

В темно-серой почве средней части склона карбонатный слой отмечается с 30 см, хотя он уже не имеет связи с морфологическим горизонтом накопления карбонатов, а в почве нижней части склона вскипание от HCl наблюдается уже с поверхности. Мощность гумусированного профиля почвы также уменьшается в направлении от верхней к нижней части склона, что может быть связано с усилением эродированности при постепенном приобретении потоком способности к размыванию. Аналогичную закономерность уменьшения глубины вскипания в средне- и сильноэродированных серых лесных почвах также отмечает В.Г. Гаськевич с соавторами [9]. Вследствие приближения водорастворимых карбонатов к поверхности в почвах верхней части склона наблюдается наибольшая актуальная, обменная и гидролитическая кислотность. Это, в свою очередь, способствует большему выщелачиванию катионогенных микроэлементов из верхнего слоя почвы и их дальнейшей латеральной миграции. Гранулометрический состав исследуемых почв свидетельствует также о возможном переносе тонкодисперсного материала, содержание которого в пахотном слое имеет тенденцию к увеличению в нижней части склона.

В черноземах оподзоленных объекта исследований «Роганская балка» также выявлено наличие «подвешенного» слоя накопления водорастворимых карбонатов, но наблюдается обратный порядок изменения глубины его залегания (табл. 2). В верхней части склона вскипание от HCl диагностируется во всем гумусовом профиле почвы, а pH водной вытяжки достигает 8,0. Учитывая это, а также достаточно высокое содержание гумуса, можно сделать вывод, что почва верхней части склона имеет больше признаков чернозема типичного, чем оподзоленного. Обращает на себя внимание и значительное увеличение содержания илистого материала в пахотном слое почвы нижней части склона (с 22,6 до 32,1–36,1 %). Похожие закономерности расположения линии вскипания в агрочерноземах обнаружены также Л.М. Бурлаковой с соавторами на склоновых элементах ландшафтов высокого Алтайского Приобья [10]. По их наблюдениям, независимо от экспозиции склона глубина залегания карбонатов в его верхней части была наименьшей (30–40 см), а в средней и нижней увеличивалась до 60–70 см и более.

Таблица 2

Распределение подвижных форм микроэлементов по профилю темно-серых оподзоленных почв в различных частях пологого склона

Часть склона/форма	Горизонт	Глубина, см	Вскипание	$pH_{сол.}$	$C_{орг.}$, %	Физ. глина, %	Содержание подвижных форм микроэлементов, мг/кг			
							Zn	Co	Cu	Mn
Верхняя часть/ выпуклая	A	0–30	–	5,00	1,97	55,9	1,38	1,51	0,86	19
	AB	30–50	–	5,00	0,52	56,6	0,51	0,29	0,62	24
	B	50–72	+	7,15	0,42	55,7	0,26	0,61	0,11	41
	BC	72–100	+	6,90	0,32	53,6	0,32	1,16	0,06	44
Средняя часть/ прямая	A	0–30	–	5,90	1,25	58,4	0,87	3,07	0,13	31
	AB	30–60	+	7,25	0,62	61,5	0,84	0,34	0,42	29
	B	60–90	–	5,40	0,42	46,8	–	0,17	0,85	22
Нижняя часть/ вогнутая	A	0–30	слабое	6,40	1,10	56,6	0,96	0,10	0,10	20
	AB	30–50	+	7,35	0,47	55,5	0,42	0,12	0,09	22
	B	50–85	–	5,80	0,40	55,4	0,35	0,60	0,79	25

Предыдущие исследования показали, что степень дифференциации содержания микроэлементов между генетическими горизонтами уменьшается в ряду от светло-серых до темно-серых оподзоленных почв, что связано со спецификой распределения отдельных глинистых минералов [11]. Для склоновых почв оподзоленного ряда дополнительным фактором дифференциации содержания микроэлементов является формирование щелочно-карбонатного барьера, глубина залегания которого, как показано выше, отличается для различных частей склона.

Одним из наиболее дефицитных микроэлементов для ландшафтов Лесостепи Украины является цинк, среднее содержание которого оценивают в 0,38 мг/кг (с колебаниями от 0,01 мг/кг до 4,3 мг/кг) [12]. Полученные данные свидетельствуют о значительной дифференциации склоновых почв по содержанию Zn. В карбонатном с поверхности черноземе в верхней выпуклой части склона содержание подвижных форм цинка в корнеобитаемом слое составляет 0,17–0,20 мг/кг, что значительно ниже предела низкой обеспеченности почвы для наименее требовательных культур. Следовательно, высока вероятность того, что на этой части поля растения будут ощущать дефицит данного микроэлемента. Для нижней части пологого склона, которая имеет прямо-вогнутую форму, присуще накопление цинка. Содержание подвижных форм Zn в пахотном слое в середине склона увеличивается до 0,74 мг/кг, а в нижней аккумулятивной части – до 2,1 мг/кг. Аналогичным образом изменяются и запасы прочносвязанных форм цинка, содержание которых увеличивается с 0,8–1,1 мг/кг до 6,1–8,4 мг/кг. Таким образом, вследствие перераспределения цинка в склоновых черноземах происходит их дифференциация по условиям цинкового питания растений.

Еще более контрастными оказались условия марганцевого питания растений. В верхней части исследуемого склона содержание подвижных форм этого элемента в пахотном слое составляло лишь 1,6 мг/кг, что втрое меньше верхней границы низкой обеспеченности для культур невысокого выноса. Однако в направлении нисходящего движения водных потоков количество подвижных соединений марганца увеличилось до 45 мг/кг в середине склона, в нижней части – до 78,3 мг/кг. Такую дифференциацию профиля по содержанию подвижного марганца мы связываем, прежде всего, с распределением карбонатов, в горизонтах накопления которых и наблюдаются минимумы подвижности этого элемента. Аналогичную закономерность имеет и пространственное распределение кобальта с той разницей, что общий уровень обеспеченности им почв ландшафта достаточно высокий и явлений недостатка этого микроэлемента, скорее всего, не ожидается. Горизонты концентрации Co связаны преимущественно с накоплением карбонатов, с которыми он образует вторичный минерал сферокобальтит. Накопление меди в профиле почвы наиболее тесно связано с процессами гумусонакопления, поэтому в хорошо гумусированных черноземных почвах, как правило, не наблюдается дефицита этого элемента: среднее фоновое содержание подвижных форм в почвах лесостепной зоны Украины оценивают в 0,38 мг/кг, то есть на уровне, достаточном для питания культур как с невысокой, так и с

повышенной потребностью. Однако дифференциация склоновых почв по содержанию подвижной меди может быть настолько значительной (0,1 мг/кг – в верхней части, 0,5 мг/кг – в середине, 0,78 мг/кг – внизу склона), что заставляет критически отнестись к средним значениям для поля, которые определяют при агрохимической паспортизации земель.

На объекте «Люботинка» наблюдается четкое накопление кобальта в окарбоначеных горизонтах темно-серой оподзоленной почвы как верхней, так и нижней части склона. Содержание подвижной меди, напротив, значительно уменьшается в горизонтах проявления карбонатности. Подвижные цинк и кобальт больше содержались в верхнем слое почвы, а железо – в нижней части профиля. Сравнивая параметры содержания подвижных форм микроэлементов в склоновых темно-серых почвах по шкале обеспеченности И.Г. Важенина, следует отметить, что средняя и нижняя части склона, где наблюдается приближение карбонатов к поверхности, имеют значительно худшие условия питания растений такими физиологически важными элементами, как цинк и медь. Обеспеченность почвы подвижным цинком соответствует низкому, а подвижной медью – среднему уровню даже для культур невысокого выноса.

Общность условий склонового почвообразования обуславливает тесную взаимосвязь микроэлементного и минералогического состава почв. Дифференциация содержания микроэлементов между генетическими горизонтами уменьшается в ряду от светло-серых до темно-серых оподзоленных почв и зависит от распределения отдельных глинистых минералов, на которые, в свою очередь, влияют такие факторы, как влагообеспеченность, экспозиция склона, интенсивность выщелачивания и т. д. Поэтому, учитывая профильное распределение определенных групп глинистых минералов и условия их образования, можно прогнозировать распределение микроэлементов как в профиле почв, так и в ландшафте.

Распределение глинистых минералов на территории объекта «Роганская балка» (табл. 3) подчеркивает своеобразные условия почвообразования на «сложных» по форме склонах. Особенностью такого распределения является то, что количество гидрослюды во всех горизонтах коррелирует с количеством монтмориллонита. Если вниз по профилю уменьшается процентное содержание гидрослюд, то доля монтмориллонита соответственно увеличивается. Равномерное распределение минералов монтмориллонитовой группы наблюдается только в верхней части склона. По-видимому, это свидетельство того, что количество влаги по профилю распределяется более равномерно на плато, чем на склоне. Увеличение вниз по профилю содержания смешаннослойных образований также говорит о том, что увеличивается содержание влаги внутри профиля за счет тяжелого гранулометрического состава, что приводит к трансформационным явлениям гидрослюд с появлением иллитов.

На территории полигона «Люботинский» распределение глинистых минералов представляет собой пример закономерного изменения ксероморфности на склонах южной и юго-восточной экспозиции, а именно: равномерное распределение гидрослюды и монтмориллонита на плато и своеобразное их распределение на склоне. В таком распределении одновременно принимают участие несколько факторов: первостепенно это форма склона и соответственно этому количество

влаги, в микропонижениях может накапливаться небольшое количество влаги, что ускоряет ход почвообразовательных процессов и приводит к трансформационным изменениям гидрослюд и их образованию in situ. Эти процессы могут «затормаживаться» за счет экспозиции склона и количества солнечной энергии. Поэтому можно сделать вывод, что образование глинистого материала происходит на месте и все трансформационные процессы протекают как стадийно, так и одновременно.

Таблица 3

Содержание глинистых минералов в илистой части склоновых почв на объектах исследований

Объект исследований	Часть склона/форма	Глубина, см	Содержание глинистых минералов в иле, %					
			монтмориллонит	смешаннослойные	гидрослюды	каолинит	иллит	кварц
Роганская балка	верхняя часть/ выпуклая	0–34	23,5	11,0	40,0	15,6	9,0	1,5
		34–59	16,0	21,0	35,3	16,0	10,5	1,2
		59–79	15,4	31,0	29,0	15,4	8,2	1,0
		79–105	17,4	29,0	25,9	17,4	9,0	1,3
	средняя часть/ прямая	0–31	27,4	31,5	15,3	13,6	11,4	0,7
		31–50	20,6	12,3	31,0	9,0	26,0	1,2
		50–79	42,4	10,1	17,1	13,3	17,1	следы
		79–105	49,0	8,1	13,0	15,1	15,0	следы
	нижняя часть/ вогнутая	0–26	42,3	19,5	22,0	11,11	4,0	1,2
		26–46	33,5	22,0	29,0	14,3	следы	1,6
		46–80	32,0	22,0	13,6	25,0	6,6	1,3
Полигон «Люботинский»	верхняя часть/ выпуклая	0–30	34,0	15,4	38,4	10,8	следы	1,3
		30–50	48,5	10,7	25,8	15,0	следы	следы
		50–72	27,7	24,3	31,1	12,4	4,0	0,6
		72–100	37,3	33,2	16,0	13,0	следы	0,5
	средняя часть/ прямая	0–30	41,0	12,8	28,3	7,8	9,4	следы
		30–60	20,0	58,3	14,3	6,8	1,0	следы
		60–90	37,0	25,2	14,0	24,0	следы	следы
	нижняя часть/ вогнутая	0–30	25,0	21,1	26,3	15,7	10,5	1,4
		30–50	32,3	16,5	21,0	19,8	8,9	1,6
		50–85	41,4	22,6	16,0	10,6	8,2	1,0

Изучение латеральной составляющей пространственной неоднородности почв на объекте «Балка Яблочная» также выявило тесную взаимосвязь содержания подвижных форм микроэлементов и геоморфологии поверхности. В частности, ареал пониженного (менее 0,35 мг/кг) содержания подвижного цинка приурочен к эродированным почвам нижней части склона и направлению движения водных потоков, переходящих в вершины балки (рис. 1).

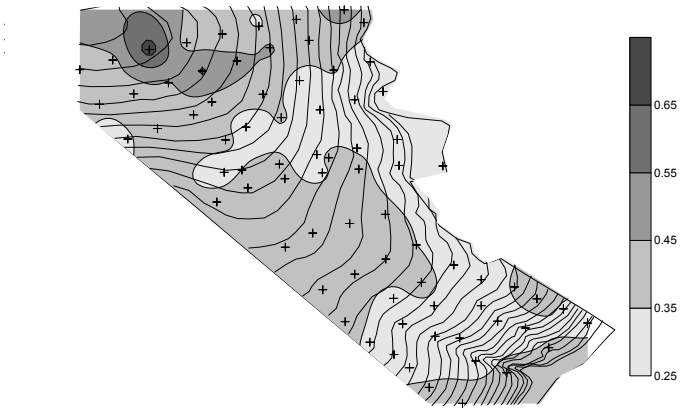


Рис. 1. Пространственное распределение содержания подвижного цинка (мг/кг) в пахотном слое почв объекта «Балка Яблочная» (горизонтали проведены через 1 м, знак «+» соответствует месту расположения пробных площадок)

Содержание в почве подвижного цинка наряду с обеспеченностью почвы азотом оказались наиболее значимыми факторами неоднородности качества зерна, в совокупности определяя около 28 % вариабельности белковости:

$$\text{Белок} = 8{,}62 + 0{,}013\ N + 1{,}37\ Zn;$$
$$R = 0{,}58;\ R^2 = 0{,}28;\ F_{(2,\ 41)} = 8{,}18;\ \beta_N = 0{,}37;\ \beta_{Zn} = 0{,}23.$$

В значительной мере такая взаимосвязь обусловлена также наличием на поле общих очагов накопления соединений азота и цинка в микропонижениях с улучшенной влагообеспеченностью (рис. 2). Возможно, что обеднение/обогащение отдельных участков поля элементами, которые находятся в минимуме и непосредственно связаны с процессами биосинтеза, является одной из причин пестроты качества зерна. Следовательно, дифференцированное внесение удобрений в соответствии с принципами точного земледелия может быть средством повышения не только урожайности, но и качества продукции.

Генерализация пространственной информации до уровня принятых градаций позволяет выделить в пределах исследуемого поля участки с низкой обеспеченностью микроэлементами, где необходимо их первоочередное применение (рис. 3). Известно, что вследствие различной природы возникновения неоднородности почв зачастую наблюдается несовпадение пространственных ареалов обеспеченности элементами питания. Следовательно, в тех случаях, когда причиной пространственной неоднородности почв по микроэлементному составу являются подтягивание карбонатов или эрозионные процессы, можно ожидать совпадения таких ареалов и целесообразно их выделение на местности.

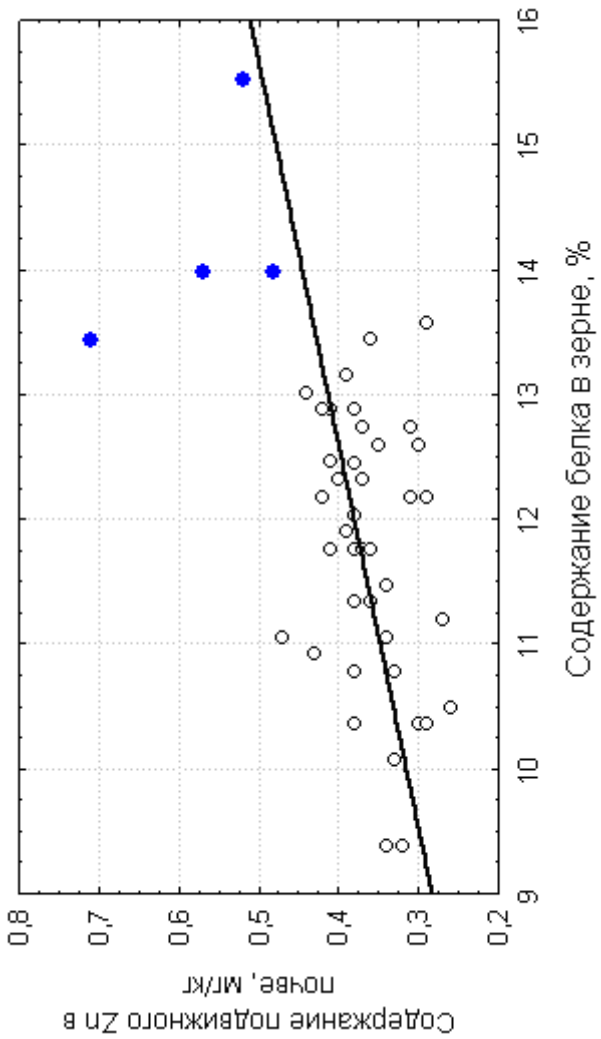


Рис. 2. Влияние ареалов накопления подвижного Zn на содержание белка в зерне озимой пшеницы

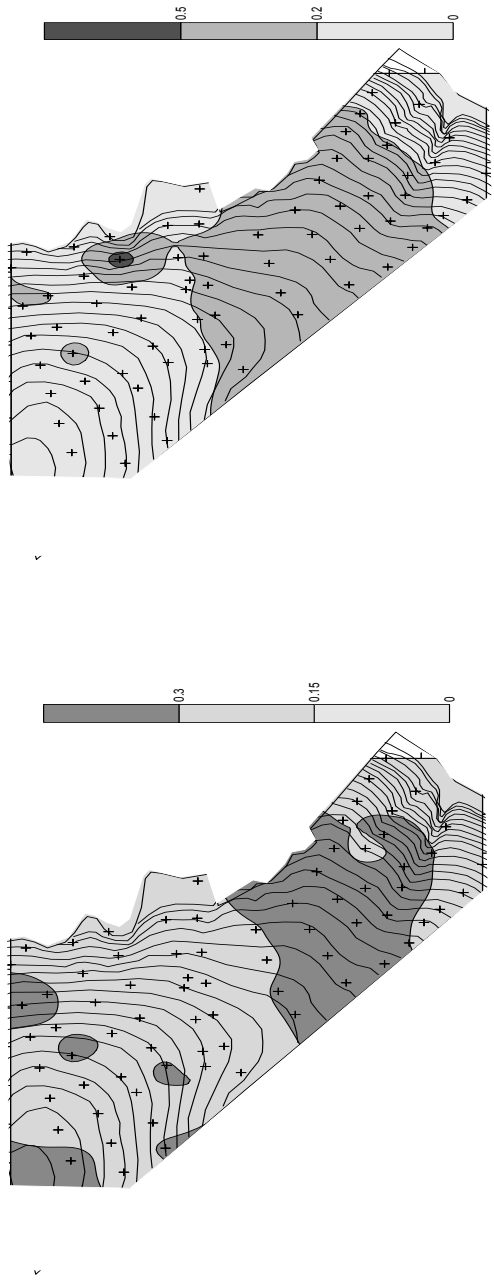


Рис. 3. Пространственное распределение содержания подвижного кобальта (слева)и меди (справа) в пахотном слое почв объекта «Балка Яблочная», мг/кг

ВЫВОДЫ

1. В пахотных почвах оподзоленного ряда Левобережной Лесостепи Украины на пологих склонах в летний период наблюдается наличие «подвешенного» карбонатного слоя, глубина залегания и мощность которого может быть различной. Этот карбонатный слой значительно ухудшает микроэлементное питание растений на склонах, на порядок снижая содержание подвижных форм Zn, Mn, Co, Cu в почве. Факторами, обуславливающими дифференциацию микроэлементного состава склоновых почв, являются также их минералогическая неоднородность и эрозионные процессы.

2. Выделение пространственных ареалов различной обеспеченности склоновых почв микроэлементами, обусловленных подтягиванием карбонатов, эрозионными процессами или накоплением элементов в микропонижениях, требует корректировки методики агрохимического обследования в сторону большего соответствия принципам точного земледелия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Природний механізм захисту схилових ґрунтів від водної ерозії / М.І. Полупан [та інш.]; за ред. М.І. Полупана. – К.: Фенікс, 2011. – 144 с.

2. Чижова, С.Л. Формирование урожая и качества растений на разных агрохимических фонах в склоновых ландшафтах: автореф. дис. канд. биол. наук / С.Л. Чижова. – М.: МГУ. 2002. – 24 с.

3. Chun-Chih Tsuia Relationships between soil properties and slope position in a lowland rain forest of southern Taiwan / Chun-Chih Tsuia, Zueng-Sang Chen, Chang-Fu Hsieh // Geoderma. – 2004. – Vol. 123. – № 1–2. – P. 131–142.

4. Leah, T. Humus and trace elements as an indicators of material eroded from carbonatic chernozems surface / T. Leah // Scientific papers, UASVM Bucharest. – Series A. – Vol. LIII. – 2010. – P 22–28.

5. Алексеенко, В.А. Эколого-геохимические изменения в биосфере: развитие, оценка. – М.: Логос, 2006. – 520 с.

6. Ачасова, А.О. Почвенно-экологические условия формирования пространственной неоднородности тяжелых металлов в почвах Левобережной Лесостепи Украины / А.О. Ачасова. – Харьков, 2003. – С. 71–77.

7. Караваева, Н.А. Постагрогенные миграционно-мицелярные черноземы разновозрастных залежей южной лесостепи ЕТР / Н.А. Караваева, Е.А. Денисенко // Почвоведение. – 2009. – № 10. – С. 1165–1176.

8. Кухарук, Н.С. Микроморфологические особенности органического вещества при агрогенной трансформации почв Лесостепной зоны / Н.С. Кухарук, Ю.Г. Чендев, А.Н. Петин // Научные ведомости Белгородского гос. ун-та. Сер. естественных наук. – 2011. – Т. 16, № 15. – С. 168–179.

9. Гаськевич, В.Г. Морфологічні особливості сірих лісових ґрунтів Горохівської височини / В.Г. Гаськевич, М.І. Пшевлоцький, І.М. Дроган // Агрохімія і ґрунтознавство: міжвідомчий темат. наук. зб. – Вип. № 75. – Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2011.

10. Бурлакова, Л.М. Строение почвенного профиля агрочерноземов в системе расчлененного рельефа высокого Алтайского Приобья / Л.М. Бурлакова, Е.В. Кононцева, О.Н. Шторм // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 8 (58). – С. 14–18.

11. Тертишна, А.В. Профільний розподіл мікроелементів та глинистих мінералів грунтів опідзоленого ряду / А.В. Тертишна // Агрохімія і ґрунтознавство: міжвідомчий тематичний науковий збірник. –2010. – № 74. – С. 112–115.

12. Мірошниченко, М.М. Агрогеохімія мікроелементів в ґрунтах України / М.М. Мірошниченко, А.І. Фатєєв // Агрохімія і ґрунтознавство: спецвипуск до VIII зїзду УТГА. – Кн. 1. – С. 98–107.

SPATIAL HETEROGENEITY OF THE MICROELEMENT COMPOSITION IN THE SLOPE SOILS OF THE LEFT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE

M.M. Miroshnychenko, A.V. Tertyshna, A.V. Panasenko

Summary

Studied the distribution of microelements and clay minerals in the soil profile in the typical forest-steppe transeluvial landscapes of Ukraine. Established that the formation of the carbonate layer, mineralogical heterogeneity and erosion processes lead to significant differences ensuring of physiologically essential microelements in slope soils.

Поступила 28.03.13

УДК 631.472.56:631.417.8:631.416.9

ЛАБИЛЬНОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО КАК ФАКТОР МОБИЛИЗАЦИИ-ИММОБИЛИЗАЦИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ

Е.А. Лыкова[1], Н.Н. Мирошниченко[1], О.С. Панасенко[2], О.П. Сябрук[1]
[1]Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н.Соколовского», г. Харьков, Украина
[2]Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева, г. Харьков, Украина

ВВЕДЕНИЕ

Органическое вещество имеет исключительное значение в концентрировании микроэлементов (МЭ) в земной коре и их накоплении в корнеобитаемом слое почв. Однако отделить геохимическую роль живого вещества от роли органических веществ, образовавшихся после гибели организмов, невозможно, что отмечал еще А.П. Виноградов [1]. Растения и микроорганизмы, продукты их жизнедеятельности, отмершие остатки тканей и микробной массы различной степени минерализации, а также гумусовые вещества являются взаимосвязанным комплексом, определяющим интенсивность круговорота всех биофильных элементов.

К основным механизмам иммобилизации МЭ в почве относится ионообменная адсорбция, образование осадков малорастворимых солей и поглощение биологическими компонентами почвы. По мнению Т.М. Минкиной, из этих процессов более распространена ионообменная адсорбция, поскольку она связана с массообменом между поверхностью почвенных частиц и почвенным раствором [2]. В отличие от физико-химических механизмов иммобилизации МЭ, их концентрирование почвенной микробиотой исследовано недостаточно. Однако отмечается, что, поскольку количество биомассы микроорганизмов в значительной степени подвержено временным колебаниям (многолетним, межсезонным, внутрисезонным и внутрисуточным), от этого зависит и степень вовлечения МЭ в биогенную миграцию [3].

Лабильное органическое вещество (ЛОВ) почвы считается одним из наиболее доступных энергетических и питательных субстратов для микроорганизмов [4], а ежегодное высвобождение элементов из его состава сопоставимо с их выносом урожаем [5]. Вместе с тем при оценке микроэлементного статуса почвы преимущественно учитывают лишь способность гумуса к поглощению тяжелых металлов, а его значением как депо и фактора подвижности основных эссенциальных МЭ зачастую пренебрегают [6].

Задачей исследований было выявление связи содержания подвижных форм микроэлементов в почве с лабильным органическим веществом и его динамикой в сезонном и многолетнем цикле.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на трех объектах, расположенных в пределах Левобережной высокой провинции Лесостепи Украины (юго-западная окраина Среднерусской возвышенности) на зональных типах почв – черноземах типичных и оподзоленных.

Изучение длительных изменений микроэлементного состава почв и их лабильного органического вещества, обусловленных вовлечением в пашню, проводили на черноземах типичных среднесуглинистых на лессовидных суглинках Украинского природного степного заповедника «Михайловская целина». Заповедник расположен на водоразделе между реками Сула и Псел. Изучали почвы на абсолютно целинном участке, залежи (с 1956 г.) и пашни, освоенной с 1933 г.

Многолетние изменения микроэлементного состава черноземов и их лабильного органического вещества, связанные с влиянием длительного применения удобрений, изучали на черноземе типичном тяжелосуглинистом Слобожанского (бывшее Граковское) опытного поля ННЦ ИПА в стационарном полевом опыте, заложенном в 1990 г. Почва пахотного слоя имеет pH солевой 6,2–6,7, содержание гумуса – 5,6–5,8 %, общего азота – 0,30–0,34 %, подвижных P_2O_5 и K_2O (по Чирикову) – 90 мг/кг и 100 мг/кг соответственно. Исследования проводили на таких вариантах опыта: 1) контроль (без удобрений); 2) минеральная система ($N_{45}P_{50}K_{45}$); 3) органическая система (навоз 8 т/га); 4) органо-минеральная система (навоз 8 т/га + $N_{45}P_{50}K_{45}$).

Многолетние изменения микроэлементного состава черноземов и их лабильного органического вещества, связанные с влиянием севооборота, а также их сезонные колебания изучали на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом того же опытного поля с такими параметрами: pH солевой 6,0, содержание гумуса – 4,1 %, подвижных P_2O_5 и K_2O (по Чирикову) – 138 мг/кг и 90 мг/кг соответственно. Исследования проводили на мониторинговых делянках 2×2 м, расположенных на неудобряемом контроле и варианте с минеральной системой ($N_{47–61}P_{44–62}K_{44–65}$) в двух севооборотах: зернопропашном (пар – озимая пшеница – однолетние травы – озимая рожь – кукуруза на силос – ячмень) и зерновом с многолетними травами (люцерна – люцерна – озимая рожь – кукуруза на зерно – кукуруза на силос – ячмень).

Содержание микроэлементов в почве определяли в аммонийно-ацетатном буфере с pH 4,8 по Крупскому и Александровой и 1н HCl по Ринькису. Содержание микроэлементов в составе лабильного органического вещества определяли по предложенной нами методике (вытяжка 1,3 н HCl после обработки почвы 0,2 н NaOH) с атомно-абсорбционным окончанием.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение микроэлементного состава почвы при ее распашке обусловлено резким ускорением минерализационных процессов, что приводит к высвобождению значительного количества биофиль-ных элементов [7]. Однако, как отмечает ряд исследователей [8], гумусовое состояние черноземов Украины относительно стабилизировалось к 60–70 гг. XX ст., при этом с конца XIX ст. почвы лишились

почти 22% запасов органического вещества. Безусловно, это сопровождалось и соответственным усилением биологического круговорота высвобождаемых микроэлементов. Сопоставляя микроэлементный состав пахотного чернозема типичного и его целинного и залежного аналогов, нельзя не отметить ряд существенных отличий (табл. 1). Прежде всего, это значительное (на 25–40 %) снижение содержания в почве подвижных форм железа и марганца, которое может происходить за счет более интенсивного разложения обедненных этими элементами органо-минеральных соединений. Вследствие этого массовая часть Fe в составе лабильного органического вещества пахотной почвы вчетверо выше, чем на целине, и вдвое – чем на залежи (табл. 2). Обогащение лабильного гумуса наблюдается также и для других микроэлементов – Cu, Co, Zn. Однако, по-видимому, вследствие различных механизмов закрепления МЭ в пахотной почве происходит накопление общего запаса меди в лабильном органическом веществе, тогда как общее количество Fe и Mn снижается.

Таблица 1

Содержание микроэлементов в гумусо-аккумулятивном горизонте чернозема типичного при различном использовании

Угодья	Содержание подвижных форм микроэлементов, мг/кг					Содержание прочносвязанных форм микроэлементов, мг/кг				
	Co	Cu	Fe	Mn	Zn	Co	Cu	Fe	Mn	Zn
Целина	0,24	0,26	1,73	55,8	0,07	2,2	2,3	534	258	4,5
Залежь	0,20	0,35	1,05	34,0	0,06	2,5	2,8	566	266	3,8
Пашня	0,17	0,42	1,29	32,5	0,05	1,7	3,2	688	233	4,0

Таблица 2

Содержание микроэлементов в лабильном гумусе чернозема типичного при различном использовании

Угодья	Содержание лабильного гумуса, %	Доля лабильных форм от общего содержания гумуса, %	Содержание МЭ в лабильном органическом веществе, верхнее значение – мг/кг почвы, нижнее – мг/г ЛОВ				
			Co	Cu	Fe	Mn	Zn
Целина	0,85	9,74	0,43 0,05	0,75 0,09	8,20 0,96	2,07 0,24	2,35 0,28
Залежь	0,32	4,41	0,30 0,09	0,94 0,29	5,82 1,82	0,34 0,11	1,25 0,39
Пашня	0,15	2,60	0,37 0,25	1,42 0,95	5,78 3,85	0,55 0,37	3,62 2,41
$НСР_{0,5}$			0,17	0,68	1,79	0,13	1,25

Изменение микроэлементного состава почв лесостепной зоны при длительном применении удобрений прежде всего определяется их кислотно-основными свойствами и гранулометрическим составом. На высокобуферных тяжелосуглинистых и глинистых черноземах значительных изменений содержания прочносвязанных форм МЭ, как правило, не наблюдается, но по мере подкисления почвы происходит увеличение степени их подвижности. Как следует из таблицы 3, систематическое внесение органических удобрений существенно увеличивает содержание подвижной меди, а минеральная система удобрений способствует повышению подвижности железа. Первый эффект мы связываем с привнесением элемента извне и его закреплением в составе гумусовых веществ, которые, как известно, имеют наибольшее сродство к меди [9]. Во втором случае весьма вероятно обратное – разложение гумусовых комплексов и увеличение растворимости соединений железа при подкислении (pH солевой составил 6,0 против 6,2 на контроле).

Определение содержания МЭ в лабильном органическом веществе подтверждает эту гипотезу (табл. 4). На варианте с минеральной системой удобрения гумусовые вещества обогащены медью и железом, но их общее количество меняется мало. Внесение навоза, наоборот, способствует ново-образованию лабильного гумуса, имеющего меньшее относительное содержание Co, Cu, Fe и Zn. Аналогичный эффект характерен и для органо-минеральной системы. Таким образом, длительное применение минеральных и органических удобрений существенным образом изменяет не только количество, но и качество лабильного органического вещества почвы.

Таблица 3

Содержание подвижных форм микроэлементов в пахотном слое чернозема типичного при различных системах удобрения

Вариант опыта	Содержание микроэлементов, мг/кг почвы			
	Co	Cu	Fe	Zn
Контроль	0,43	1,13	1,63	0,15
Минеральная система удобрения	0,45	1,21	2,11	0,28
Органическая система удобрения	0,40	1,39	1,53	0,21
Органо-минеральная система удобрения	0,40	1,22	1,16	0,47
$НСР_{0,5}$	0,06	0,14	0,46	0,14

Таблица 4

Содержание микроэлементов в лабильном гумусе чернозема типичного при различных системах удобрения

Вариант опыта	Содержание лабильного ОВ, мг/кг почвы	Содержание МЭ в лабильном органическом веществе, верхнее значение – мг/кг почвы, нижнее – мг/г ЛОВ			
		Co	Cu	Fe	Zn
Контроль	532	1,63 3,06	0,91 1,70	4,50 8,46	3,49 6,55
Минеральная система удобрения	517	1,89 3,66	1,39 2,69	5,84 12,92	2,69 5,22
Органическая система удобрения	1005	1,49 1,48	1,04 1,03	4,00 3,98	1,41 1,40
Органо-минеральная система удобрения	1352	1,71 1,26	1,80 1,32	4,33 3,19	1,91 1,40
$НСР_{0,5}$	117	0,54 0,76	0,26 0,44	2,65 3,15	0,6 0,91

Обогащение почвы лабильным органическим веществом при органической и органо-минеральной системах удобрения, безусловно, оказывает прямое влияние на интенсивность биологического круговорота. Об этом свидетельствуют и измерения интенсивности дыхания почвы, проведенные как в полевых, так и в стационарных условиях. В частности, потенциальный поток биологически доступного углерода, рассчитанный по методике [10], составил на минеральной системе 11,9 мг/г в час, на органической – 13,7 мг/г в час, на органо-минеральной – 14,2 мг/г в час при 12,3 мг/г в час на контрольном варианте.

Исследования, проведенные на черноземе оподзоленном, показали, что направленность изменений содержания подвижных форм МЭ под влиянием минеральной системы удобрения в определенной мере зависит от севооборота (табл. 5). В традиционном для лесостепной зоны зернопропашном севообороте систематическое внесение минеральных удобрений способствовало некоторому уменьшению содержания подвижного железа и цинка, а в севообороте с многолетними травами и отсутствием пропашных культур наблюдалась обратная тенденция. Однако эти изменения скорее можно отнести к пространственно-временным флуктуациям. Содержание подвижного Mn, напротив, существенно (вдвое) увеличивалось под воздействием минеральных удобрений независимо от севооборота.

Таблица 5

Содержание подвижных форм микроэлементов в пахотном слое чернозема оподзоленного и его изменение после компостирования в течении 2 недель

Севооборот	Вариант опыта	Содержание подвижных форм МЭ в почве, верхнее значение – до компостирования проб, нижнее – изменение после компостирования, мг/кг				
		Co	Cu	Fe	Mn	Zn
Зернопропашной с черным паром	Контроль (без удобрений)	0,09 +0,04	0,22 +0,11	1,57 +0,66	15,7 –3,9	0,19 –0,06
	Минеральная система удобрения	0,11 +0,02	0,22 +0,11	1,40 +0,66	30,3 –13,8	0,16 –0,02
Зерновой с многолетними травами	Контроль (без удобрений)	0,18 +0,03	0,30 +0,13	3,60 +0,72	14,8 –2,2	0,28 –0,07
	Минеральная система удобрения	0,14 –0,03	0,22 +0,11	4,29 +0,46	31,2 –17,8	0,46 –0,18
$НСР_{0,5}$		0,09 –	0,13 –	0,51 –	4,17 –	0,10 –

Известно, что содержание МЭ в почвенном растворе определяется равновесием постоянно протекающих процессов обмена между твердой и жидкой фазами почвы [11]. Полученные нами результаты дают основание предположить, что роль процессов биологической мобилизации и иммобилизации МЭ является не менее значимой. В таблице 5 приведены параметры сдвига содержания подвижных форм МЭ после компостирования проб при благоприятных для микробиологических процессов условиях температуры (27°С) и влажности (60% от НВ) в течении двух недель. Из этих данных следует, что изменения, вызванные микробиологической деятельностью, более значимы, чем связанные с системой удобрения и севооборотом. Не менее важен и тот факт, что изменения содержания подвижных форм при компостировании имеют одинаковую направленность для каждого элемента. В данном случае Mn и Zn подвержены иммобилизации, а Fe, Cu, Co – активно высвобождаются из органического вещества.

Примечательно, что способность почвы к увеличению при компостировании содержания подвижного железа и уменьшению подвижного марганца сохранялась в течении всего вегетационного периода. Измерения, выполненные таким образом на пробах почвы, отобранных на мониторинговых площадках с периодичностью каждые 2 месяца (22 мая, 27 июля и 14 сентября), дали достаточно близкие результаты: +0,88 мг/кг, +0,52 мг/кг и +0,76 мг/кг для Fe, –8,15мг/кг, –10,2 мг/кг и –7,2 мг/кг для Mn соответственно. Это дает основание для определения мобилизационно-иммобилизационной способности почвы относительно МЭ по аналогии с хорошо известной нитрификационной способностью по С.П. Кравкову. Однако нельзя исключать и влияние на содержание подвижных форм МЭ таких факторов, как сезонные изменения pH, пожнивные остатки предшественника и корневые выделения произрастающих растений, динамика процессов новообразования/минерализации лабильного гумуса и связанная с этим микробиологическая активность. В частности, динамика содержания в почве лабильного гумуса имеет выраженный спад к середине лета, несмотря на вариабельность этого показателя, обусловленную влиянием культур и системой удобрения (рис. 1). Значительно снизился в этот период и потенциальный поток биологически доступного углерода: с 8,1–11,4 мг/г в час до 5,2–6,1 мг/г в час на неудобренной почве и с 7,5–10,2 мг/г в час до 5,5–6,5 мг/г в час на варианте с минеральной системой удобрения.

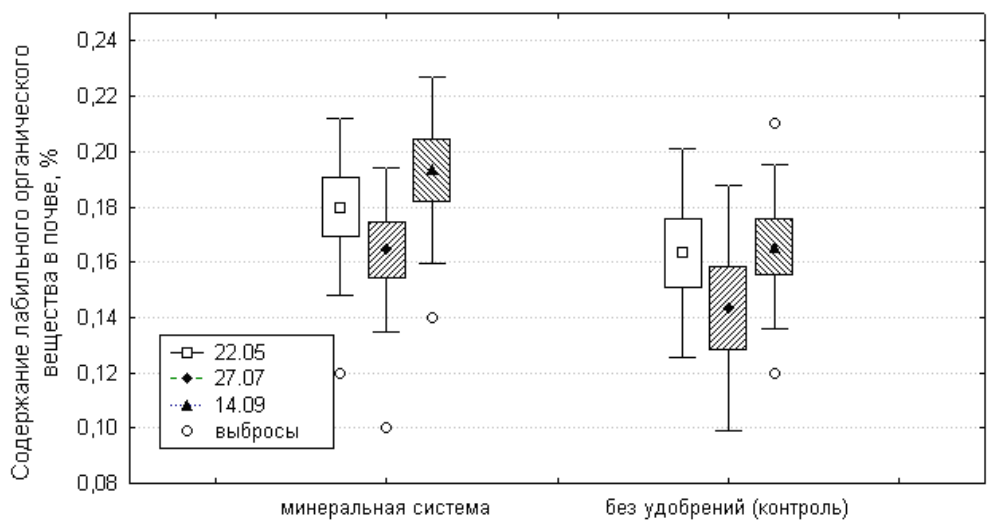


Рис. 1. Динамика содержания лабильного органического вещества в длительном удобряемом и неудобряемом черноземе оподзоленном

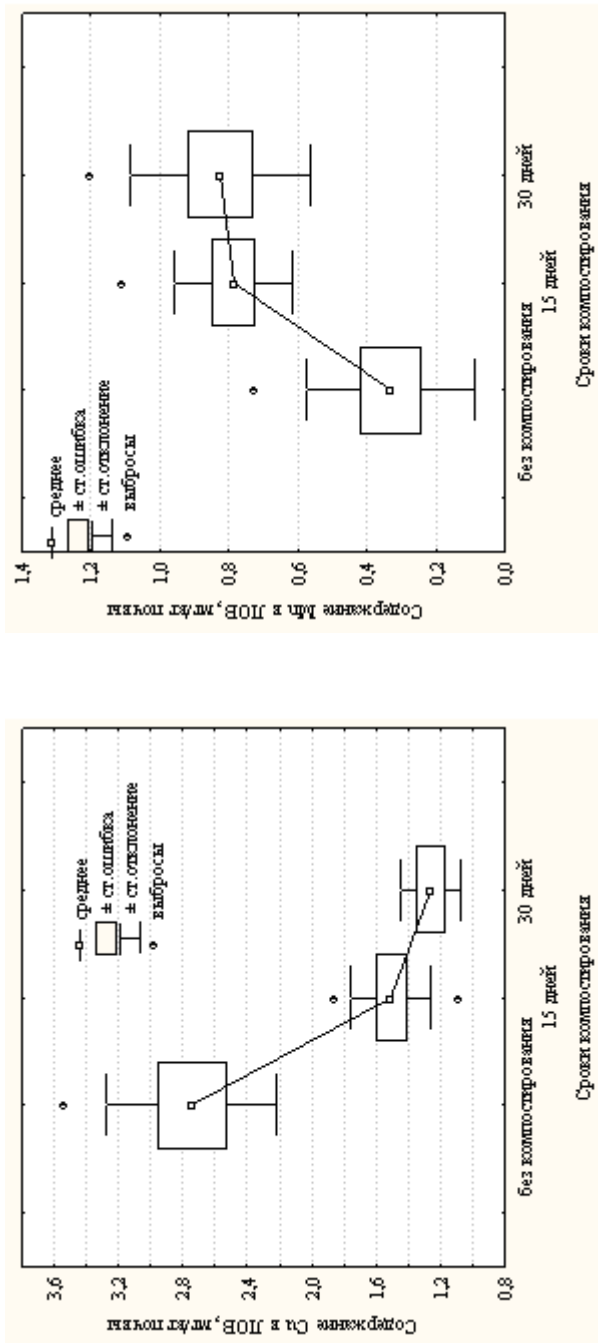


Рис. 2. Изменение содержания меди (слева) и марганца (справа) в лабильном органическом веществе чернозема оподзоленного при его компостировании при 27 °С и 60 % от НВ

Для выяснения вопроса об оптимальном сроке компостирования почвы в целях определения мобилизационно-иммобилизационной способности были проведены соответствующие эксперименты на черноземе оподзоленном. Содержание МЭ в почве и лабильном органическом веществе определяли на 15-е и 30-е сутки после закладки компостируемых проб в термостат. Измерения показали, что наибольший сдвиг концентрации МЭ в лабильном органическом веществе происходит в течении первых 15 суток (рис. 2). Содержание меди и цинка имело тенденцию к снижению, а марганца и кобальта – к увеличению [12]. Следовательно, можно предположить, что в данном случае Cu, Zn-органические комплексы разлагаются легче, чем Mn,Co-органические, а продукты их разложения менее активно вовлекаются в микробный метаболизм.

ВЫВОДЫ

1. Лабильное органическое вещество играет роль ближайшего резерва микроэлементного питания растений, во многом определяя содержание и динамику подвижных форм микроэлементов в почве.
2. Вовлечение чернозема в обработку приводит к значительному снижению содержания лабильного органического вещества, в составе которого резко увеличивается массовая часть микроэлементов.
3. Длительное применение минеральных удобрений способствует обогащению лабильного органического вещества почвы медью и железом, но их общее количество меняется мало. Внесение навоза, наоборот, способствует новообразованию лабильного гумуса, имеющего меньшее относительное содержание Co, Cu, Fe и Zn.
4. Изменения микроэлементного состава почвы и ее лабильного органического вещества, вызванные микробиологической деятельностью, не менее значимы, чем связанные с системой удобрения и севооборотом, и могут проявляться в течении всего вегетационного периода. Способность почвы к мобилизации/иммобилизации микроэлементов из органического вещества можно оценить при помощи соответствующего показателя, определяемого аналогично нитрификационной способности по С.П. Кравкову.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: АН СССР, 1957. – 238 с.
2. Минкина, Т.М. Формы соединений тяжелых металлов в почвах степной зоны / Т.М. Минкина, Г.В. Мотузова, О.Г. Назаренко // Почвоведение. – 2008. – № 7. – С. 810–818.
3. Летунова, С.В. Накопление меди, свинца и молибдена биомассой почвенных микроорганизмов в условиях биогеохимической провинции Южного Урала / С.В. Летунова, В.В. Ковальский, И.Ф. Грибовская // Агрохимия. − 1976. − № 3. − С. 92−96.
4. Тейт, Р. Органическое вещество почвы / Р. Тейт. − М.: Мир, 1991. – 400 с.

5. Борисов, Б.А. Географические закономерности распределения и обновления легкоразлагаемого органического вещества целинных и пахотных почв зонального ряда европейской части России / Б.А. Борисов, Н.Ф. Ганжара // Почвоведение. – 2008. – № 9. – С. 1071–1078.

6. Фокин, А.Д. Микробиологическая деструкция органического вещества как фактор мобилизации труднорастворимых минеральных соединений / А.Д. Фокин, А.И. Карпухин, П.А. Раджабова // Известия ТСХА. – 1996. – Вып. 3. – С. 97–104.

7. Reicosky, D.C. Soil quality, tillage intensity and CO_2 emission from soil / D.C. Reicosky // Scientist, USDA-Agricultural Research Service, North Central Soil Conservation Research Laboratory, 803 Iowa Avenue, Morris, MN 56267 USA. – 2009.

8. Environmental Protection in the Ukraine Agroecosystems in Technogenesis Conditions / M.V. Zubets [et al.] // Environmental Protection in Agroecosystems: proc. of Meeting of the Union of European Agrarian Academies, Yalta, 16–17 May, 2007. – Kyiv: Agrarna nauka, 2007. – Pp. 9–58.

9. Ладонин, Д.В. Взаимодействия гуминовых кислот с тяжелыми металлами / Д.В. Ладонин // Почвоведение. − 1997. − № 7. − С. 806−811.

10. Исследование динамики из гумусного горизонта почв горных лугов и лесов Моравско-Силезских Бескид / В. Вранов [и др.] // Почвоведение. – № 1. – 2004. – С. 71–74.

11. Химические основы буферности почв / Т.А. Соколова [и др.]. – М.: МГУ, 1991. – 108 с.

12. Ликова, О.А. Динаміка вмісту мікроелементів у доступній (лабільній) органічній речовині за сприятливих умов зволоження та температури / О.А. Ликова // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2011. – № 76. – С. 49–53.

LABILE ORGANIC MATTER AS A FACTOR MOBILIZATION-IMMOBILIZATION OF TRACE ELEMENTS IN SOILS

E.A. Lykova, M.M. Miroshnychenko, O.S. Panasenko, O.P. Syabruk

Summary

The article presents data on changes in trace element composition in chernozems soils of Left-bank Forest-steppe zone of Ukraine and labile organic matter under the influence of the soil plowing, long-term using of fertilizers and crop rotations. Determined that treatment of chernozem soil bring to a significant reduction of the labile organic matter content, in composition sharply occurs increases mass fraction trace element. Prolonged use of fertilizers contributes to the enrichment of labile soil organic matter with copper and iron, while when contributing manure, on the contrary, contained relatively less trace elements. Ability of the soil to the mobilization/immobilization of trace elements from organic matter by microorganisms could assessed by the indicator, which are, defined similarly nitrification capacity.

Поступила 10.04.13

УДК 633.416:631.81.095.338

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК БОРНЫМИ МИКРОУДОБРЕНИЯМИ ПОСЕВОВ КОРМОВОЙ СВЕКЛЫ

Д.В. Лужинский, К.В. Белякова
Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию, г. Жодино, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Удобрения являются одним из самых мощных факторов повышения урожайности кормовой свеклы. Только при условии применения правильной системы удобрения возможна более полная реализация биологического потенциала современных сортов и гибридов как по урожайности, так и по технологическим качествам корнеплодов.

Основная роль в формировании урожая и его качества принадлежит азотному питанию. Система удобрения должна обеспечивать умеренное питание растений азотом на ранних фазах роста с последующим нарастанием его поступления до окончания периода интенсивного формирования листьев и корнеплода [1].

Получение максимального урожая невозможно и без комплексного применения макро- и микроудобрений. Согласно исследованиям И.Р. Вильдфлуша [2], внесение микроэлементов на почвах с их низким содержанием способствует повышению на 15 % и более урожайности сельскохозяйственных культур.

Для микроудобрений при выращивании свеклы большое значение имеет достаточное обеспечение бором и марганцем [3, 4]. Под их влиянием растения становятся более устойчивыми к неблагоприятным условиям атмосферной и почвенной засухи, пониженным и повышенным температурам, поражению вредителями и болезнями [5, 1]. Бор способствует повышению содержания фосфора в молодых листьях и его снижению в старых, что положительно влияет на фотосинтез, углеводный, белковый и нуклеиновый обмен [6, 7]. В свою очередь его недостаток может вызвать у свеклы отмирание точки роста и молодых частей растений (гниль сердечка), а также загнивание корня (сухая гниль) [4].

Наибольшая потребность свеклы в боре наблюдается во время интенсивного образования листьев. По данным А.И. Фатеева [8], внекорневая подкормка микроэлементами положительно влияет на продуктивность растений даже при нормальной обеспеченности ими почвы. В то же время большинство пахотных земель Беларуси по обеспеченности подвижными формами бора относятся к I и II группе [2], поэтому внесение борных удобрений для них является обязательным мероприятием, в особенности, при возделывании свеклы.

Применение микроудобрений предусматривает основное внесение в почву перед севом, обработку семян и опрыскивание в период вегетации, однако внесение микроудобрений перед севом требует завышенных доз, что экономически не оправдано. В то же время обработка семян бором улучшает питание растений только в начальные фазы развития. Наиболее рациональным способом внесения микроудобрений являются некорневые подкормки, при этом микроэлемент

вносится в период, когда растение испытывает наибольшую потребность в нем [9]. В технологическом отношении внесение борных удобрений целесообразно совмещать с подкормкой азотом.

Исходя из вышеизложенного, задача наших исследований – установить оптимальные формы борных удобрений и сроки проведения некорневых подкормок на посевах кормовой свеклы.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Закладка опытов проводилась на полях НПЦ НАН Беларуси по земледелию в 2009–2012 гг. на окультуренной дерново-подзолистой связносупесчаной почве. Содержание общего гумуса (по Тюрину) – 1,9–2,2; подвижного фосфора (по Кирсанову) – 175–250 и общего калия (по Масловой) – 242–450 мг на 1 кг абсолютно сухой почвы; pH (KCl) 4,5–5,5.

Кормовую свеклу возделывали по общепринятой агротехнике. Предшественник – озимое тритикале; повторность – 4-кратная; учетная площадь делянки – 18 м^2. Посев проводился специализированной сеялкой точного высева HEGE–95 при достижении физической спелости почвы: в 2009 г. – 29 апреля, в 2010 г. – 30 апреля, в 2011 г. – 5 мая, в 2012 г. – 3 мая.

Фосфорно-калийные удобрения (аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) вносили с осени под основную обработку почвы. Из азотных удобрений применялся карбамид – весной перед посевом и в подкормку. Микроудобрения вносились согласно схеме опыта. Химическая прополка проводилась в три приема баковой смесью, в состав которой входили Бетанал эксперт ОФ, КЭ (1,5 л/га) и Голтикс, 70 % КС (1,0 л/га), против свекловичной блошки применяли Фастак, КЭ (0,1 л/га), в борьбе с церкоспорозом использовали Рекс дуо, КС (0,6 л/га).

Расчет экономической эффективности проводили на прибавку урожайности по методике Л.В. Сорочинского [10] в ценах на 01.03.2013 г. Стоимость прибавки урожайности кормовой свеклы исчислялась пересчетом на стоимость кормовой единицы овса.

Погодные условия весенне-летнего периода 2010–2012 гг. в целом можно охарактеризовать как благоприятные для развития кормовой свеклы. В 2009 и 2010 гг. в течение вегетационного периода наблюдалось выпадение избыточного количества осадков, а в 2011 и 2012 гг. их выпало на 56 и 25 мм меньше нормы. Температура в 2009 г. в среднем за период с апреля по октябрь была близкой к норме, а в аналогичный период 2010–2012 гг. в среднем превышала среднемноголетнее значение на 1–2 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результатами наших исследований установлено, что совместное применение азотных удобрений и микроудобрений при проведении некорневых подкормок на посевах кормовой свеклы обеспечивает получение достоверной прибавки урожайности (табл. 1).

Наибольшая эффективность некорневых подкормок проявилась при их проведении в фазу смыкания рядков (1-я декада июля). В эту фазу интенсивно развиваются самые крупные и долговечные листья, которые в последующем оказывают влияние на формирование массы корнеплода и содержание сухого вещества в нем. Применение азота совместно с Эколистом моно бор в эту фазу обеспечило получение максимальной прибавки урожайности корнеплодов в 102,5 ц/га (15 %). В то же время внесение этой комбинации через 10 дней после смыкания рядов было менее эффективным, прибавка в этом случае составила 78,3 ц/га (10 %).

Таблица 1

Эффективность некорневой подкормки посевов кормовой свеклы борными удобрениями (среднее за 2009–2012 гг.)

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка урожайности, ц/га	Содержание сухого вещества, %
N_{90} P_{90} K_{240} (ФОН)	709,1	–	12,5
ФОН + N_{30} (смыкание рядков)	759,1	50,0	12,4
ФОН + N_{30} + борная кислота, 6 кг/га (смыкание рядков)	787,5	78,4	13,2
ФОН + N_{30} + борная кислота, 6 кг/га (через 10 дней после смыкания рядков)	777,6	68,5	12,8
ФОН + N_{30} + Эколист моно бор, 2 л/га (смыкание рядков)	811,6	102,5	13,3
ФОН + N_{30} + Эколист мон обор, 2л/га (через 10 дней после смыкания рядков)	787,4	78,3	13,0
ФОН + N_{30}+ Фитовитал, 0,6 л/га (смыкание рядков)	783,8	74,7	13,4
ФОН + N_{30}+ Фитовитал, 0,6 л/га (через 10 дней после смыкания рядков)	760,5	51,4	13,1
$НСР_{0,5}$	48–60	–	–

Также следует отметить достаточно высокую эффективность некорневых подкормок борной кислотой и препаратом Фитовитал. Внесение этих микроудобрений в сочетании с азотом в фазу смыкания ботвы в ряду обеспечило получение прибавки урожайности в 78,4 и 74,7 ц/га (10 и 11 %) соответственно. При применении борной кислоты и Фитовитала совместно с азотом через 10 дней после смыкания листьев в междурядье количество дополнительного урожая корнеплодов с 1 га снизилось на 10–23 ц и составило 777,6 и 760,5 ц/га соответственно.

Микроудобрения оказали заметное влияние и на качество корнеплодов кормовой свеклы. Так, под их влиянием содержание сухого вещества в корнеплодах увеличивалось на 0,3–0,9 %.

Выявлено, что наибольшая урожайность сухого вещества была достигнута при применении подкормок в фазу смыкания ботвы в ряду. Прибавка урожайности сухого вещества при проведении обработки в этот срок составляла 15,2–19,5 ц/га. Подкормки, проведенные через 10 дней после смыкания междурядий, сработали с меньшей эффективностью, в этом случае было получено от 11,1 до 14,0 ц дополнительного урожая сухого вещества с 1 га (рис.).

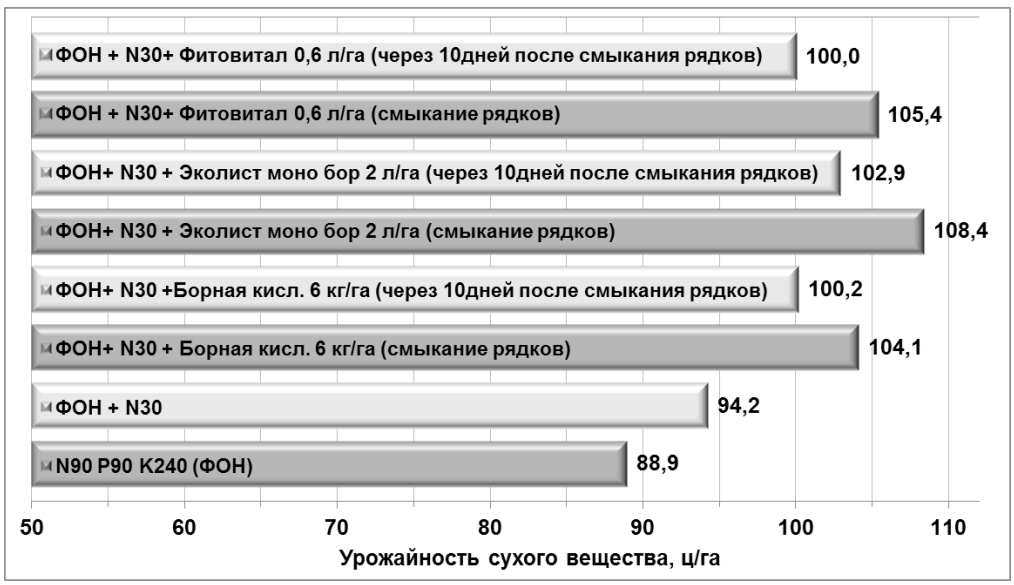


Рис. Влияние некорневой подкормки посевов кормовой свеклы на урожайность сухого вещества (среднее за 2009–2012 гг.)

Таким образом, согласно результатам проведенных исследований установлено, что лучшей формой борного удобрения для совместной подкормки с азотом являлось микроудобрение Эколист моно бор. В этом случае была получена максимальная урожайность сухого вещества в опыте, которая составила 108,4 ц/га.

Для более полной оценки эффективности некорневых подкормок кормовой свеклы был проведен экономический анализ полученных результатов. Прибавка урожайности пересчитывалась через стоимость кормовых единиц овса. Выявлено, что применение микроудобрений в фазу смыкания рядов является наиболее доходной операцией. Условно чистый доход при проведении подкормки в эту фазу борной кислотой, Эколистом моно бор и Фитовиталом в смеси с азотом составил 937,6–1273,6 тыс. руб./га. Однако при обработке посевов через 10 дней после смыкания рядов доходность ее снижалась на 60–94 % (табл. 2).

Максимальный условно чистый доход в опыте (1273,6 тыс. руб.) получен при подкормке свеклы Эколистом моно бор совместно с азотом, проведенной в фазу смыкания междурядий. Рентабельность обработки в этом случае составила 192 %. В то же время при внесении азота в чистом виде условно чистый доход (238 тыс. руб./га) также, как и рентабельность (81 %), был наименьшим среди изученных вариантов.

Следует отметить, что обработка Фитовиталом, проведенная в фазу смыкания ботвы в ряду, была наиболее рентабельной – 215 %, что связано с относительно низкой стоимостью гектарной нормы препарата. Затраты на получение дополнительной продукции в этом случае были наименьшими по сравнению с затратами от использования других микроудобрений.

Таблица 2

Экономическая эффективность некорневой подкормки посевов кормовой свеклы

Вариант	Прибавка урожайности ц к.ед./га	Стоимость прибавки, тыс. руб./га	Затраты на прибавку, тыс. руб./га	Условно чистый доход, тыс. руб./га	Рентабельность, %
ФОН + N_{30} (смыкание рядков)	5,2	531,1	293,1	238,0	81
ФОН + N_{30} + борная кислота, 6 кг/га (смыкание рядков)	14,9	1512,1	574,5	937,6	163
ФОН + N_{30} + борная кислота, 6 кг/га (через 10 дней после смыкания рядков)	11,1	1122,4	547,8	574,7	105
ФОН + N_{30} + Эколист моно бор, 2 л/га (смыкание рядков)	19,1	1936,0	662,4	1273,6	192
ФОН + N_{30} + Эколист моно бор, 2 л/га (через 10 дней после смыкания рядков)	13,8	1394,4	597,0	797,4	134
ФОН + N_{30} + Фитовитал, 0,6 л/га (смыкание рядков)	16,2	1635,7	519,5	1116,2	215
ФОН + N_{30} + Фитовитал, 0,6 л/га (через 10 дней после смыкания рядков)	10,9	1101,4	524,4	577,0	110

ВЫВОДЫ

1. Лучшим вариантом применения борных удобрений, обеспечивающим получение максимальной урожайности кормовой свеклы (783,8–811,6 ц/га), является некорневая подкормка посевов, проведенная совместно с азотом в фазу смыкания рядков. Обработка растений через 10 дней после смыкания междурядий менее эффективна и обеспечивает получение урожайности корнеплодов на уровне 760,5–787,4 ц/га.

2. Максимальная прибавка урожайности обеспечивается совместным применением Эколиста моно бор (2 л/га) и азота (30 кг/га д.в.) и составляет в фазу смыкания рядов – 102,5 ц/га, а при обработке, проводимой через 10 дней после смыкания, – 78,3 ц/га.

3. Наиболее экономически эффективна некорневая подкормка борными микроудобрениями в смеси с азотом в фазу смыкания междурядий. В этом случае обеспечивается получение максимального уровня рентабельности – 163–215 %. При проведении этой обработки через 10 дней после смыкания ботвы в ряду рентабельность ее снижается на 58–80 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свекловодство: проблемы интенсификации и ресурсосбережения / А.В. Зубенко [и др.]; под ред А.В. Зубенко. – Киев: Альфа-стевия ЛТД, 2005. – С. 175.

2. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста сельскохозяйственных культур / И.Р. Вильдфлуш [и др.]; под общ. ред. Т.Д. Царевой. – Минск: Беларус. навука, 2011. – С. 3.

3. Сахарная свекла: выращивание, уборка и хранение / Д. Шпаар [и др.]; под ред. Д. Шпаара. – Минск, 2004. – С. 167.

4. Красюк, Н.А. Современные технологии производства и использования сахарной свеклы / Н.А. Красюк. – Минск: Амалфея, 2008. – С. 172.

5. Гаврин, Д.С. Особенности современных микроудобрений / Д.С. Гаврин [и др.] // Сахарная свекла. – № 4. – С. 13.

6. Цыганов, А.Р. Микроэлементы и микроудобрения: учеб. пособие для с.-х. вузов / А.Р. Цынагов, Т.Ф. Персикова, С.Ф. Реуцкая. – Минск, 1980. – 430 с.

7. Бондарь, В.И. Продукционный процесс растений кормовой свеклы на супесчаных почвах в зависимости от микроудобрений при неустойчивом увлажнении / В.И. Бондарь // Известия ТСХА. – 2010. – Вып. 4. – С. 44.

8. Фатеев, А.И. Основы применения микроудобрений / А.И. Фатеев, М.А. Захарова. – Харьков, 2005. – 134 с.

9. Рак, М.В. Некорневые подкормки микроудобрениями в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур / М.В. Рак, М.Ф. Дембицкий, Г.М. Сафроновская // Земляробства і ахова раслін. – 2004. – № 2. – С. 25.

10. Сорочинский, Л.В. Экономическое обоснование применения средств защиты растений: рекомендации / БелНИИЗР; сост.: Л.В. Сорочинский, А.П. Будревич, Т.И. Валькевич. – Минск: Диксэнд, 1999. – 12 с.

EFFICIENCY OF FOLIAGE APPLICATION OF BORIC MICROFERTILIZERS ON FODDER BEET CROPS

D.V. Luzhynski, K.V. Belyakova

Summary

The research results of the study on the efficiency of foliage application of boric microfertilizers in mixture with nitrogen on fodder beet crops variety Lada are presented in the article. It has been established that the best term of plant fertilizing is the stage of "joining rows". It provides obtaining both of maximum yield (783.8–811.6 c/ha) and profitability (163–215 %). Foliage application of Ekolist mono bor (2 l/ha) with nitrogen (30 kg/ha of active substance) at the above mentioned stage provides the highest net profit of 1274 thousand roubles per ha).

Поступила 22.04.13

УДК 633.413:547.458.5

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ НА СОДЕРЖАНИЕ ВРЕДНЫХ НЕСАХАРОВ У ГИБРИДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Н.А. Лукьянюк[1], И.К. Абрамович[2]

[1]Опытная научная станция по сахарной свекле, г. Несвиж, Беларусь

[2]ОАО «Городейский сахарный комбинат», г. Городея, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Технологические качества корнеплодов сахарной свеклы – это комплекс ее биологических, химических и физических свойств, определяющих размеры и характер потерь сахара в производстве, выход и качество кристаллического сахара в процентах к переработанной свекле [1, 3]. И если ее биологические особенности (форма корнеплода, дуплистость, глубина бороздки) в основном определены генетически, а физические свойства (подвяленность, подмораживаемость, травмированность) в основном зависят от организационно-хозяйственных мероприятий, то химические показатели в сильной степени варьируют от агротехники возделывания культуры и почвенно-климатических особенностей региона [2, 4, 5]. Основным качественным показателем урожая является сахаристость – содержание сахара в процентах к массе свеклы. Однако технологическое достоинство сахарной свеклы как сырья обуславливается и комплексом других показателей [6, 7, 8].

Наряду с сахаристостью, основополагающим показателем оценки свеклы как сырья является содержание «вредных» несахаров – калия, натрия и альфа-аминного азота, по которым с помощью формул рассчитывается выход сахара в процессе переработки, коэффициент щелочности, МБ-фактор и ряд

других показателей [2, 9, 10, 11, 12]. В результате многолетних исследований в Беларуси установлено оптимальное содержание в корнеплодах калия 45,0–50,0, натрия – 3,0–4,5 и альфа-аминного азота – 21,0–25,0 ммоль/кг свеклы [12, 13].

Выход сахара в процессе переработки является интегрированным показателем, сочетающим в себе все вышеперечисленные. Изменение одного из них ведет к снижению или увеличению извлечения сахара из корнеплода [6].

На основе показателя выхода сахара устанавливают коэффициент завода, который означает отношение расчетного выхода сахара к исходной сахаристости, выраженное в процентах. Заводской коэффициент должен быть не ниже 85 %. Для белорусской свеклы, по опытным данным, коэффициент завода равняется 86–88 % [13, 14].

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевой опыт был заложен в 2008 г. на опытном поле ОАО «Городейский сахарный комбинат», в 2010–2011 гг. – РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле» на дерново-подзолистой супесчаной почве. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы представлены в таблице 1.

Таблица 1

Агрохимические показатели пахотного слоя почвы

Год исследований	pH_{KCl}	Гумус, %	Содержание, мг/кг				
			P_2O_5	K_2O	B	Zn	Cu
2008	6,24	2,26	202	264	1,85	2,02	1,68
2010	6,32	2,35	309	316	1,39	3,50	2,30
2011	6,00	2,20	331	322	1,16	3,20	2,00

Предшественник – озимые зерновые, звено севооборота – озимые зерновые – сахарная свекла – ячмень. Агротехника – общепринятая, согласно отраслевому регламенту. Летом после уборки предшественника – внесение удобрений $P_{90}K_{150}$. При отрастании многолетних сорняков – Раундап, 36 % в.р. (6 л/га). Сентябрь – вспашка. Весной – закрытие влаги (КПШ–6), внесение азотных удобрений N_{120} (КАС), предпосевная культивация (АКШ–6,0). Норма высева – 1,3 п.е./га. В исследованиях использовали гибриды: Ярыся – нормально-сахаристого направления; Ахат – нормально-сахаристого направления, устойчив к ризомании; Мандарин – сахаристого направления, устойчив к церкоспорозу и ризомании; Золея – нормально-сахаристого направления, устойчив к ризомании, ризоктонии и церкоспорозу. Повторность опыта – шестикратная, размещение делянок – рендомизированное. Площадь учетной делянки – 13,5 м^2. В период вегетации применяли фунгицид Рекс ДУО, 49,7 % к.с. с нормой расхода 0,5 л/га (при появлении первых признаков болезни). Норма расхода жидкости – 400 л/га. Микроэлементы: Полибор + Поликом «Свекла», 2,0 + 2,0 л/га (в фазу смыкания междурядий) и

2,0 + 2,5 л/га (через 30 суток после первой обработки). Подкормка азотными удобрениями (аммиачная селитра) проводилась в фазу 3–4 пар настоящих листьев свеклы.

Математическая обработка данных проведена по методике Б.А. Доспехова на ПЭВМ [2].

Погодные условия в годы исследований различались. Так, 2008 г. был умеренно теплым и влажным, благоприятным для роста и развития свеклы (ГТК = 1,37). 2010 г. характеризовался жаркой погодой мая-августа с достаточно высоким выпадением осадков (ГТК = 1,55), которые привели к снижению активности фотосинтеза, полеганию листового аппарата и сильному развитию болезней (церкоспороз). 2011 г. был теплым и умеренно влажным (ГТК = 1,38), в начале вегетации погода была жаркой и сухой, однако кратковременные ливневые дожди привели к переуплотнению почвы, в середине вегетации – теплой и влажной (оптимальной для роста ботвы и корнеплода), в конце вегетации – теплой и сухой (оптимальной для сахаронакопления).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведен анализ влияния различных элементов технологии (гибрид, азотное питание, микроэлементы и фунгицид) на продуктивность сахарной свеклы.

За три года исследований различий в содержании калия в изучаемых вариантах с микроэлементами и фунгицидами не установлено (табл. 2, 4). Не выявлено также влияния азотной подкормки на содержание калия (50,2 и 51,0 ммоль/кг свеклы), и лишь в контрольном варианте в 2011 г. отмечено его повышение (табл. 2, 4).

Отмечены различия в накоплении калия в разрезе гибридов. Так, у гибрида Ярыся отмечено наибольшее накопление калия корнеплодами (53,4 и 53,7 ммоль/кг), наиболее низкое его содержание было у гибрида Мандарин (47,4 и 47,0 ммоль/кг) (табл. 2).

В 2008 г. у гибридов Ярыся и Ахат в вариантах с азотной подкормкой установлено достоверное повышение содержания калия, а в 2010 г. у гибрида Ярыся его снижение (табл. 3).

Достаточно разноплановым было накопление натрия корнеплодами в зависимости от технологических приемов. Так, применение азотной подкормки в среднем за три года снижало содержание натрия в корнеплодах с 2,8 до 2,6 ммоль/кг, причем наиболее сильно это было отмечено у гибрида Мандарин – 3,1 и 2,7 ммоль/кг (табл. 2). Установлены различия в накоплении натрия в зависимости от азотной подкормки и по годам. Так, во все три года исследований достоверное снижение натрия на фоне с азотной подкормкой отмечено у гибрида Мандарин, в 2010 г. – у гибрида Ярыся (табл. 4).

Применение микроэлементов повышало содержание натрия в корнеплодах, а фунгицидов и их смеси с микроэлементами приводило к его снижению (табл. 2).

Отмечены различия в накоплении натрия в разрезе гибридов. Так, у гибрида Мандарин содержание натрия в корнеплодах было наибольшим (3,1 и 2,7 ммоль/кг), наиболее низким – у гибрида Золея (2,4 и 2,6 ммоль/кг) (табл. 2).

Достоверный рост содержания натрия получен при применении микроэлементов в 2009 г. на фоне с азотной подкормкой, достоверное снижение – в 2010 г. на фоне без азотной подкормки и в 2011 г. на фоне с азотной подкормкой (табл. 4).

Таблица 2

Влияние факторов интенсификации на технологические качества сахарной свеклы (среднее за 2008, 2010–2011 гг.)

Факторы интенсификации	Сорт				Среднее по факторам
	Ярыся (ст)	Ахат	Мандарин	Золея	
Калий, ммоль/кг					
Фон N_{120}					
Контроль	56,3	50,3	46,2	50,3	50,8
Микроэлементы	54,1	51,6	47,1	49,9	50,7
Фунгицид	52,4	47,6	49,6	52,0	50,3
Микроэлементы + фунгицид	50,6	49,8	46,5	49,8	49,1
Среднее	**53,4**	**49,8**	**47,4**	**50,5**	**50,2**
Фон N_{120+30}					
Контроль	56,6	50,7	47,0	51,7	51,5
Микроэлементы	54,1	53,5	47,3	50,3	51,3
Фунгицид	53,8	52,5	48,0	49,5	51,0
Микроэлементы + фунгицид	55,0	49,3	48,4	51,1	51,0
Среднее	**53,7**	**51,0**	**47,0**	**51,6**	**51,0**
Натрий, ммоль/кг					
Фон N_{120}					
Контроль	3,1	2,6	2,9	2,6	2,8
Микроэлементы	3,0	3,3	3,5	2,4	3,1
Фунгицид	2,3	2,2	3,6	2,6	2,7
Микроэлементы + фунгицид	2,3	2,8	2,3	2,1	2,4
Среднее	**2,7**	**2,7**	**3,1**	**2,4**	**2,8**
Фон N_{120+30}					
Контроль	2,9	2,4	2,3	2,8	2,7
Микроэлементы	2,6	3,0	3,0	3,1	3,0
Фунгицид	2,6	2,2	2,2	2,1	2,3
Микроэлементы + фунгицид	2,6	2,8	2,5	2,5	2,6
Среднее	**2,6**	**2,6**	**2,7**	**2,6**	**2,6**

Окончание табл. 2

Факторы интенсификации	Сорт				Среднее по факторам
	Ярыся (ст)	Ахат	Мандарин	Золея	
Альфа-азот, ммоль/кг					
Фон N_{120}					
Контроль	17,8	14,5	15,6	16,1	16,0
Микроэлементы	19,7	17,5	17,6	16,5	17,8
Фунгицид	17,5	12,5	17,6	16,3	16,0
Микроэлементы + фунгицид	14,9	11,6	12,9	13,6	13,3
Среднее	**17,5**	**14,0**	**15,9**	**15,6**	**15,8**
Фон N_{120+30}					
Контроль	19,5	16,2	17,3	17,6	17,6
Микроэлементы	16,2	19,9	17,1	14,7	17,5
Фунгицид	16,4	15,8	17,4	15,5	16,3
Микроэлементы + фунгицид	19,1	13,4	15,6	15,8	16,0
Среднее	**17,7**	**15,4**	**16,8**	**15,9**	**16,7**
Коэффициент завода, %					
Фон N_{120}					
Контроль	86,6	87,4	87,9	87,3	87,3
Микроэлементы	86,6	86,8	87,5	87,3	87,0
Фунгицид	87,6	88,6	87,9	87,8	88,0
Микроэлементы + фунгицид	88,3	88,8	89,1	88,3	88,6
Среднее	**87,3**	**87,9**	**88,1**	**87,7**	**87,7**
Фон N_{120+30}					
Контроль	86,3	87,2	87,6	87,0	87,0
Микроэлементы	87,1	86,3	87,7	87,5	87,1
Фунгицид	87,4	87,5	88,1	87,9	87,7
Микроэлементы + фунгицид	87,3	88,3	88,3	87,8	87,9
Среднее	**87,0**	**87,3**	**87,9**	**87,5**	**87,4**

Азотная подкормка приводила к повышению содержания альфа-аминного азота в корнеплодах с 15,8 до 16,7 ммоль/кг свеклы. Наибольшее его содержание на обоих фонах установлено у гибридов Ярыся и Мандарин, наименьшее – у гибридов Ахат и Золея (табл. 2). В 2008 и 2010 гг. у гибрида Ахат дополнительное внесение азота достоверно повышало содержание альфа-аминногоазота, а в 2011 г. данная тенденция установлена у Ярыси, Ахата и Мандарина (табл. 3).

Таблица 3

Технологические качества гибридов сахарной свеклы на различных уровнях азотного питания

Вариант		Год		
		2008	2010	2011
Калий, ммоль/кг				
Ярыся	N_{120}	48,0	54,8	58,0
	N_{120+30}	52,7	52,6	59,4
Ахат	N_{120}	45,0	49,8	54,6
	N_{120+30}	49,3	50,7	54,4
Мандарин	N_{120}	46,2	49,6	47,3
	N_{120+30}	45,6	49,7	47,8
Золея	N_{120}	52,2	48,3	51,4
	N_{120+30}	52,1	48,3	51,6
$НСР_{05}$		**2,9**	**2,0**	**1,9**
Натрий, ммоль/кг				
Ярыся	N_{120}	2,3	3,9	2,1
	N_{120+30}	2,6	3,4	2,0
Ахат	N_{120}	2,3	4,1	1,8
	N_{120+30}	2,4	3,9	1,6
Мандарин	N_{120}	2,5	4,9	1,9
	N_{120+30}	1,9	4,0	1,7
Золея	N_{120}	1,9	3,9	1,8
	N_{120+30}	2,0	4,2	1,7
$НСР_{05}$		**0,3**	**0,4**	**0,2**
Альфа-азот, ммоль/кг				
Ярыся	N_{120}	18,3	24,6	11,8
	N_{120+30}	17,4	22,9	13,2
Ахат	N_{120}	15,6	17,7	9,7
	N_{120+30}	18,3	20,2	10,6

Окончание табл. 3

Вариант		Год		
		2008	2010	2011
Мандарин	N_{120}	18,9	19,6	10,8
	N_{120+30}	19,2	20,0	11,4
Золея	N_{120}	19,9	17,9	15,9
	N_{120+30}	19,6	17,8	16,1
$НСР_{05}$		**2,1**	**2,3**	**0,6**
Коэффициент завода, %				
Ярыся	N_{120}	88,1	84,9	88,4
	N_{120+30}	87,7	85,3	88,1
Ахат	N_{120}	88,5	86,1	88,8
	N_{120+30}	87,8	85,3	88,8
Мандарин	N_{120}	88,1	85,9	89,8
	N_{120+30}	88,2	86,0	89,7
Золея	N_{120}	87,1	86,6	89,0
	N_{120+30}	87,3	86,5	88,9

Применение микроэлементов на фоне N_{120} в 2011 г. привело к достоверному росту содержания альфа-аминного азота, а внесение фунгицидов и микроэлементов с фунгицидами в 2010 г. – к его снижению. Следует отметить, что при повышенном уровне внесения азотных удобрений применение микроэлементов и фунгицидов способствовало снижению вредного азота в корнеплодах (табл. 4).

Показатель коэффициент завода, характеризующий извлечение сахара из корнеплодов, на фоне азотной подкормки имел тенденцию к снижению.

Таблица 4

Технологические качества гибридов сахарной свеклы на различных уровнях азотного питания

Вариант	Год исследований		
	2008	2010	2011
Калий, ммоль/кг			
Фон N_{120}			
Контроль	50,2	49,5	52,6
Микроэлементы	46,2	49,7	55,1
Фунгицид	46,6	52,4	52,0
Микроэлементы + фунгицид	48,4	48,4	50,6

Продолжение табл. 4

Вариант	Год исследований		
	2008	2010	2011
Среднее	**47,9**	**50,0**	**52,8**
Фон N_{120+30}			
Контроль	49,3	49,8	55,4
Микроэлементы	49,8	49,2	54,9
Фунгицид	50,1	51,4	51,4
Микроэлементы + фунгицид	50,5	50,8	51,6
Среднее	**49,9**	**50,3**	**53,3**
$НСР_{05}$	**4,0**	**2,7**	**2,6**
Натрий, ммоль/кг			
Фон N_{120}			
Контроль	2,2	4,5	1,8
Микроэлементы	2,2	5,0	2,0
Фунгицид	2,5	3,5	2,0
Микроэлементы + фунгицид	2,1	3,3	1,7
Среднее	**2,3**	**4,1**	**1,9**
Фон N_{120+30}			
Контроль	2,3	3,7	2,0
Микроэлементы	2,4	4,7	1,8
Фунгицид	2,0	3,3	1,6
Микроэлементы + фунгицид	2,2	3,9	1,8
Среднее	**2,2**	**3,9**	**1,8**
$НСР_{0,5}$	**0,4**	**0,5**	**0,3**
Альфа-азот, ммоль/кг			
Фон N_{120}			
Контроль	17,4	20,2	10,4
Микроэлементы	18,5	22,8	12,2
Фунгицид	19,4	17,7	10,8
Микроэлементы + фунгицид	17,2	13,1	9,5
Среднее	**18,1**	**18,5**	**10,7**
Фон N_{120+30}			
Контроль	18,2	21,9	12,8

Окончание табл. 4

Вариант	Год исследований		
	2008	2010	2011
Микроэлементы	19,2	19,9	11,9
Фунгицид	18,1	20,1	10,6
Микроэлементы + фунгицид	17,4	19,0	11,6
Среднее	**18,2**	**20,2**	**11,7**
$НСР_{0,5}$	**2,9**	**2,7**	**0,9**
Коэффициент завода, %			
Фон N_{120}			
Контроль	88,0	85,1	88,9
Микроэлементы	87,9	84,9	88,3
Фунгицид	87,8	87,0	89,2
Микроэлементы + фунгицид	88,1	88,2	89,2
Среднее	**88,0**	**86,3**	**88,9**
Фон N_{120+30}			
Контроль	87,8	85,0	88,2
Микроэлементы	87,6	85,2	88,6
Фунгицид	87,7	86,1	89,4
Микроэлементы + фунгицид	87,9	86,6	89,2
Среднее	**87,8**	**85,7**	**88,9**

Наименьший коэффициент извлечения сахара установлен у гибрида Ярыся, наивысший – у гибрида Мандарин. Отмечены различия и по годам. Так, наивысший показатель извлечения сахара был в 2011 г. (депрессия церкоспороза и других болезней листового аппарата) и составил 88,9 %, наихудший – в 2010 г. (эпифитотия церкоспороза).

Влияния микроэлементов на извлечение сахара из корнеплодов не установлено, фунгициды и их смесь с микроэлементами повышали выход сахара из корнеплодов.

ВЫВОДЫ

1. Изучаемые элементы технологии (азотная подкормка, применение микроэлементов (Поликом «Свекла») и фунгицида Рекс ДУО, 47,9 % СК) влияния на содержание калия в корнеплодах не оказали. Установлены различия в накоплении калия в разрезе гибридов.

2. Применение азотной подкормки и фунгицидов снижало содержание натрия в корнеплодах. При применении микроэлементов на содержание натрия в

большей степени влияли погодные условия вегетационного периода. Установлены различия в накоплении натрия в разрезе гибридов.

3. Азотная подкормка повышала содержание альфа-аминного азота в корнеплодах. Применение фунгицидов и их баковой смеси с микроэлементами снижало содержание альфа-азота. Наиболее высокое содержание вредного азота в корнеплодах установлено в год эпифитотии развития церкоспороза.

4. На коэффициент извлечения сахара из корнеплодов (коэффициент завода) положительное влияние оказало совместное применение микроэлементов и фунгицидов, а также фунгицидов в чистом виде. Применение микроэлементов на выход сахара из корнеплодов не повлияло. Азотная подкормка снижала извлечение сахара из корнеплодов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Силин, П.М. Технология сахара / П.М. Силин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Пищевая пром.,1967. – 625 с.

2. Хелемский, М.З. Технологические качества сахарной свеклы / М.З. Хелемский. – М.: Пищевая пром., 1967. – Ч. 1. – 283 с.

3. Хелемский, М.З. Технологические качества сахарной свеклы / М.З. Хелемский. – М.: Пищевая пром., 1967. – Ч. 2. – 284 с.

4. Szklarz, J. Physical features and yield of sugar beet depending on the composition of seed coat / J. Szklarz, St. Wojcik, A.S. Omar // Zesz. probl. post. naukrol. – 1993. – № 399. – S. 247–250.

5. Winner, C. Wiekann die Erzeugung von Qualitatsrubengefördertwerden? / C. Winner // Zuckerindustrie. – 1978. – № 103. – P. 119–128.

6. Шпаар, Д. Сахарная свекла (Выращивание, уборка, хранение) / Д. Шпаар, Д. Дрегер, А. Захаренко; под общ. ред. Д. Шпаара. – М.: DLV АГРОДЕЛО, 2006. – 315 с.

7. Devillers, P. Prevision du sucremelasse / P. Devillers // Sucreriefrancaise. – 1988. – № 129. – P. 190–200.

8. Rohsaftgewinnung im Laboratorium zum Studium des technischen Wertes der Zuckerrube / C.J. Assejbergs [et al.] // The Technological Value of the Sugar Beet: proceedings of the XIth Session of the Commission Internationale Technique de Sucrerie, Elsevier, Amsterdam. – 1962. – P. 78–93.

9. Bertuzzi, S. Determinazione di K, Na, azotoalfaamminico in zuccherificio: implicazioni technologiche ed agronomiche / S. Bertuzzi, M. Zavanella // L'industria Saccarifera Italiana. – 1988. – № 81. – P. 135–138.

10. Mantovani, G. Discussion of the paper "Formation de la melasse": in Comptes Rendusde la XIIme Assembleede la Commission Internationale Technique de Sucrerie, 1963. – P. 261–262.

11. Carruthers, A. Methods for the assessment of beet quality / A. Carruthers, J.F.T. Oldfield // The Technological Value of the Sugar Beet: proceedings of the XIth Session of the Commission Internationale Technique de Sucrerie, Elsevier, Amsterdam, 1962. – P. 224–248.

12. Вострухин, Н.П. Повышение урожайности и качества сахарной свеклы / Н.П. Вострухин. – Минск: Ураджай, 1974. – 136 с.

13. Вострухин, Н.П. Выход сахара – главный показатель результатов в свекловодстве / Н.П. Вострухин, Н.П. Вострухина // Сахарная свекла. – 1990. – № 2. – С. 31–32.

14. Вострухина, Н.П. Сахарная свекла: качество корнеплодов и выход сахара / Н.П. Вострухина, Н.П. Вострухин. – Минск: Ураджай, 1997. – 133 с.

EFFECT OF TECHNOLOGY ELEMENTS ON THE CONTENT OF DAMAGING NON-SUGARS IN HYBRIDS OF SUGAR BEET

N.A. Luk'yaniuk, I.K. Abramovich

Summary

The influence of the individual elements of the technology of sugar beet root crop processing quality in hybrids with different degrees of resistance to complex pathogens is given. It is established that the additional nitrogen fertilization is inadvisable. On high cultivated sod-podzolic soil the application of micronutrients Polycom "Beet" + Polibor in pure form for the technological qualities of roots had no effect. In a complex application with fungicides showed improvement of technological qualities of roots. The use of fungicides in years epiphytoty cercosporosis and it is justified by a moderate development of hybrids with different degrees of stability.

Поступила 30.04.13

УДК 633.2/.3:631.8:631.559:631.445.24

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ С ДОБАВКАМИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ БОБОВО-ЗЛАКОВЫХ ТРАВОСМЕСЕЙ НА ОСУШЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ-ГЛЕЕВОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

И.Н. Хатулев

Витебская ОПИСХ, г. Витебск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Одним из путей улучшения кормовой базы в животноводстве является расширение посевов многолетних бобово-злаковых травосмесей, при использовании которых можно решить проблему сбалансированных по протеину кормов и обеспечить сохранение плодородия почвы, повышение продуктивности и экологической безопасности растениеводства.

Состояние отрасли животноводства во многом определяется наличием полноценных кормов и их рациональным использованием. Однако их обеспеченность и качество в настоящее время в республике остается низким. Для создания стабильной кормовой базы в структуре кормовых земель большая роль отводится созданию высокопродуктивных сенокосов и пастбищ. Известно, что наименее энергоемкими кормовыми культурами являются многолетние травы.

Увеличение доли бобовых культур в составе многолетних травостоев способствует обогащению кормовой базы переваримым протеином, повышению продуктивности севооборотов и сохранению почвенного плодородия за счет стабилизации гумусового состояния и накопления элементов питания в почвах.

В мировом земледелии наиболее острой и постоянно актуальной в кормопроизводстве проблемой является низкое содержание белка и протеина в кормах, что ведет к значительному их перерасходу при производстве единицы животноводческой продукции [1–11].

Развитие травосеяния на дерново-подзолистых средне-, легкосуглинистых почвах Витебской области актуально. Эти почвы в составе дерново-подзолистых занимают 50,9 % от общей их площади (384961,6 га), соответственно в типе дерново-подзолистых заболоченных – 50,3 % (789156,0 га) [12].

В 2009 г. в Витебской области посевные площади под многолетними травами составляли 27242 га, в том числе злаковыми – 10372 и бобово-злаковыми – 16870 га, соответственно в 2010 г. – 30027 га, под злаковыми – 11601 и бобово-злаковыми – 18429 га.

Одним из главных факторов повышения продуктивности кормовых земель и улучшения качества кормов является сбалансированное применение минеральных удобрений. Дозы удобрений под бобово-злаковые травосмеси рассчитываются в зависимости от планируемого урожая и выноса элементов питания растениями, содержания элементов питания в почвах. Особое значение при выращивании бобово-злаковых смесей имеет определение доз азотного удобрения. Существуют различные мнения относительно применения стартовых доз азотных удобрений под бобовые и бобово-злаковые травосмеси, а также органических удобрений под клевер, люцерну и другие бобовые. В одних источниках утверждается, что азотные удобрения необходимы, в других – внесение минерального азота не требуется. Установлено, что не требуется внесение азота при доле бобовых в смеси 70 % и более, при меньшей их доли – требуется внесение азота в дозах 20–30 кг/га д.в. (при доле бобовых в смеси 30–40 %). При более высокой доле злаковых дозу азота можно увеличивать. Потребность бобово-злаковых смесей в микроэлементах, от низкой до средней, и зависит от состава смеси и содержания микроэлементов в почвах [13].

Комплексных исследований по изучению перспективных новых форм комплексных и азотных удобрений с добавками микроэлементов на урожайность и качество многолетних злаковых и бобово-злаковых травосмесей на дерново-подзолистых среднесуглинистых и легкосуглинистых почвах, наиболее распространенных в Витебской области, не проводилось, что и определило цель наших исследований.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение влияния новых форм твердых и жидких комплексных удобрений с добавками микроэлементов на урожайность и качество многолетних бобово-злаковых травосмесей первого года жизни, первого и второго года пользования проводилось (2010–2012 гг.) на дерново-подзолисто–глеевой осушенной, развивающейся на легком суглинке, подстилаемом с глубины 0,3–0,8 м моренными отложениями, почве в экспериментальной базе РУП «Витебский зональный институт сельского хозяйства НАН Беларуси» (п. Тулово, Витебский р-н, Витебская обл.).

Агрохимические показатели пахотного слоя почвы перед закладкой опытов были следующие (среднее по вариантам): pH в KCl – 5,95, P_2O_5 – 220 и K_2O –

171 мг/кг почвы, содержание гумуса – 3,02 %, бора – 0,73, подвижной меди – 3,80, цинка – 3,97 мг/кг почвы.

Состав бобово-злаковой травосмеси: клевер луговой (долголетний) – 2,5 кг/га, люцерна – 10 кг/га, тимофеевка луговая – 3,5 кг/га, кострец безостый – 12 кг/га (46 % бобовых в травосмеси). Покровная культура – райграс однолетний – 8 кг/га.

Общая площадь делянок – 30 (10 х 3) м^2. Повторность вариантов – 4-кратная.

В качестве минеральных удобрений для основного внесения в почву (травы первого года жизни, 2010 г.) первого и второго года пользования под первый укос применяли: новые формы комплексных удобрений, марки N:P:K = 7–15–30 с B и Zn (вар. 4–6), 7–15–30 с Cu, Mn, Mo (вар. 7–9) и 8–15–28 с B (вар.11), 8–15–28 с Mo (вар. 12), 8–15–28 с Cu (вар. 13), 8–15–28 с Zn (вар. 14), 8–15–28 с Mn (вар. 15), а также 8–15–28 с B и Zn, или с B и Mo, или с B и Cu, или с Cu и Mn (вар. 16–19), в том числе Cu, Mn, Mo и Zn в хелатной форме (в отдельных марках удобрений); жидкое азотное удобрение КАС (вар. 23) и азотно-калийное (вар. 23а); смеси стандартных удобрений (карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) – базовый вариант 1 (вар. 3) и комплексное удобрение без микроэлементов – базовый вариант 2 (вар. 10). Дозы удобрений, применяемые в опытах, приведены ниже в таблицах. Под второй укос применяли разные формы азотных удобрений (карбамид, КАС), азотно-серосодержащие удобрения (NS = 20:4), а также калийные (KCl).

Закладку, проведение опытов, уборку урожая проводили в соответствии с методическими указаниями по проведению полевых опытов [14].

В почвенных образцах определяли: pH в KCl суспензии – потенциометрически на pH-метре ЛПЧ–01, подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову, общий гумус – по И.В. Тюрину в модификации ЦИНАО [15].

Температура воздуха и осадки в годы исследований приведены по данным наблюдений на Витебской гидрометеостанции. Гидротермический коэффициент (ГТК), по месяцам и за вегетационный период, рассчитывался по Г.Т. Селянинову.

Статистическая обработка результатов исследований проведена по Б.А. Доспехову с использованием программ дисперсионного и корреляционного анализа на ЭВМ [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность и качество многолетних трав зависят от погодных условий периода вегетации, систем удобрения и видовых особенностей растений. Метеорологические условия (температура воздуха и осадки) в период возделывания многолетних трав в условиях 2010–2012 гг. отличались от среднемноголетних значений как по месяцам, так и за весь вегетационный период с апреля по сентябрь.

Гидротермический коэффициент в период вегетации трав (4–9 месяц) изменялся в 2010 г. в пределах от 0,49 (июль) до 2,51 (сентябрь), в 2011 г. – от 0,84 (апрель) до 2,50 (июль), в 2012 г. – от 0,74 (июль) до 3,91 (апрель), а в среднем за 4–9 месяц в 2010 г. составил 1,66, в 2011 г. – 1,61, в 2012 г. – 1,47 при среднемноголетнем – 1,69. Вегетационный период в 2010 г. и 2011 г. характеризовался как влажный, 2012 г. – как близкий к среднемноголетнему.

Сумма активных температур воздуха во все годы исследований за вегетационный период многолетних трав превышала среднемноголетние значения (2425,6 ^{0}C), в том числе в 2010 г. – в 1,25 раза, в 2011 г. – в 1,18 раза и в 2012 г. –

в 1,12 раза. Отмечались засушливые условия в отдельные периоды вегетации, что отрицательно сказывалось на росте и развитии многолетних бобово-злаковых травосмесей.

Урожайность зеленой массы и сухого вещества многолетних бобово-злаковых травосмесей в условиях 2010–2012 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве приведена в таблицах 1–2.

Результаты исследований показали, что урожайность зеленой массы и сухого вещества многолетних бобово-злаковых травосмесей зависит от форм и доз применяемых комплексных удобрений с модифицирующими добавками, года исследований и укоса (табл.1–2).

Урожайность зеленой массы многолетних бобово-злаковых травосмесей первого года жизни (2010 г.) была низкой и находилась в пределах от 51,5 ц/га (контрольный вариант) до 55,0–75,8 ц/га (варианты с удобрениями). При этом следует отметить, что при использовании комплексного удобрения марки N:P:K = 7–15–30 (соотношение N:P:K = 1–2,14–4,29) с различными сочетаниями микроэлементов, при разных дозах его внесения ($N_{15}P_{32}K_{64}$, $N_{25}P_{54}K_{107}$, $N_{35}P_{75}K_{150}$) лучшими оказались варианты с внесением $N_{25}P_{54}K_{107}$ с добавками B и Zn (вар. 5), где получена прибавка зеленой массы 4,8 ц/га, а также $N_{15}P_{32}K_{64}$ с Cu, Mn, Mo с прибавкой 7,0 ц/га (вар.7) по сравнению с базовым вариантом 1, где вносились аналогичные дозы стандартных туков (вар. 3). Лучшим вариантом по урожайности сухого вещества также оказался вариант 7.

В вариантах 10–19 изучалась эффективность другой марки комплексного удобрения с модифицирующими добавками (N:P:K = 8–15–28, соотношение N:P:K = 1–1,88–3,50) при дозе внесения $N_{25}P_{47}K_{88}$. Установлено, что при введении в состав комплексного удобрения по одному микроэлементу, в частности B (вар. 11), Mo (вар. 12), Cu (вар. 13), Zn (вар. 14), Mn (вар. 15) в условиях 2010 г. достоверная прибавка получена от всех микроэлементов (от 6,5 до 13,5 ц/га), за исключением комплексного удобрения с бором, что, по-видимому, объясняется высоким его содержанием в почве. Включение в состав комплексного удобрения двух микроэлементов (вар. 16–19), таких как B и Zn, B и Mo, B и Cu, Cu и Mn (в том числе медь, цинк и марганец в хелатных формах), было также эффективным. Но наиболее перспективными вариантами были те, где в состав удобрения включались микроэлементы в хелатной форме (вар. 16 и 18). В этих же вариантах получена и максимальная прибавка урожайности (14,4–10,8 ц/га) по сухому веществу (табл. 1).

В условиях 2011 г. урожайность зеленой массы многолетних бобово-злаковых травосмесей первого года пользования в первом укосе в контрольном варианте без удобрений составила 157 ц/га (45,5 ц/га по сухому веществу), в вариантах с удобрениями – от 166 до 246 (46,9–73,3) ц/га, соответственно во втором укосе — 129 (29,8) и 135–184 (31,3–50,4) ц/га, в третьем – 89 (17,8) и 92–122 (17,4–24,4) ц/га.

В условиях 2012 г. урожайность зеленой массы многолетних бобово-злаковых травосмесей второго года пользования в первом укосе в контрольном варианте составила 140 ц/га (34,4 ц/га по сухому веществу), в вариантах с удобрениями – от 159 до 234 (34,7–56,0) ц/га, соответственно во втором укосе – 105 (20,9) и 125–187 (24,8–41,6) ц/га, в третьем – 125 (32,1) и 151–228 (32,4–52,6) ц/га (табл. 1–2).

Среднегодовая продуктивность (за 2010–2012 гг.) зеленой массы многолетних бобово-злаковых травосмесей составила в контрольном варианте 266 ц/га. В вариантах с различными удобрениями она была в пределах от 298 до 386 ц/га. Прибавка урожайности зеленой массы от комплексных удобрений марки 7–15–30

с модифицирующими добавками по сравнению с базовым вариантом 1 с внесением стандартных туков находилась на уровне от 24 до 36 ц/га, сухого вещества – 7,3–12,9 ц/га. Максимальная прибавка зеленой массы (36 ц/га) и сухого вещества (12,9 ц/га) получена в варианте 7 с внесением NPK с Cu, Mn, Mo в дозе $N_{18}P_{39}K_{79}$ (сумма 186 кг/га д.в.), далее – от NPK с добавками B и Zn в дозе $N_{38}P_{82}K_{165}$ (сумма 349 кг/га д.в.): прибавка зеленой массы – 33 ц/га, сухого вещества – 11,3 ц/га.

Окупаемость 1 кг NPK продукцией многолетних бобово-злаковых травосмесей при использовании комплексного удобрения марки N:P:K = 7–15–30 с модифицирующими добавками была выше на 2,9–24,5 кг зеленой массы (вар. 4–9) по сравнению со смесями стандартных туков (вар. 3) и оказалась самой высокой в вариантах 4 и 7 с низкими дозами внесения комплексных удобрений $N_{18}P_{39}K_{79}$, где этот показатель составил 37,9 и 42,7 кг зеленой массы или 8,4 и 10,3 кг сухого вещества (табл. 1–2).

При применении на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве другой марки комплексного удобрения (8–15–28) без добавок (базовый вариант 2) урожайность зеленой массы составила 334 ц/га, сухого вещества – 78,5 ц/га. Включение в состав данной марки удобрения разных форм микроэлементов в различных сочетаниях обеспечило повышение ее эффективности, что проявлялось в увеличении урожайности зеленой массы до 366–386 ц/га, сухого вещества – до 88,3–98,0 ц/га. Прибавка урожая зеленой массы и сухого вещества многолетних бобово-злаковых травосмесей от внесения комплексных удобрений с модифицирующими добавками по отношению к базовому варианту 2 (комплексное без микроэлементов) в дозе $N_{28}P_{53}K_{99}$ (сумма 237 кг/га д.в.) составила от 32 до 52 ц/га, сухого вещества – от 9,8 до 19,5 ц/га.

Более высокая прибавка урожайности зеленой массы получена при внесении NPK с Mn (52 ц/га), NPK с Zn (50 ц/га), NPK с Mo (47 ц/га) и NPK с B и Mo (45 ц/га). Что касается прибавки урожайности по сухому веществу, то лучшими оказались варианты с внесением NPK с B и Mo (19,5 ц/га), NPK с Mo (17,4 ц/га) и NPK с Zn (13,5 ц/га). Окупаемость данной марки комплексного удобрения была выше, чем предыдущей, и находилась в пределах от 28,7 (базовый вариант) до 42,4–50,6 кг зеленой массы (комплексные удобрения с модифицирующими добавками) и сухого вещества от 5,0 до 9,1–13,2 кг соответственно. Наиболее высокая окупаемость применения комплексных удобрений марки N:P:K = 8–15–28 при возделывании многолетних трав на зеленую массу наблюдалась при внесении NPK с Mn (45,3 кг), NPK с Zn (44,5 кг), NPK с Mo (43,4 кг) и NPK с B и Mo (42,6 кг), по сухому веществу – NPK с B и Mo (11,8 кг) и NPK с Mo (11,0 кг).

Применение жидких азотно-калийных удобрений в технологии возделывания многолетних бобово-злаковых травосмесей было по своей эффективности ниже, чем комплексных удобрений с модифицирующими добавками, однако выше, чем смеси стандартных туков, где в качестве азотного компонента использовался карбамид (вар. 3) или КАС (вар. 23), а также комплексного удобрения без добавок (вар. 10).

Внесение жидкого азотно-калийного удобрения по сравнению с КАС обеспечивало увеличение урожайности зеленой массы на 24 ц/га, сухого вещества – на 10,7 ц/га, окупаемости 1 кг NPK – на 9,7 кг зеленой массы, на 4,0 кг сухого вещества.

Таблица 1

Влияние стандартных и комплексных удобрений с модифицирующими добавками на урожайность зеленой массы бобово-злаковой травосмеси на дерново-подзолистой легкосуглинистой, 2010-2012 гг.

Вариант	Урожайность зеленой массы, ц/га							Среднее за 2010–2012 гг.	Прибавка к базовым вариантам	Окупаемость 1 кг NPK, кг зеленой массы
	2010 г.	2011 г.			2012 г.					
		1 укос	2 укос	3 укос	1 укос	2 укос	3 укос	ц/га		
1. Контроль без удобрений	51,5	157	129	89	140	105	125	266	–	–
2. $N_{16}P_{61}K_{122}$ (аммонизированный суперфосфат, хлористый калий) (под первый укос) + K_{50} *	55,0	166	135	92	159	125	163	298	–	12,9
3. $N_{28}P_{61}K_{122}$ (смесь стандартных удобрений) (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос) – **базовый 1**	56,5	193	163	97	165	135	151	320	–	18,2
4. $N_{18}P_{39}K_{79}$ комплексное (7–15–30) с B и Zn (под первый укос) + $N_{25}K_{50}$ (под второй укос)	59,3	201	166	107	185	174	146	346	26	37,9
5. $N_{28}P_{61}K_{122}$ комплексное (7–15–30) с B и Zn (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	61,3	205	166	104	187	155	153	344	24	26,4
6. $N_{38}P_{82}K_{165}$ комплексное (7–15–30) с B и Zn (под первый укос) + $N_{45}K_{50}$ (под второй укос)	60,3	207	178	107	164	141	202	353	33	22,9

Продолжение табл. 1

Вариант	Урожайность зеленой массы, ц/га							Среднее за 2010–2012 гг.	Прибавка к базовым вариантам	Окупаемость 1 кг NPK, кг зеленой массы
	2010 г.	2011 г.			2012 г.					
		1 укос	2 укос	3 укос	1 укос	2 укос	3 укос	ц/га		
7. $N_{18}P_{39}K_{79}$ комплексное (7–15–30) с Cu, Mn, Mo (под первый укос) + $N_{25}K_{50}$ (под второй укос)	63,5	199	168	113	176	140	209	356	36	42,7
8. $N_{28}P_{61}K_{122}$ комплексное (7–15–30) с Cu, Mn, Mo (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	56,8	203	168	101	164	142	206	347	27	27,4
9. $N_{38}P_{82}K_{165}$ комплексное (7–15–30) с Cu, Mn, Mo (под первый укос) + $N_{45}K_{50}$ (под второй укос)	56,5	239	168	98	175	141	161	346	26	21,1
10. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное без микроэлементов (8–15–28) (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос) **– базовый 2**	59,5	203	144	98	170	146	180	334	–	25,7
11. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с B (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	58,3	213	168	110	223	183	143	366	32	37,7
12. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с Mo (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	67,8	270	163	122	185	172	164	381	47	43,4

Продолжение табл. 1

Вариант	Урожайность зеленой массы, ц/га							Среднее за 2010–2012 гг.	Прибавка к базовым вариантам	Окупаемость 1 кг NPK, кг зеленой массы
	2010 г.	2011 г.			2012 г.					
		1 укос	2 укос	3 укос	1 укос	2 укос	3 укос	ц/га		
13. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с Cu (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	73,0	202	184	106	220	150	188	374	40	40,8
14. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с Zn (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	66,0	246	171	106	214	174	175	384	50	44,5
15. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с Mn (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	71,0	202	184	100	229	164	207	386	52	45,3
16. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с B, Zn (в форме хелатов) (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	70,8	237	166	96	185	162	207	375	41	41,1
17. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с B, Mo (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	62,5	223	176	94	191	187	202	379	45	42,6
18. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с B, Cu (в форме хелатов) (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	75,8	204	175	85	184	155	228	369	35	38,9

Окончание табл. 1

Вариант	Урожайность зеленой массы, ц/га							Среднее за 2010–2012 гг.	Прибавка к базовым вариантам	Окупаемость 1 кг NPK, кг зеленой массы
	2010 г.	2011 г.			2012 г.					
		1 укос	2 укос	3 укос	1 укос	2 укос	3 укос	ц/га		
19. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с Cu и Mn (в форме хелатов), Mo (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	68,9	187	168	87	234	162	218	375	41	41,1
23. N_{28} (жидкое КАС)+ $P_{61}K_{122}$ (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос) – **базовый 3**	58	181	169	84	174	155	170	330	–	21,6
23а. $N_{28}K_{20}$ (жидкое азотно-калийное) + $P_{61}K_{102}$ (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	67	189	173	87	190	174	181	354	24	29,7
$НСР_{05}$	6,0	12,1	11,6	6,2	12,5	9,5	8,6	9,8	–	–

Примечание. Среднегодовые дозы удобрений за три года исследований.

Таблица 2

Влияние стандартных и комплексных удобрений с модифицирующими добавками на урожайность сухого вещества бобово-злаковой травосмеси на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, 2010–2012 гг.

Вариант	Урожайность сухого вещества, ц/га							Среднее за 2010–2012 гг.	Прибавка к базовым вариантам	Окупаемость 1 кг NPK, кг сухого вещества
	2010 г.	2011 г.			2012 г,					
		1 укос	2 укос	3 укос	1 укос	2 укос	3 укос	ц/га		
1. Контроль без удобрений	19,6	45,5	29,8	17,8	34,4	20,9	32,1	66,7	–	–
2. $N_{16}P_{61}K_{122}$ (аммонизированный суперфосфат, хлористый калий) (под первый укос) + K_{50} *	26,9	46,9	31,3	18,3	34,7	24,8	37,6	73,5	–	2,7
3. $N_{28}P_{61}K_{122}$ (смесь стандартных удобрений) (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос) – **базовый 1**	22,6	54,3	31,4	19,4	38,7	25,2	34,9	75,5	–	3,0
4. $N_{18}P_{39}K_{79}$ комплексное (7–15–30) с B и Zn (под первый укос) + $N_{25}K_{50}$ (под второй укос)	21,6	55,1	36,7	21,4	43,9	37,4	37,3	84,5	9,0	8,4
5. $N_{28}P_{61}K_{122}$ комплексное (7–15–30) с B и Zn (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	22,1	55,9	37,0	20,8	45,5	36,1	38,6	85,3	9,8	6,3

Продолжение табл. 2

Вариант	Урожайность сухого вещества, ц/га							Среднее за 2010–2012 гг.	Прибавка к базовым вариантам	Окупаемость 1 кг NPK, кг сухого вещества
	2010 г.	2011 г.			2012 г,					
		1 укос	2 укос	3 укос	1 укос	2 укос	3 укос	ц/га		
6. $N_{38}P_{82}K_{165}$ комплексное (7–15–30) с B и Zn (под первый укос) + $N_{45}K_{50}$ (под второй укос)	25,4	55,7	38,0	21,4	39,9	28,8	51,1	86,8	11,3	5,3
7. $N_{18}P_{39}K_{79}$ комплексное (7–15–30) с Cu, Mn, Mo (под первый укос) + $N_{25}K_{50}$ (под второй укос)	26,0	54,5	34,9	22,6	42,8	31,7	52,6	88,4	12,9	10,3
8. $N_{28}P_{61}K_{122}$ комплексное (7–15–30) с Cu, Mn, Mo (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	25,3	56,5	33,6	20,2	40,8	30,4	49,3	85,4	9,9	6,3
9. $N_{38}P_{82}K_{165}$ комплексное (7–15–30) с Cu, Mn, Mo (под первый укос) + $N_{45}K_{50}$ (под второй укос)	20,1	62,3	32,4	19,6	44,5	29,4	40,2	82,8	7,3	4,2
10. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное без микроэлементов (8–15–28) (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос) **– базовый 2**	20,8	53,8	31,8	19,4	38,3	31,8	39,5	78,5	–	4,5
11. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с B (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	24,4	60,5	35,9	20,0	56,0	36,2	32,4	88,5	10,0	8,2

Продолжение табл. 2

Вариант	Урожайность сухого вещества, ц/га							Среднее за 2010–2012 гг.	Прибавка к базовым вариантам	Окупаемость 1 кг NPK, кг сухого вещества
	2010 г.	2011 г.			2012 г,					
		1 укос	2 укос	3 укос	1 укос	2 укос	3 укос	ц/га		
12. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с Mo (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	26,7	73,3	41,2	24,4	47,1	35,4	39,6	95,9	17,4	11,0
13. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с Cu (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	25,7	52,1	39,8	21,2	50,7	31,6	43,8	88,3	9,8	8,2
14. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с Zn (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	26,8	61,6	38,7	21,2	55,1	34,7	37,9	92,0	13,5	9,5
15. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с Mn (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	30,1	54,3	37,8	20,0	52,4	31,2	49,1	91,6	13,1	9,4
16. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с B, Zn (в форме хелатов) (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	35,2	62,6	34,4	19,2	40,6	31,3	49,5	90,9	12,4	9,1
17. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с B, Mo (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	32,8	62,3	41,3	18,8	47,4	41,6	49,7	98,0	19,5	11,8

Окончание табл. 2

Вариант	Урожайность сухого вещества, ц/га							Среднее за 2010–2012 гг.	Прибавка к базовым вариантам	Окупаемость 1 кг NPK, кг сухого вещества
	2010 г.	2011 г.			2012 г,			ц/га		
		1 укос	2 укос	3 укос	1 укос	2 укос	3 укос			
18. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с B, Cu (в форме хелатов) (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	31,6	55,5	37,8	17,0	42,1	31,1	52,6	89,2	10,7	8,5
19. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с Cu и Mn (в форме хелатов), Mo (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	28,8	51,2	38,1	17,4	54,5	37,0	47,6	91,5	13,0	9,4
23. N_{28} (жидкое КАС)+ $P_{61}K_{122}$ (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос) – **базовый 3**	23,2	45,3	42,3	17,6	36,5	32,6	39,1	78,9	–	4,1
23а. $N_{28}K_{20}$ (жидкое азотно-калийное) + $P_{61}K_{102}$ (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	32,7	49,4	50,4	17,4	42,5	34,8	41,6	89,6	10,7	7,7
$НСР_{05}$	3,4	2,6	5,7	1,2	3,1	4,8	6,6	4,3	–	–

Примечание. Среднегодовые дозы удобрений за три года исследований.

Долевое участие бобовых в составе многолетней бобово-злаковой травосмеси на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (2010–2012 гг.) представлено в таблице 3.

Таблица 3

Долевое участие бобовых культур в составе зеленой массы многолетних бобово-злаковых трав на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, 2010–2012 гг.

Вариант	Доля бобовых в составе травосмеси, %						
	2010 г.	2011 г.			2012 г.		
		1 укос	2 укос	3 укос	1 укос	2 укос	3 укос
1. Контроль без удобрений	48,7	50,9	57,6	65,0	61,1	65,0	53,1
2. $N_{16}P_{61}K_{122}$ (аммонизированный суперфосфат, хлористый калий) (под первый укос) + K_{50}*	35,8	44,9	64,4	59,0	57,0	62,9	69,5
3. $N_{28}P_{61}K_{122}$ (смесь стандартных удобрений) (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос) – **базовый 1**	45,5	57,9	47,1	57,5	52,0	54,2	71,1
4. $N_{18}P_{39}K_{79}$ комплексное (7–15–30) с B и Zn (под первый укос) + $N_{25}K_{50}$ (под второй укос)	47,3	56,5	45,3	75,0	67,1	59,9	72,2
5. $N_{28}P_{61}K_{122}$ комплексное (7–15–30) с B и Zn (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	46,6	53,0	42,2	64,0	59,7	63,4	79,8
6. $N_{38}P_{82}K_{165}$ комплексное (7–15–30) с B и Zn (под первый укос) + $N_{45}K_{50}$ (под второй укос)	41,1	49,9	49,7	70,0	56,9	58,8	68,0
7. $N_{18}P_{39}K_{79}$ комплексное (7–15–30) с Cu, Mn, Mo (под первый укос) + $N_{25}K_{50}$ (под второй укос)	43,9	55,1	51,2	69,0	57,1	61,1	74,9
8. $N_{28}P_{61}K_{122}$ комплексное (7–15–30) с Cu, Mn, Mo (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	43,0	39,7	47,6	60,0	56,4	57,3	67,9
9. $N_{38}P_{82}K_{165}$ комплексное (7–15–30) с Cu, Mn, Mo (под первый укос) + $N_{45}K_{50}$ (под второй укос)	39,0	57,5	44,6	73,0	59,6	57,8	77,3

Продолжение табл. 3

Вариант	Доля бобовых в составе травосмеси, %						
	2010 г.	2011 г.			2012 г.		
		1 укос	2 укос	3 укос	1 укос	2 укос	3 укос
10. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное без микроэлементов (8–15–28) (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос) **– базовый 2**	28,7	59,7	48,6	65,0	56,8	69,6	72,1
11. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с B (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	31,1	50,6	48,5	61,0	63,3	61,0	78,2
12. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с Mo (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	34,2	73,2	35,5	65,0	60,8	61,7	67,2
13. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с Cu (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	40,0	51,4	39,7	53,0	58,4	66,5	72,5
14. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с Zn (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	38,6	52,3	45,1	54,0	55,3	64,5	68,7
15. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с Mn (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	40,5	48,1	49,3	58,0	56,5	64,2	70,6
16. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с B, Zn (в форме хелатов) (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	48,5	54,1	46,2	58,0	55,2	59,5	63,4
17. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с B, Mo (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	49,3	44,0	40,9	48,0	58,6	56,3	68,9
18. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с B, Cu (в форме хелатов) (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	59,0	44,1	45,3	63,0	57,5	54,8	67,9
19. $N_{28}P_{53}K_{99}$ комплексное (8–15–28) с Cu и Mn (в форме хелатов), Mo (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	40,2	42,3	55,7	60,0	63,9	59,9	67,4
23. N_{28} (жидкое КАС)+ $P_{61}K_{122}$ (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос) – **базовый 3**	45,5	47,9	45,0	63,0	53,8	55,7	69,5

Окончание табл. 3

Вариант	Доля бобовых в составе травосмеси, %						
	2010 г.	2011 г.			2012 г.		
		1 укос	2 укос	3 укос	1 укос	2 укос	3 укос
23а. $N_{28}K_{20}$ (жидкое азотно-калийное) + $P_{61}K_{102}$ (под первый укос) + $N_{35}K_{50}$ (под второй укос)	48,6	44,4	45,3	64,0	54,8	61,3	70,3
Среднее по вариантам	**42,6**	**51,3**	**47,4**	**62,1**	**58,2**	**60,7**	**70,0**
$НСР_{05}$	8,2	5,2	8,5	6,5	5,4	5,0	3,9

Примечание. Среднегодовые дозы удобрений за три года исследований.

Данные таблицы 3 свидетельствуют, что в составе травосмеси первого года жизни (2010 г.) долевое участие бобовых (в среднем по всем вариантам опыта) составляло 42,6 %. На травах как первого года пользования (2011 г.), так и второго (2012 г.) в разных укосах увеличивалась доля бобовых. Например, в 2011 г. в первом укосе многолетних бобово-злаковых травосмесей их доля составила 51,3 %, во втором – 47,4, в третьем – 62,1 %, соответственно в 2012 г. – 58,2; 60,7 и 70,0 %.

Приведенные данные (за 2010–2012 гг.) говорят о том, что применение комплексных азотно-фосфорно-калийных удобрений с добавками микроэлементов в технологии возделывания многолетних бобово-злаковых травосмесей первого года жизни, первого и второго года пользования под первый укос трав с дополнительным внесением азотно-калийных удобрений под второй укос является эффективным агротехническим приемом, обеспечивающим повышение урожайности зеленой массы, сухого вещества и окупаемости минеральных удобрений.

ВЫВОДЫ

1. Применение марки комплексного удобрения 7–15–30 с модифицирующими добавками на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве обеспечивало увеличение урожайности зеленой массы на 24-36 ц/га, сухого вещества – на 7,3–12,9 ц/га по сравнению с базовым вариантом с внесением стандартных туков. Максимальная прибавка зеленой массы (36 ц/га) и сухого вещества (12,9 ц/га) получена в варианте с внесением NPK с Cu, Mn, Mo в дозе $N_{18}P_{39}K_{79}$, далее – от NPK с добавками B и Zn в дозе $N_{38}P_{82}K_{165}$: прибавка зеленой массы – 33 ц/га, сухого вещества – 11,3 ц/га. Окупаемость 1 кг NPK продукцией многолетних бобово-злаковых травосмесей при использовании этого удобрения была выше на 2,9–24,5 кг зеленой массы по сравнению со смесями стандартных туков и оказалась самой высокой в вариантах с низкими дозами его внесения ($N_{18}P_{39}K_{79}$), где этот показатель составил 37,9 и 42,7 кг зеленой массы или 8,4 и 10,3 кг сухого вещества.

2. Применение марки комплексного удобрения 8–15–28 с модифицирующими добавками при дозе внесения $N_{28}P_{53}K_{99}$ обеспечивало увеличение урожайности зеленой массы на 32-52 ц/га, сухого вещества – на 9,8–19,5 ц/га, окупаемости

1 кг NPK – на 12,0–19,6 кг зеленой массы, на 3,7–7,3 кг сухого вещества по сравнению с базовым вариантом с внесением аналогичного комплексного удобрения без добавок. Более высокая прибавка урожайности зеленой массы (45–52 ц/га) получена при внесении NPK с Mn, NPK с Zn, NPK с Mo и NPK с B и Mo, сухого вещества (13,5–19,5 ц/га) – NPK с B и Mo, NPK с Mo и NPK с Zn.

3. Внесение жидкого азотно-калийного удобрения обеспечивало увеличение урожайности зеленой массы на 24 ц/га, сухого вещества – на 10,7 ц/га, окупаемости 1 кг NPK – на 8,1 кг зеленой массы, 3,6 кг сухого вещества по сравнению с КАС на фоне РК.

4. В составе бобово-злаковых травосмесей первого года пользования увеличивалось долевое участие бобового компонента (за счет люцерны) до 53,6 % (среднее по трем укосам), второго года пользования – до 63,0 % по сравнению с травами первого года жизни (42 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антоний, А.К. Выращивание смесей зерновых зернобобовых культур / А.К. Антоний // Урожай и качество хлебов. – Рига, 1979. – С. 92–100.

2. Антонюк, В.С. Пути решения проблемы кормового протеина в республике / В.С. Антонюк // Вести АН БССР. Сер.с.-х. наук. – 1978. – № 4. – С. 110–116.

3. Вавилов, П.П. Бобовые культуры и проблема растительного белка / П.П. Вавилов, Г.С. Посыпанов. – М.: Россельхозиздат, 1983. – 256 с.

4. Виноградова, Е.В. Пути увеличения сбора протеина в полевом кормопроизводстве / Е.В. Виноградова // Достижения науки и передового опыта в сельском хозяйстве. – 1976. – № 12. – С. 41–45.

5. Дебелый, Г.А. Резерв белка / Г.А. Дебелый, Т.Ф. Рыжков // Кормовые культуры. – 1988. – № 3. – С. 41–43.

6. Заринова, Л.П. Ресурсы кормового белка / Л.П. Заринова. – Казань: Титиздат, 1985. – 112 с.

7. Кукреш, Л.В. Производство кормового белка – стратегическое направление в зерновом хозяйстве республики / Л.В. Кукреш // Вести НАН Беларусь. – 1995. – № 2. – С. 15–17.

8. Современные технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов / НАН Беларуси; НПЦ по земледелию; под ред. М.А. Кадырова. – Минск, 2005. – 303 с.

9. Шлапунов, В.Н. Интенсификация полевого кормопроизводства – основа создания прочной кормовой базы в Белоруссии / В.Н. Шлапунов // Труды института ВНИИ кормов: сб. науч. тр. / ВНИИ кормов. – 1987. – Вып. 36. – С. 86–93.

10. Шлапунов, В.Н. Интенсификация полевого кормопроизводства в Белоруссии / В.Н. Шлапунов // Интенсивные технологии возделывания кормовых культур: теория и практика: сб. науч. тр. / ВНИИЗ. – М., 1990. – С. 22–28.

11. Шлапунов, В.Н. Кормовое поле Беларуси / В.Н. Шлапунов, В.С. Цыдик. – Барановичи, 2003. – 304 с.

12. Дашков, В.Н. Факторы повышения эффективности кормопроизводства / В.Н. Дашков // Земледелие и защита растений. – 2005. – № 2. – С. 9–11.

13. Кадыров, М.А. Кормопроизводство в Беларуси / М.А. Кадыров, Л.В. Кукреш // Земледелие и защита растений. – 2005. – № 2. – С. 3–9.

14. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1973. – 335 с.

15. Мальчевская, Е.Н. Оценка качества и зоотехнический анализ кормов / Е.Н. Мальчевская, Г.С. Маленькая. – Минск: Ураджай, 1981. – 143 с.

16. Гольберг, М.А. Опасные явления погоды и урожая / М.А. Гольберг, Г.В. Волобуева, А.А. Фалей. – Минск: Ураджай, 1988. – 120 с.

17. Урожайность и качество зерновых культур в севообороте при разных системах удобрения на дерново-подзолистой супесчаной почве / В.В. Лапа [и др.] // Почвы и их плодородие на рубеже столетий: материалы II съезда белорус. общества почвоведов, посвященного 70-летию БелНИИПА, Минск, 25–29 июня 2001 г. / Ин-т почвоведения и агрохмии; редкол.: И.М. Богдевич [и др.]. – Минск, 2001. – Ч 2. – С. 164–166.

18. Нормативы прибавок урожая сельскохозяйственных культур от применения органических удобрений. – Владимир, 1990. – 123 с.

IMPACT COMPLEX FERTILIZERS WITH MICRONUTRIENT SUPPLEMENTS ON YIELD PERENNIAL LEGUME-CEREAL GRASS MIXTURES ON SOD-PODZOLIC GLEY LIGHT LOAMY SOIL

I.N. Khatulev

Summary

The article presents data on the effectiveness of nitrogen-phosphorus-potassium fertilizers with micronutrient supplements in growing perennial legume-grass mixtures on sod-podzolic-gley loam soil in the Vitebsk region of Belarus (2010–2012). It is found that the use of new nitrogen-phosphorus-potassium fertilizer forms with modifying additives in the growing technology perennial legume-grass mixtures of the first year, first and second year of use (for the first mowing grass) with the additional application of nitrogen-potassium fertilizer under aftermath is efficient farming practices increase the yield of green mass, dry matter and mineral fertilizer recovery.

Поступила 03.04.13

УДК 635.21:631.8.022.3:631.445.2

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПОД КАРТОФЕЛЬ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

А.И. Щетко, А.Р. Рыбак
Гродненский зональный институт растениеводства, г. Щучин, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Картофель – одна из важнейших сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь. Он является незаменимым продуктом питания для населения, широко используется на корм скоту и как сырье для получения различных картофелепродуктов, крахмала и спирта.

Одним из основных факторов получения высоких урожаев картофеля является применение органических и минеральных удобрений. Растения картофеля требовательны к питательным веществам почвы, которые должны находиться в ней в доступной форме и в достаточном количестве. Это во многом обусловлено биологическими особенностями картофеля и в первую очередь слаборазвитой, преимущественно расположенной в верхнем слое почвы корневой системой.

Правильно разработанная система применения органических и минеральных удобрений под картофель позволяет получать не только стабильно высокие урожаи клубней с высоким их качеством, а также устранять при этом недостатки обоих видов вносимых удобрений. Сочетание органических удобрений с минеральными в системе удобрения картофеля создает благоприятный питательный режим в течение всего вегетационного периода, так как в первой половине вегетации картофель потребляет элементы питания из минеральных удобрений, а к периоду бутонизации – цветения – из органических в результате их минерализации [1–3].

Для обеспечения высокой продуктивности картофеля необходимо соблюдение и усовершенствование технологии возделывания культуры, одним из элементов которой является научно обоснованная система удобрения. В связи с этим цель наших исследований – определить наиболее эффективную систему удобрения картофеля, обеспечивающую получение планируемой урожайности.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению влияния различных систем применения удобрений на продуктивность картофеля проводили в длительном стационарном полевом опыте в РУП «Гродненский зональный институт растениеводства НАН Беларуси» на дерново-подзолистой супесчаной почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя: pH_{KCl} 4,98–6,30, содержание гумуса – 0,98–1,99 %, P_2O_5 – 156–440, K_2O – 75–289 мг/кг почвы.

Полевой опыт заложен в двух полях (1961–1964 гг.) в зернотравяно-пропашном севообороте со следующим чередованием культур: яровая пшеница – озимая тритикале – картофель – ячмень – клевер луговой. Общая площадь делянки – 75 м^2, учетная – 50 м^2, повторность вариантов в опыте – четырехкратная. Под картофель вносили органические удобрения в виде навоза КРС на соломенной подстилке с содержанием N – 0,56 %, P_2O_5 – 0,32 %, K_2O – 0,61 %, а также фосфорные и калийные –осенью. Азотные удобрения вносили в дозе N_{90} и N_{120} под нарезку гребней; в два приема: N_{80} – под нарезку гребней, N_{40} – в фазу бутонизации; в три приема: N_{60} – под нарезку гребней, N_{30} – в фазу бутонизации и N_{30} – в фазу цветения. В варианте 15 дозу азотных удобрений рассчитывали с учетом содержания доступных форм азота в почве.

Объект исследований – поздний столовый сорт белорусской селекции Зарница. Содержание крахмала – 12,7–17,3 %, вкусовые качества хорошие (разваримость – тип ВС). Пригоден для производства хрустящего картофеля. Устойчив к раку картофеля, относительно высокая устойчивость к черной ножке, парше обыкновенной и ризоктониозу, средняя – к фитофторозу листьев и клубней, вирусам. Репродукция – супер-супер элита.

Картофель возделывали в 2009, 2012 гг. по общепринятой для республики технологии [4]. Уход за посадками включал: обработку почвенным гербицидом Зенкор – 1,0 кг/га, двукратную обработку инсектицидом Актара – 0,08 кг/га, обработку фунгицидами Сектин феномен – 1,25 кг/га, Ревус – 0,6 л/га.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что продуктивность картофеля в вариантах опыта в среднем за два года варьировала от 100 до 256 ц/га (табл. 1).

Самая низкая урожайность клубней была получена в варианте без удобрений – 100 ц/га. Внесение азотных и калийных удобрений в дозе $N_{90}K_{120}$ обеспечило получение 124 ц/га – прибавка клубней составила 24 ц/га при содержании крахмала 14,8 % и условно чистом доходе 91,7 USD/га. При применении фосфорных удобрений в дозе P_{30} совместно с N_{90} K_{120} урожайность клубней увеличилась только на 2 ц/га, что ниже НСР при снижении рентабельности в два раза.

При применении органической системы удобрения с максимальной в опыте дозой 75 т/га навоза КРС на соломенной подстилке урожайность клубней картофеля составила 194 ц/га, что на 94 ц/га выше, чем в контрольном варианте (без удобрений), и на 68 ц/га больше, чем при применении минеральной системы удобрения $N_{90}P_{30}K_{120}$. Рентабельность применения органической и минеральной системы удобрения в опыте практически на одном уровне – 60 и 59 % соответственно. Однако условно чистый доход при применении органических удобрений (75 т/га) на 76,2 USD/га выше, чем при минеральной системе удобрения (N_{90} P_{30} K_{120}). Рост продуктивности картофеля на 61–87 ц/га отмечен в вариантах, где минеральные удобрения применяли в дозе $N_{90}P_{30}K_{120}$ на фоне различных доз соломистого навоза. При этом отмечено некоторое увеличение содержания крахмала в клубнях до 15,3–15,6 %, условно чистый доход вырос до 129,7–169,9 USD/га, а рентабельность составила 27–66 % (табл. 1).

Таблица 1

Эффективность различных систем удобрения картофеля (среднее за 2009, 2012 гг.)

Вариант	Урожайность клубней, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Содержание крахмала, %	Условно чистый доход, USD/га	Рентабельность,%
Контроль без удобрений	100	–	14,7	–	–
N_{90} K_{120}	124	24	14,8	91,7	120
N_{90} P_{30} K_{120}	126	26	15,0	67,4	59
N_{90} P_{30} K_{120} + навоз 25 т	161	61	15,3	169,9	66
N_{90} P_{30} K_{120} + навоз 50 т	178	78	15,5	172,1	46
N_{90} P_{30} K_{120} + навоз 75 т	187	87	15,6	129,7	27
Навоз 75 т	194	94	15,2	246,1	60
N_{90} K_{120} + навоз 50 т	190	90	15,8	374,3	146
N_{120} P_{30} K_{120} + навоз 50 т	214	114	15,3	360,0	82
N_{120} P_{30} K_{150} + навоз 50 т	231	131	15,2	453,6	98
N_{80+40} K_{120} + навоз 50 т	231	131	16,1	490,2	115
N_{80+40} P_{30} K_{120} + навоз 50 т	**256**	156	16,2	594,0	119
N_{80+40} P_{60} K_{150} + навоз 50 т	249	149	15,5	518,3	99
$N_{60+30+30}$ P_{60} K_{150} + навоз 50т	248	148	16,0	511,8	98
$N_{40+30+30}$ P_{60} K_{150} + навоз 50 т	247	147	15,6	514,7	100
$НСР_{05}$	7		0,3		

При органо-минеральной системе удобрения, включающей парную комбинацию N_{90} K_{120} на фоне 50 т/га соломистого навоза КРС, урожайность клубней оказалась на 66 ц/га выше, чем при минеральной системе удобрения ($N_{90}K_{120}$), содержание крахмала, условно чистый доход и рентабельность также были выше на 1,0 %, 282,6 USD/га и 26 % соответственно. Фосфорные удобрения (P_{30}) при совместном внесении с N_{90} K_{120} на фоне 50 т/га навоза снизили урожайность клубней на 12 ц/га, содержание крахмала – на 0,3 %, условно чистый доход и рентабельность – более чем в два раза.

При увеличении в органо-минеральной системе удобрения дозы азотных (N_{120} P_{30} K_{120}) и калийных (N_{120} $P_{30}K_{150}$) удобрений на фоне 50 т/га органических наблюдалось увеличение урожайности клубней до 214 и 231 ц/га по сравнению

с системой удобрения $N_{90} P_{30} K_{120}$ + навоз 50 т/га. Урожайность клубней выросла на 36 и 53 ц/га при снижении содержания крахмала на 0,3 и 0,2 %, при росте условно чистого дохода на 188 и 281,5 USD/га и рентабельности на 36 и 52 %.

Оптимальная и максимальная в опыте урожайность клубней 256 ц/га получена при внесении 120 кг азотных удобрений в два срока (N_{80} – под нарезку борозд, N_{40} – в фазу бутонизации на фоне $P_{30} K_{120}$ и 50 т/га навоза). Содержание крахмала 16,2 %, условно чистый доход 594,0 USD/га и рентабельность 119 % также оказались максимальными при данной системе удобрения.

Содержание основных элементов питания в клубнях картофеля является важным показателем, характеризующим условия питания (табл. 2).

Содержание азота в клубнях картофеля составило 0,37–0,46 %. При внесении азотных удобрений наблюдалась тенденция повышения содержания азота в основной и побочной продукции.

Содержание фосфора в картофеле характеризовалось стабильностью. В среднем за два года содержание фосфора в клубнях находилось в пределах 0,11–0,17 %, в ботве – 0,32–0,51 %.

Таблица 2

Влияние удобрений на содержание основных элементов питания в клубнях и ботве картофеля (среднее за 2009, 2012 гг.)

Вариант	Клубни, % в сухом веществе			Ботва, % в сухом веществе		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Контроль	0,37	0,12	0,72	1,28	0,32	2,19
$N_{90} K_{120}$	0,37	0,11	0,66	1,72	0,40	2,07
$N_{90} P_{30} K_{120}$	0,42	0,13	0,82	1,65	0,42	3,17
$N_{90} P_{30} K_{120}$ + навоз 25 т	0,39	0,12	0,81	1,85	0,39	3,16
$N_{90} P_{30} K_{120}$ + навоз 50 т	0,41	0,15	0,84	1,69	0,40	3,28
$N_{90} P_{30} K_{120}$ + навоз 75 т	0,40	0,14	0,78	1,69	0,35	3,46
Навоз 75 т	0,40	0,15	0,82	1,44	0,35	3,37
$N_{90} K_{120}$ + навоз 50 т	0,41	0,13	0,83	1,40	0,33	2,48
$N_{120} P_{30} K_{120}$ + навоз 50 т	0,42	0,13	0,84	1,77	0,38	3,16
$N_{120} P_{30} K_{150}$ + навоз 50 т	0,41	0,13	0,82	1,69	0,49	3,55
$N_{80+40} K_{120}$ + навоз 50 т	0,41	0,15	0,83	1,77	0,43	3,37
$N_{80+40} P_{30} K_{120}$ + навоз 50 т	0,46	0,17	0,84	2,15	0,38	3,80
$N_{80+40} P_{60} K_{150}$ + навоз 50 т	0,45	0,14	0,79	1,85	0,51	3,98
$N_{60+30+30} P_{60} K_{150}$ + навоз 50 т	0,45	0,16	0,84	1,56	0,39	3,66
$N_{диагн.} P_{60} K_{150}$ + навоз 50 т	0,44	0,17	0,83	1,72	0,45	3,87

Содержание калия в клубнях картофеля не зависело от системы удобрения и составило 0,66–0,84 %. В ботве содержание данного элемента было значительно выше – 2,19–3,98 %.

Расчеты общего выноса основных элементов питания показали, что картофель выносит большее количество азота (83–186 кг/га) и калия (157–385 кг/га) и меньшее – фосфора (27–78 кг/га) (табл. 3).

Таблица 3

Общий вынос элементов питания картофелем (среднее за 2009, 2012 гг.)

Вариант	Общий вынос, кг/га			Удельный вынос, кг/т		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Контроль	83	28	157	8,3	2,8	15,7
N_{90} K_{120}	90	27	170	7,3	2,2	13,7
N_{90} P_{30} K_{120}	97	34	187	7,7	2,7	14,8
N_{90} P_{30} K_{120} + навоз 25 т	113	38	233	7,0	2,4	14,5
N_{90} P_{30} K_{120} + навоз 50 т	137	48	277	7,7	2,7	15,6
N_{90} P_{30} K_{120} + навоз 75 т	134	49	275	7,2	2,6	14,7
Навоз 75 т	149	52	295	7,7	2,7	15,2
N_{90} K_{120} + навоз 50 т	140	51	301	7,4	2,7	15,8
N_{120} P_{30} K_{120} + навоз 50 т	155	61	336	7,2	2,8	15,7
N_{120} P_{30} K_{150} + навоз 50 т	163	59	341	7,0	2,5	14,8
N_{80+40} K_{120} + навоз 50 т	161	62	332	7,0	2,7	14,4
N_{80+40} P_{30} K_{120} + навоз 50 т	182	74	380	7,1	2,9	14,8
N_{80+40} P_{60} K_{150} + навоз 50 т	176	64	370	7,0	2,6	14,9
$N_{60+30+30}$ P_{60} K_{150} + навоз 50 т	186	78	385	7,5	3,1	15,5
$N_{диагн.}$ P_{60} K_{150} + навоз 50 т	179	74	378	7,2	3,0	15,3

Наименьший вынос по азоту получен в варианте без удобрений – 83 кг/га. При внесении азотных удобрений в дозе N_{90} на фоне K_{120} и $P_{30}K_{120}$ вынос азота составил 90–97 кг/га. Применение $N_{90}P_{30}K_{120}$ на фоне различных доз органических удобрений привело к увеличению общего выноса азота до 113–137 кг/га.

При применении органической системы удобрения (75 т/га соломистого навоза КРС) этот показатель составил 149 кг/га. Увеличение дозы азота с N_{90} до N_{120} способствовало повышению общего выноса до 155–186 кг/га. Максимальный размер общего выноса азота 186 кг/га получен в варианте, где азотные удобрения применяли в три срока (N_{60} – под нарезку гребней, N_{30} – в фазу бутонизации и N_{30} – в фазу цветения) на фоне $P_{60}K_{150}$ и 50 т/га навоза.

В варианте, где вносили $N_{90}K_{120}$, $N_{90}K_{120}$ и $N_{80+40}K_{120}$ на фоне 50 т/га навоза, общий вынос фосфора составил 27, 51 и 62 кг/га соответственно. Размер выноса фосфора 34–49 кг/га получен при внесении $N_{90}P_{30}K_{120}$ и $N_{90}P_{30}K_{120}$ на фоне различных доз органических удобрений. Использование $N_{60+30+30}P_{60}K_{150}$ на фоне 50 т/га навоза обеспечило максимальный общий вынос фосфора – 78 кг/га.

Общий вынос калия картофелем в варианте без удобрений составил 157 кг/га. Применение $N_{90}P_{30}K_{120}$ и $N_{90}P_{30}K_{120}$ на фоне различных доз органических удобрений обеспечило общий вынос калия 187–277 кг/га. Дальнейшее увеличение общего выноса до 341–385 кг/га отмечено при внесении калийных удобрений в дозе K_{150}. Максимальный общий вынос калия 385 кг/га получен в варианте, где применяли азотные удобрения в три срока $N_{60+30+30}$ на фоне $P_{60}K_{150}$ и 50 т/га органических удобрений.

Для расчета доз удобрений под планируемую урожайность важным показателем является удельный вынос элементов питания с 1 т основной и соответствующим количеством побочной продукции. В опыте с картофелем удельный вынос составил в среднем по вариантам 7,3 кг азота, 2,7 кг фосфора и 15,0 кг калия.

ВЫВОДЫ

В результате исследований установлено, что при возделывании картофеля на дерново-подзолистой супесчаной почве оптимальной системой удобрения является применение 50 т/га органических удобрений и минеральных удобрений в дозе $N_{80+40}P_{30}K_{120}$ (азотные удобрения вносили в два приема: N_{80} – под нарезку борозд, N_{40} – в фазу бутонизации). При такой системе удобрения получена самая высокая в опыте урожайность клубней 256 ц/га при содержании крахмала 16,2 %, чистом доходе 594,0 USD/га и рентабельности 119 %. При указанной системе удобрения удельный вынос основных элементов питания составил: азота – 7,1 кг/т, фосфора – 2,9 кг/т, калия – 14,8 кг/т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические регламенты для повышения плодородия почв и эффективного использования удобрений: учеб. пособие / В.В. Лапа [и др.]. – Горки: БГСХА, 2002. – 48 с.

2. Босак, В.Н. Влияние удобрений на продуктивность картофеля на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / В.Н. Босак // Картофелеводство: сб. науч. тр. / НПЦ НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству. – Минск, 2007. – Т. 13. – С. 120–125.

3. Настольная книга картофелевода / В.Г. Иванюк [и др.] / НПЦ НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству. – Минск: Рэйплац, 2007. – 191 с.

4. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сб. отраслевых регламентов / Ин-т аграр. экономики НАН Беларуси; рук. разраб.: В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Белорус. наука, 2005. – 460 с.

EFFICIENCY POTATOES FERTILIZATION ON SOD-PODZOLIC LOAMY SAND SOIL

A.I. Shchetko, A.R. Rybak

Summary

The optimum fertilizer system for the potatoes is an using 50 t/ha organic fertilizers and mineral fertilizers in dose $N_{80+40}P_{30}K_{120}$. Such fertilizer system allowed to receive in experience the most high productivity tubers 256 c/ha with the starch content of 16,2 %, net income 594,0 USD/ha and profitability 119 %. Specific removal of the main nutrients in given fertilizer system has formed: nitrogen – 7,1 kg/t, phosphorus – 2,9 kg/t, potassium – 14,8 kg/t.

Поступила 01.04.13

УДК 633.11:631.445.24

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИХ ИНОКУЛЯНТОВ НА ПОСЕВАХ ПШЕНИЦЫ НА ЭРОДИРОВАННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ НА МОРЕННЫХ СУГЛИНКАХ

Н.А. Михайловская[1], А.Ф. Черныш[1], О. Миканова[2], Т.Б. Барашенко[1], Е.Г. Тарасюк[1], С.В. Дюсова[1]

[1]Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь
[2]Институт растениеводства, г. Прага-Рузыне, Чехия

ВВЕДЕНИЕ

Фосфатмобилизующие микробные инокулянты привлекают интерес в первую очередь из-за возможности увеличения подвижности труднорастворимых почвенных фосфатов и улучшения фосфатного питания сельскохозяйственных культур [1]. Только 1–5 % от общего содержания фосфора в почве находятся в доступной для растений форме [2]. Микроорганизмы играют центральную роль в цикле фосфора, некоторые из них способны растворять неорганические фосфаты и мобилизовать фосфор, входящий в состав органических соединений [3]. Среди прокариотов основную группу Р-мобилизующих бактерий составляют *Pseudomonas, Bacillus* и *Rhizobium* [4], хотя способность к растворению фосфатов обнаружена у широкого круга бактерий, относящихся к другим родам.

Однако микробная фосфатмобилизация не всегда является доминирующим и тем более единственным фактором повышения урожайности при использовании фосфатмобилизующих инокулянтов [3]. Доказано выраженное гормональное

действие фосфатмобилизующих бактерий, в частности *Pseudomonas* и *Bacillus,* на инокулированные растения [4–8]. В ряде исследований отмечена тесная связь фитостимуляции и антистрессового действия фосфатмобилизующих инокулянтов. Индуцированное микробными фитогормонами увеличение длины и массы корней, числа и массы побегов [8, 9] способствует адаптации инокулированных растений в неблагоприятных экологических условиях, оказывая одновременно и антистрессовое действие [10, 11].

Среди факторов, приводящих к повышению урожайности при использовании фосфатмобилизующих бактерий, значительную роль может играть биоконтроль – их способность контролировать болезни растений, вызываемые грибковыми или бактериальными патогенами [5, 8, 12, 13]. Наиболее вероятно, что совместное действие разных факторов и определяет положительное влияние на продукционный процесс и повышение урожайности, наблюдаемое при использовании микробных удобрений.

Полученные нами изоляты фосфатмобилизующих бактерий характеризуются способностью к мобилизации труднодоступных форм почвенного фосфора [6] и проявляют значительный гормональный эффект [8], что было установлено в лабораторных экспериментах. Применение фосфатмобилизующих бактерий в полевых опытах с зерновыми культурами выявило их фунгистатическое действие на гельминтоспорозные корневые гнили [8, 14]. Лабораторные и полевые исследования подтвердили наличие различных приспособительных механизмов у изолятов фосфатмобилизующих бактерий из нашей коллекции, что позволяет ожидать их разностороннего положительного влияния на продукционный процесс и урожайность зерновых культур. Наши предыдущие исследования свидетельствуют также, что наибольшая отдача от фосфатмобилизующих инокулянтов отмечается в стрессовых условиях, например, при дефиците подвижного фосфора в почве [8, 14].

Принимая во внимание перечисленные факты, можно предполагать, что применение Р-мобилизующих инокулянтов будет эффективным при возделывании зерновых культур на эродированных почвах, где растения подвержены стрессу не только в отношении дефицита фосфора, но и других элементов питания вследствие развития эрозии.

Цель исследований – установить влияние фосфатмобилизующих инокулянтов на урожайность яровой и озимой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках при разных системах удобрения, а также оценить фитопатологическое состояние посевов по показателям распространения и развития корневых гнилей.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в стационарном полевом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на мощных моренных суглинках (СПК «Межаны», Браславский р-н, Витебская обл.). Опыт развернут в двух полях. В 2011 г. на первом поле возделывали яровую пшеницу сорта Тома, в 2012 г. на втором поле – озимую пшеницу сорта Богатка. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы представлена в таблице 1.

Таблица 1

Агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы на моренных суглинках (СПК «Межаны», 2011–2012 гг.)

Почвы	Гумус, %	pH	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
			мг/кг			
Неэродированная	2,10–2,06	6,2–6,3	260–280	175–185	1020–1050	283–290
Среднеэродированная	1,84–1,82	6,2–6,1	200–221	147–151	983–990	244–252
Сильноэродированная	1,51–1,56	6,1–6,0	165–177	123–127	925–940	231–240

Стационар заложен по геоморфологическому профилю от водораздельной равнины до подножья склона. Повторность в опыте четырехкратная, общая площадь делянок на водоразделе – 50 м^2, на верхней и средней частях склона – 40 м^2, в нижней части склона – 30 м^2. Размеры учетных делянок: на водоразделе – 35 м^2, на верхней и средней частях склона – 30 м^2, в нижней части склона – 25 м^2.

Действие фосфатмобилизующих бактерий изучено на водоразделе, средне- и сильноэродированной почвах на вариантах с разными системами удобрения – минеральной ($N_{70+20}P_{50}K_{120}$), органической (навоз, 30 т/га) и органо-минеральной ($N_{70+20}P_{50}K_{120}$+навоз). Исследования проводили на зерновых культурах в звене травяно-зернового севооборота со следующим чередованием культур: яровые зерновые, вико-овсяная смесь, озимые зерновые + многолетние травы, многолетние травы 1-го и 2-го г.п. Навоз вносили под зерновые культуры.

Жидкие концентрированные удобрения на основе изолятов фосфатмобилизующих бактерий из собственной коллекции (*Pseudomonas* sp.) изготовлены в лабораторных условиях. Способ внесения фосфатмобилизующих инокулянтов – обработка посевов. В 2011 г. обработка яровой пшеницы проведена в фазе всходы – начало кущения. Титр препарата – 7,9 х 10^8 КОЕ/мл. В 2012 г. обработка озимой пшеницы проведена весной в фазе кущения. Титр препарата – 1,2 х 10^9 КОЕ/мл. Состав рабочей смеси из расчета на 1 га: 1 л препарата фосфатмобилизующих бактерий + 150–200 л воды.

Учет показателей распространения и развития гельминтоспорозных корневых гнилей проводили в фазу молочно-восковой спелости зерновых культур на 100 растениях, отобранных в 5 точках каждого варианта опыта. Выемку вместе с почвой раскладывали на бумаге, растения отряхивали, отмывали от почвы и помещали на 30 мин в воду, подсушивали и затем проводили учет. Интенсивность поражения отобранных растений корневыми гнилями оценивали в баллах по шкале ВИЗР [15].

Для оценки распространения корневых гнилей и степени поражения растений использовали следующие формулы:

$$P = (a \times 100) / N,$$

где P – распространение болезни, %;

a – количество больных растений;

N – общее число исследуемых растений;

$$R = [\Sigma (ab) \times 100] / NK,$$

где R – развитие болезни, %;
a – число пораженных растений;
b – балл поражения;
N – общее количество исследованных растений;
К – высший балл шкалы степени развития болезни.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В полевом опыте проведена оценка эффективности применения фосфатмобилизующих инокулянтов на посевах яровой и озимой пшеницы в зависимости от системы удобрения и степени эродированности дерново-подзолистой почвы, сформированной на мощных моренных суглинках.

В целом применение фосфатмобилизующих бактерий приводило к повышению урожайности пшеницы на водоразделе, средне- и сильноэродированной почвах при всех изученных системах удобрения. Урожайность и величина прибавки от бактеризации посевов зависели от степени эродированности почвы и системы удобрения.

Сравнение по системам удобрения показало, что на вариантах без внесения фосфатмобилизующих бактерий наиболее высокая урожайность яровой пшеницы (2011 г.) по катене получена при органо-минеральной системе удобрения ($N_{70+20}P_{50}K_{120}$ + навоз) – 36,5–44,2 ц/га, при минеральной и органической системах удобрения урожайность по катене снижалась до 33,6–38,7 и 29,1–38,4 ц/га соответственно и на контроле без удобрений составила 25,1–34,6 ц/га (табл. 2).

Аналогичные закономерности были отмечены на вариантах с применением фосфатмобилизующих бактерий при возделывании яровой пшеницы. Наиболее высокий уровень урожайности (42,5–51,0 ц/га) и прибавок от бактеризации (5,3–6,8 ц/га) отмечен при органо-минеральной системе удобрения ($N_{70+20}P_{50}K_{120}$ + навоз) по сравнению с контролем без бактеризации. При минеральной системе удобрения ($N_{70+20}P_{50}K_{120}$) урожайность зерна составила 38,4–44,0 ц/га, прибавки от бактеризации посевов – 4,6–5,3 ц/га, при органической системе удобрения – 31,9–42,0 ц/га, на контроле без удобрений – 28,3–38,1 ц/га.

При сравнении урожайных данных по элементам склона выявлено, что наиболее высокая урожайность яровой пшеницы и прибавки от внесения фосфатмобилизующих бактерий получены на неэродированной почве – 38,1–51,0 и 3,5–6,8 ц/га зерна соответственно. На эродированных почвах уровень прибавок от бактеризации посевов снижался, на среднеэродированных – они варьировали в пределах 2,1–5,3 ц/га, на сильноэродированных – в пределах 2,8–6,4 ц/га. Несмотря на то, что уровень прибавок от бактеризации на эродированных почвах ниже, следует отметить, что потенциал фосфатмобилизующих бактерий хорошо реализуется на сильноэродированных почвах, особенно при органо-минеральной системе удобрения, где прибавка зерна достигала 6,4 ц/га и по величине приближалась к уровню прибавки, полученной на водоразделе (6,8 ц/га). При минеральной системе удобрения на средне- и сильноэродированных почвах получены близкие прибавки урожайности зерна – 4,6 и 4,8 ц/га соответственно (табл. 2).

Таким образом, на разных элементах склона потенциальные возможности фосфатмобилизующих бактерий на яровой пшенице лучше реализовались при органо-минеральной системе удобрения и далее в убывающем порядке – при минеральной и органической; прибавки от бактеризации посевов составили 5,3–6,8 ц/га, 4,6–5,3 ц/га и 2,8–3,6 ц/га соответственно. При сравнении по элементам склона наиболее высокая урожайность яровой пшеницы и прибавки от внесения фосфатмобилизующих бактерий получены на неэродированной почве – 38,1–51,0 и 3,5–6,8 ц/га зерна соответственно. На эродированных почвах уровень прибавок от бактеризации снижался, они дифференцировались следующим образом: наиболее значимыми были при органо-минеральной системе удобрения – 5,3–6,4 ц/га, при минеральной (4,6–4,8 ц/га) и органической (2,8–3,1 ц/га) – снижались (табл. 2).

Таблица 2

Влияние Р-мобилизующего инокулянта на урожайность яровой пшеницы на дерново-подзолистой почве на моренных суглинках разной степени эродированности (СПК «Межаны», 2011 г.)

Почва	Урожайность, ц/га		Прибавка, ц/га
	Без бактеризации	Бактеризация	
	Контроль		
Неэродированная	34,6	38,1	3,5
Среднеэродированная	28,1	30,2	2,1
Сильноэродированная	25,1	28,3	3,2
	Навоз, 30 т/га		
Неэродированная	38,4	42,0	3,6
Среднеэродированная	31,7	34,8	3,1
Сильноэродированная	29,1	31,9	2,8
	$N_{70+20}P_{50}K_{120}$		
Неэродированная	38,7	44,0	5,3
Среднеэродированная	34,0	38,6	4,6
Сильноэродированная	33,6	38,4	4,8
	$N_{70+20}P_{50}K_{120}$ + навоз		
Неэродированная	44,2	51,0	6,8
Среднеэродированная	37,2	42,5	5,3
Сильноэродированная	36,5	42,9	6,4
$НСР_{05}$ фактор А (почва) – 1,6 фактор В (бактеризация) – 1,8			

В 2012 г. в полевом опыте возделывали озимую пшеницу Богатка. На озимой культуре в большинстве случаев отмечены сходные закономерности. Внесение фосфатмобилизующих бактерий путем обработки посевов весной в фазе кущения обеспечивало прибавки урожайности озимой пшеницы на всех элементах склона и при разных системах удобрения. При органо-минеральной системе удобрения ($N_{70+20}P_{50}K_{120}$ + навоз) также отмечена наилучшая реализации потенциала актериального удобрения: наиболее высокая урожайность зерна (48,8 ц/га) и прибавка от бактеризации 3,6 ц/га получены на неэродированной почве, на среднеэродированной – 3,4 ц/га и на сильноэродированной – 2,9 ц/га. При минеральной системе удобрения прибавки составили: на водоразделе – 3,5 ц/га зерна, на среднеэродированной почве – 2,4 ц/га и на сильноэродированной – 2,6 ц/га. При органической системе удобрения (30 т/га навоза) прибавки были ниже, чем при минеральной и органо-минеральной (табл. 3).

Таблица 3

Влияние Р-мобилизующего инокулянта на урожайность озимой пшеницы на дерново-подзолистой почве на моренных суглинках разной степени эродированности (СПК «Межаны», 2012 г.)

Почва	Урожайность, ц/га		Прибавка, ц/га
	Без бактеризации	Бактеризация	
	Контроль		
Неэродированная	37,9	40,0	2,1
Среднеэродированная	32,1	34,4	2,3
Сильноэродированная	30,1	32,1	2,0
	Навоз, 30 т/га		
Неэродированная	39,8	42,1	2,3
Среднеэродированная	34,1	36,5	2,4
Сильноэродированная	31,2	33,3	2,1
	$N_{70+20}P_{50}K_{120}$		
Неэродированная	44,2	47,7	3,5
Среднеэродированная	34,4	36,8	2,4
Сильноэродированная	34,3	36,9	2,6
	$N_{70+20}P_{50}K_{120}$ + навоз		
Неэродированная	45,2	48,8	3,6
Среднеэродированная	37,6	41,0	3,4
Сильноэродированная	36,5	39,4	2,9
$НСР_{05}$ фактор А (почва) – 2,7 фактор В (бактеризация) – 1,9			

Оценивая наиболее вероятные факторы положительного влияния фосфатмобилизующих инокулянтов на урожайность, можно предположить, что на водоразделе, где содержание подвижного фосфора составило 260–280 мг/кг (табл. 1), доминирующим механизмом является гормональный эффект. В лабораторных экспериментах, проведенных нами ранее, изоляты *Pseudomonas* sp. индуцировали значительный гормональный эффект, приводивший к увеличению объема корней инокулированных растений на 14–30 %, биомассы корней – на 11–32 %, биомассы надземной части растения – на 6–19 % по сравнению с контролем без инокуляции [7], что существенно повышало их адаптивные возможности в отношении использования элементов минерального питания и воды.

На средне- и сильноэродированных почвах, где содержание P_2O_5 снижается до 200–221 и 165–177 мг/кг соответственно (табл. 1), повышение урожайности связано также и с процессами микробной мобилизации фосфора. Это подтверждается нашими данными, полученными при испытании фосфатмобилизующих бактерий в полевых опытах с разными уровнями обеспеченности почвы подвижными фосфатами, в диапазоне 200–400 мг/кг, где наибольший эффект от бактеризации по влиянию на урожайность зерновых культур отмечали при содержании подвижного фосфора около 200 мг/кг почвы [8, 14].

К факторам положительного действия фосфатмобилизующих бактерий *Pseudomonas* sp, приводящим к повышению урожайности сельскохозяйственных культур, следует отнести также их фунгистатическое действие на корневые гнили [5, 8, 12, 13]. В стрессовых условиях, на сильноэродированных почвах, внесенный фосфатмобилизующий инокулянт обеспечивает повышение урожайности пшеницы не только за счет фитостимуляции и фосфатмобилизации, но и за счет биоконтроля.

К настоящему времени установлено, что механизмы, ответственные за биоконтроль, могут включать конкуренцию за элементы питания, за экологическую нишу, а также за индуцированную системную устойчивость или экскрецию антифунгальных метаболитов [8, 12, 13].

Ранее в полевых опытах с ячменем и яровой пшеницей было отмечено, что изоляты *Pseudomonas* sp. (наша коллекция) проявляли фунгистатическое действие на гельминтоспорозные корневые гнили – на посевах ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве показатели распространения корневых гнилей по площади и их развитие на отдельных растениях снижались на 10,4–13,2 % и на 3,0–7,4 % соответственно [8]; на посевах яровой пшеницы на дерново-подзолистой супесчаной почве распространение болезни снижалось в 3–3,4 раза, развитие на отдельных растениях – в 2,2–2,6 раза [14].

К настоящему времени основные агенты биоконтроля, характерные для представителей рода *Pseudomonas,* хорошо охарактеризованы на молекулярном уровне. В количественном отношении среди идентифицированных агентов биоконтроля (AFMs) у *Pseudomonas* преобладают феназины, пирролнитрин, 2,4-диацетилфлороглюцинол (DAPG) [20] и пьюлюткорин [19]. Недавно были открыты новые классы химических соединений, ответственных за биоконтроль у *Pseudomonas,* – циклические липопептиды, такие как вискозинамид [16, 18] и тензин [17]. Генетические основы биосинтеза AFMs, наиболее часто обнаруживаемых у представителей *Pseudomonas,* достаточно хорошо выяснены.

В связи с этим в задачи исследований входила оценка фитопатологического состояния посевов яровой и озимой пшеницы в отношении распространения и развития гельминтоспорозных корневых гнилей. Полученные данные подтвердили, что положительное влияние изученных фосфатмобилизующих бактерий на урожайность зерновых культур может быть обусловлено также их фунгистатическим действием на корневые гнили.

В 2011 г. был проведен учет распространения и развития корневых гнилей в посевах яровой пшеницы. Установлено, что наиболее значимое фунгистатическое действие Р-мобилизующих бактерий отмечено на сильноэродированной почве при органо-минеральной системе удобрения – распространение корневых гнилей снижалось на 4,0 %, на среднеэродированной почве – на 3,8 % (табл. 4). Наибольший эффект на показатели развития болезней установлен также на сильноэродированной почве – снижение составило 3,6 % и 3,8 % при органо-минеральной и минеральной системах удобрения соответственно, на других элементах склона указанные показатели снижались на 2,2–2,8 % (табл. 5).

Тот факт, что при всех изученных системах удобрения наибольший фунгистатический эффект от внесения Р-мобилизующих бактерий отмечен на сильноэродированной почве может свидетельствовать о том, что в стрессовых условиях, наряду с фитостимуляцией и фосфатмобилизацией, повышение урожайности яровой пшеницы связано и с биоконтролем. Интродуцированные бактерии способны контролировать распространение и развитие болезни и оказывать фунгистатическое действие на деятельность грибковых фитопатогенов за счет антагонизма. Выживание интродуцированных микроорганизмов в конкурентных условиях ризоплана и ризосферы связано с биосинтезом антимикробных метаболитов. Как правило, микробные инокулянты не способны к полному уничтожению популяции фитопатогена, но они ограничивают их развитие, снижая их негативное влияние на урожайность.

Таблица 4

Влияние Р-мобилизующих инокулянтов на распространение корневых гнилей на посевах яровой пшеницы (СПК «Межаны», 2011 г.), %

Вариант	Неэродированная	Средне-эродированная	Сильно-эродированная
Контроль			
Контроль	20,4	23,9	25,4
Бактеризация	18,5	22,0	22,8
Снижение	1,9	1,9	2,6
$N_{70+20}P_{50}K_{120}$			
Контроль	25,2	26,3	26,8
Бактеризация	22,8	23,5	23,6
Снижение	2,4	2,8	3,2

Окончание табл. 4

Вариант	Неэродированная	Средне-эродированная	Сильно-эродированная
Навоз, 30 т/га			
Контроль	27,3	28,0	29,5
Бактеризация	25,3	25,9	26,7
Снижение	2,0	2,1	2,8
$N_{70+20}P_{50}K_{120}$ + навоз			
Контроль	31,7	32,2	35,6
Бактеризация	28,5	28,4	31,6
Снижение	3,2	3,8	4,0
$НСР_{05}$	1,3		

Таблица 5

Влияние Р-мобилизующих бактерий на развитие корневых гнилей на посевах яровой пшеницы (СПК «Межаны», 2011 г.), %

Вариант	Неэродированная	Средне-эродированная	Сильно-эродированная
Контроль			
Контроль	5,5	5,9	6,4
Бактеризация	4,2	4,0	4,2
Снижение	1,3	1,9	2,2
$N_{70+20}P_{50}K_{120}$			
Контроль	6,0	6,8	8,2
Бактеризация	3,8	4,2	4,4
Снижение	2,2	2,6	3,8
Навоз, 30 т/га			
Контроль	6,9	7,8	9,5
Бактеризация	5,4	6,0	7,3
Снижение	1,5	1,8	2,2
$N_{70+20}P_{50}K_{120}$ + навоз			
Контроль	7,1	8,6	12,8
Бактеризация	4,7	5,8	9,2
Снижение	2,4	2,8	3,6
$НСР_{05}$	0,4		

В 2012 г. проведен учет распространения и развития корневых гнилей в посевах озимой пшеницы. Наибольший фунгистатический эффект от применения Р-мобилизующих бактерий отмечен на сильноэродированной почве при органоминеральной системе удобрения ($N_{70+20}P_{50}K_{120}$ + навоз) – распространение корневых гнилей снижалось на 4,5 %, на среднеэродированной почве – на 3,6 % (табл. 6). Наибольший эффект на показатели развития болезней установлен также на сильноэродированной почве – снижение составило 4,3 % и 4,5 % при органоминеральной и минеральной системах удобрения соответственно, на других элементах склона – 2,9–3,5 % (табл. 7). Это подтверждают полученные урожайные данные.

Таблица 6

Влияние Р-мобилизующих инокулянтов на распространение корневых гнилей на посевах озимой пшеницы (СПК «Межаны», 2012 г.), %

Вариант	Неэродированная	Средне-эродированная	Сильно-эродированная
Контроль			
Контроль	34,4	35,8	34,5
Бактеризация	31,6	32,9	31,3
Снижение	2,8	2,9	3,2
$N_{70+20}P_{50}K_{120}$			
Контроль	35,8	36,2	38,8
Бактеризация	32,6	33,2	35,4
Снижение	3,2	3,0	3,4
Навоз, 30 т/га			
Контроль	36,2	36,4	38,3
Бактеризация	33,6	34,2	34,9
Снижение	2,6	2,2	3,4
$N_{70+20}P_{50}K_{120}$ + навоз			
Контроль	36,3	38,2	38,4
Бактеризация	32,9	34,6	33,9
Снижение	3,4	3,6	4,5
$НСР_{05}$	1,7		

Таблица 7

Влияние Р-мобилизующих бактерий на развитие корневых гнилей на посевах озимой пшеницы (СПК «Межаны», 2012 г.)

Вариант	Неэродированная	Средне-эродированная	Сильно-эродированная
Контроль			
Контроль	8,2	9,5	10,3
Бактеризация	6,7	7,1	7,7
Снижение	1,5	2,4	2,6
$N_{70+20}P_{50}K_{120}$			
Контроль	9,3	10,8	14,3
Бактеризация	6,4	7,5	9,8
Снижение	2,9	3,3	4,5
Навоз, 30 т/га			
Контроль	10,5	13,2	15,4
Бактеризация	8,0	10,5	12,3
Снижение	2,5	2,7	3,1
$N_{70+20}P_{50}K_{120}$ + навоз			
Контроль	12,8	14,8	16,6
Бактеризация	9,5	11,3	12,3
Снижение	3,3	3,5	4,3
$НСР_{05}$	0,5		

Таким образом, установлена эффективность фосфатмобилизующего инокулянта по влиянию на урожайность и фитопатологическое состояние посевов яровой и озимой пшеницы при разных системах удобрения на эродированных дерново-подзолистых почвах, сформированных на моренных суглинках.

ВЫВОДЫ

Применение фосфатмобилизующих бактерий приводило к повышению урожайности яровой и озимой пшеницы на водоразделе, средне- и сильноэродированной почвах при органической, минеральной и органо-минеральной системах удобрения. Урожайность и прибавки от бактеризации посевов зависели от степени эродированности почвы и системы удобрения.

На всех элементах склона потенциальные возможности фосфатмобилизующих бактерий лучше реализовались при органо-минеральной системе удобрения, далее в убывающем порядке – при минеральной и органической.

Наиболее высокую урожайность и прибавки от внесения фосфатмобилизующих бактерий отмечали на неэродированной почве при разных системах удобрения: на яровой пшенице – 42–51 и 3,6–6,8 ц/га, на озимой пшенице – 42,1–48,8 и 2,3–3,6 ц/га зерна соответственно.

На эродированных почвах прибавки от бактеризации снижались и дифференцировались следующим образом: наиболее значимые при органо-минеральной системе удобрения – 5,3–6,4 ц/га (яровая пшеница) и 2,9–3,4 ц/га (озимая пшеница), далее при минеральной – 4,6–4,8 ц/га и 2,4–2,6 ц/га, при органической – 2,8–3,1 ц/га и 2,1–2,4 ц/га соответственно.

Внесение фосфатмобилизующих инокулянтов обеспечивало снижение показателей распространения и развития гельминтоспорозных корневых гнилей в посевах яровой и озимой пшеницы. Наибольший фунгистатический эффект отмечен на сильноэродированных почвах при органо-минеральной и минеральной системах удобрения – на яровой пшенице распространение болезни снижалось на 4,0 и 3,2 %, развитие – на 3,6 % и 3,8 %; на озимой пшенице распространение болезни – на 4,5 % и 3,4 %, развитие – на 4,3 % и 4,5 % соответственно.

При использовании фосфатмобилизующих инокулянтов вклад в повышение урожайности пшеницы обеспечивают следующие факторы: стимуляция роста, микробная мобилизация фосфора и фунгистатическое действие на корневые гнили, значимость которых варьирует в зависимости от экологических условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khan, M.S. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture / M.S. Khan, A. Zaidi. P.A. Wani // Agron. Sustain. Dev. – 2007. – Vol. 27. – P. 29–43.

2. Novel approaches for analysis of biodiversity of phosphate-solubilizing bacteria / M.-H. Ramirez-Bahena [et al.] // Phosphate Solubilizing Microbes for Crop Improvement / Nova Science Publishers; eds. M.S. Khan, A. Zaidi. – 2009. – P. 15–40.

3. Gaur, A.C. Phosphate solubilizing microorganisms as biofertilizers / A.C. Gaur. – New Delhi: Omega Sci. Publishers, 1990. – 283 p.

4. Rodriguez, H. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion / H. Rodriguez, R. Fraga // Biotechnol. Adv. – 1999. – Vol. 17. – P. 319–339.

5. Bloemberg, G.V. Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria / G.V. Bloemberg, B.J.J. Lugtenberg // Currect Opinion in Plant Biology. – 2001. – № 4. – P. 343–250.

6. Mikanová, O. Phosphorus Solubilizing Microorganisms and their Role in Plant Growth Promotion / O. Mikanová, J. Kubát // Microbial Biotechnology in Agriculture and Aquaculture / Science Publishers; eds. R.C. Ray. – USA: New Hampshire. – 2006. – Vol. II. – P. 111–145.

7. Свойства фосфатмобилизующих бактерий и их влияние на урожайность зерновых культур на дерново-подзолистых супесчаных почвах / Н.А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 2(47). – С. 120–129.

8. Влияние фосфатмобилизующих бактерий на ростовые процессы, урожайность и фитосанитарное состояние посевов зерновых культур на дерново-подзолистых супесчаных почвах / Н.А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 1(48). – С. 136–149.

9. Gibberellin production and phosphate solubilization by newly isolated strain of Acinetobacter calcoaceticus and its effect on plant growth / S.M. Kang [et al.] // Biotechnol. Letters. – 2007. – Vol. 31. – P. 277–281.

10. Bergman, H. Interrelationships between Microorganisms and Plants in Soil / H. Bergman // Proc. Intern. Symp., Liblice, Chechoslovakia, June 22–27, 1987/1989. – P. 475.

11. Bates, L.S. Determination of free proline for water-stress studies / L.S. Bates, R.P. Waldren, I.D. Teare // Plant Soil. – 1973. – Vol. 39. – P. 205–207.

12. Duffy, B. Environmental factors modulating antibiotic and siderophore biosysthesis by *Pseudomonas fluorescens* biocontrol strain / B. Duffy, G. Defago // Appl. Environ. Microbiol. – 1999. – Vol. 65. – P. 2429–2438.

13. Van Loon, L.C. Systematic resistance induced by rhizosphere bacteria / L.C. van Loon, P.A.H.M., Bakker, C.M.J. Pieterse // Annu. Rev. Phytopathol. – 1998. – Vol. 36. – P. 452–483.

14. Михайловская, Н.А. Влияние ризобактерий на фитопатологическое состояние посевов яровой пшеницы / Н.А. Михайловская, Е.Г. Тарасюк, С.В. Тарасюк // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 34. – С. 259–262.

15. Практикум по защите растений / Н.Г. Берим [и др.]. – Л.: Колос, 1980. – 247 с.

16. Viscozinamide, a new cyclic depsipeptide with surfactant and antifungal properties produced by *Pseudomonas fluorescens* DR54 / T.H. Nielsen [et al.] // J. Appl. Microbiol. – 1999. – № 87. – P. 80–90.

17. Structure, production characteristics and fungal antagonism of tensin – a new cyclic lipopeptide from *Pseudomonas fluorescens* strain 96.578 / T.H. Nielsen [et al.] // J. Appl. Microbiol. – 2000. – № 89. – P. 992–1001.

18. Viscozinamide-producing Structure, production characteristics and fungal antagonism of tensin – a new cyclic lipopeptide from *Pseudomonas fluorescens* strain 96.578 / C. Thrane [et al.] // J. Appl. Microbiol. – 2000. – № 89. – P. 992–1001.

19. Characterization of the pyolutcorin biosynthetic gene cluster of *Pseudomonas fluorescens* Pf5 / B. Nowak-Thompson [et al.] // J. Bacteriol. – 1999. – № 181. – P. 2166–2174.

20. Bangera, M.G. Identification and characterization of a gene cluster for synthesis of the polyketide antibiotic 2,4-diacetilphloroglucinol from *Pseudomonas fluorescens* Q2–87 / M.G. Bangera, I.S. Thomashow // J. Bacteriol. – 1999. – № 181. – P. 3155–3163.

EFFECTIVENESS OF PHOSPHORUS SOLUBILIZING INOCULANTS APPLICATION FOR WHEAT GROWING ON ERODED LUVISOL SANDY LOAM SOILS

N.A. Mikhailouskaya, A.F. Chernysh, O. Mikanova, T.B. Barashenko, E.G. Tarasyuk, S.V. Dyusova

Summary

Effectiveness of phosphorus solubilizing inoculant was studied in the field experiment on luvisol loamy sand soils characterized by different erosion degrees. Application of phosphorus solubilizing bacteria resulted in the increase of winter and

spring wheat yields on watershed, medium- and severely eroded soils under organic, mineral and organic-mineral fertilizer systems. Yields and values of responses to inoculation depended on slope elements and fertilizer system.

Поступила 04.04.13

УДК 633.16+633.367:632.15

НАКОПЛЕНИЕ РАСТЕНИЯМИ ЯЧМЕНЯ И ЛЮПИНА ЦИНКА, МЕДИ И СВИНЦА ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ЭТИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Н.К. Лукашенко[1], С.Е. Головатый[2], З.С. Ковалевич[3], Т.М. Минкина[4], Г.В. Мотузова[5], С.С. Манджиева[4], В.В. Чаплыгин[4]

[1]Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь
[2]Международный государственный экологический университет им. А.Д. Сахарова, г. Минск, Беларусь
[3]Международный университет «МИТСО», г. Минск, Беларусь
[4]Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
[5]Московский государственный университет, г. Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ

Среди экологических проблем защиты окружающей среды от техногенного загрязнения все большее внимание уделяется агроэкосистемам – основным факторам обеспечения продовольственной безопасности государств.

В первых рядах самых опасных техногенных загрязняющих веществ стоят тяжелые металлы (ТМ). Наиболее высокими темпами в агроэкосистемах идет накопление Pb, Cd, Hg, As, Cu, Zn. В России содержание в почвах Pb и Cu, превышающее ПДК, отмечено на 1–2 % площадей пахотных угодий, содержание Cd, Ni, Cr, Zn, Hg выше ПДК – на не более 1 % пахотных земель [1]. Исследования, выполненные в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» Республики Беларусь, показали, что около 11 % всех обследованных сельскохозяйственных земель (дерново-подзолистые почвы) имеют избыточное содержание подвижных форм меди (> 5 мг/кг), около 12 % – избыточное содержание подвижного цинка (> 10 мг/кг) [2]. Почвы с одновременным избытком меди и цинка составляют около 9 % всех обследованных земель. Количество минеральных почв, в которых содержание цинка и меди превышает ориентировочно допустимые концентрации (ОДК), составляет соответственно 0,7 и 0,9 % от всех обследованных сельскохозяйственных земель.

За период интенсивной химизации сельского хозяйства в Республике Беларусь отмечается положительный ежегодный баланс ТМ в пахотном горизонте минеральных почв, который для Cd, Pb, Zn и Cu составляет соответственно 5,1; 162,1; 692,3 и 192,0 г/га [2].

Избыточное накопление ТМ в растениеводческой продукции, которая используется для кормовых и продовольственных целей, представляет серьезную угрозу здоровью человека и животных. Известно негативное влияние ТМ на обменные процессы в организме человека и животных, приводящее к токсикозам, соматическим и генетическим заболеваниям, а зачастую и к полной гибели организма. Критерием безопасности в отношении ТМ в продуктах питания и кормах являются узаконенные в государствах максимально допустимые медицинские и ветеринарные уровни содержания этих элементов (ПДК, МДУ) для отдельных видов кормов и групп продовольствия.

Почвы ввиду своих генетических особенностей и агрохимических свойств различаются по общему содержанию, а также по содержанию подвижных и доступных растениям форм ТМ. Доступность ТМ растениям определяется их общими запасами в почве, скоростью десорбции из твердых фаз в жидкие, концентрацией в почвенном растворе [3, 4]. Для определения содержания в почве доступных растениям соединений металлов используют показатели перехода их в вытяжки, извлекающие металлы непрочно связанные с почвенными компонентами (подвижные формы). Экстрагенты для выделения подвижных форм ТМ разработаны с учетом специфических особенностей почвы [5].

Растения, произрастающие в условиях избытка ТМ, проявляют различную видовую устойчивость к ним. На этом основании они подразделяются на аккумуляторы (накопители), исключители (отражатели) и индикаторы. Аккумуляторы отличаются повышенной способностью накапливать металлы в растительных органах. У исключителей поступление токсикантов в надземную массу задерживается и остается на низком уровне в широком диапазоне концентраций этих элементов во внешней среде. У растений-индикаторов поглощение и транспорт тяжелых металлов в надземную часть происходит пропорционально их концентрации в почве [6].

Для прогнозирования накопления ТМ в растениеводческой продукции возникает объективная необходимость изучения поведения ТМ в системе почва-растение. Количественная оценка накопления ТМ в продукции базируется на изучении взаимосвязи между их состоянием в почве и накоплением в растениях. Результаты исследований послужат объективным критерием определения пригодности загрязненных почв для сельскохозяйственного использования.

Цель настоящих исследований состояла в установлении степени накопления Cu, Zn и Pb растениями ячменя при разных уровнях моноэлементного загрязнения чернозема обыкновенного и каштановой среднесолонцеватой почвы в условиях южной части России, растениями люпина – при разных уровнях моноэлементного загрязнения дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почвы в условиях Беларуси, в выявлении связи между формами соединений ТМ в почве и накоплением их в растениях.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследований были выбраны: чернозем обыкновенный, каштановая почва Ростовской области и яровой ячмень сорта Одесский–100, дерново-подзолистая почва Минской области и кормовой люпин сорта Янтарь.

Исследуемые почвы: 1) чернозем обыкновенный карбонатный мощный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке (учхоз «Донское» Октябрьского р-на, Ростовской обл., Россия), имеющий следующие свойства: 3,9 % гумуса; 53,1 % физической глины; 32,4 % ила; 0,4 % $CaCO_3$; pH_{KCl} 7,5; состав обменных оснований (мг-экв/100 г): 29,5 Ca^{2+}, 5,5 Mg^{2+}, 0,1 Na^{+}; содержание $N–NO_3$ – 0,8 мг/100 г, P_2O_5 – 32 мг/кг, K_2O – 248 мг/кг. Почва характеризуется как близкая к нейтральной, низкообеспеченная по гумусу, среднеобеспеченная по фосфору и калию. Валовое содержание Pb, Zn и Cu соответствует фоновому уровню для черноземов обыкновенных [7, 8];

2) каштановая среднемощная среднесолонцеватая среднесуглинистая на лессовидном суглинке (АО «Прогресс» Зимовниковского р-на, Ростовской обл., Россия), содержащая 2,6 % гумуса; 47,7 % физической глины; 29,5 % ила; 0,1 % $CaCO_3$; pH_{KCl} 7,8; состав обменных оснований (мг–экв/100 г): 20,2 Ca^{2+}, 4,5 Mg^{2+}, 2,4 Na^{+}; содержание $N\text{-}NO_3$ – 0,6 мг/100 г; P_2O_5 – 12 мг/кг; K_2O – 380 мг/кг. Почва характеризуется как слабощелочная, низкообеспеченная по гумусу и фосфору, с повышенным содержанием калия. Валовое содержание Pb, Zn и Cu соответствует фоновому уровню для каштановых почв [7, 8];

3) дерново-подзолистая супесчаная почва, развивающаяся на водноледниковых рыхлых супесях, подстилаемых с глубины 1 м моренным суглинком, сменяемым песком (РУП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района, Минской обл., Беларусь), содержащая 2,1 % гумуса; pH_{KCl} 6,2; P_2O_5 – 130,8 мг/кг, K_2O – 131,1 мг/кг; Zn вал. – 20,2 мг/кг, Zn подв. – 6,7 мг/кг, Zn обм. – 5,0 мг/кг; Cu вал. – 5,9 мг/кг, Cu подв. – 2,8 мг/кг, Cu обм. – 0,5 мг/кг; Pb вал. – 9,9 мг/кг, Pb подв. – 4,7 мг/кг, Pb обм. – 2,2 мг/кг. Почва по степени кислотности характеризуется как близкая к нейтральной, среднеобеспеченная по гумусу и фосфору, низкообеспеченная по калию. Содержание Pb, Zn и Cu – на уровне фонового для супесчаных почв Беларуси [9];

4) дерново-подзолистая легкосуглинистая почва, развивающаяся на легких пылеватых суглинках (СПК «Щемыслица» Минского района, Беларусь), содержащая 2,1 % гумуса; pH 6,0; P_2O_5 – 250,8 мг/кг, K_2O – 153,4 мг/кг; Zn вал. – 33,1 мг/кг, Zn подв. – 9,1 мг/кг, Zn обм. – 4,0 мг/кг; Cu вал. – 7,3 мг/кг, Cu подв. – 2,8 мг/кг, Cu обм. – 0,5 мг/кг; Pb вал. – 14,3 мг/кг, Pb подв. – 5,6 мг/кг, Pb обм. – 1,4 мг/кг. Почва по степени кислотности характеризуется как слабокислая, среднеобеспеченная по гумусу, высокообеспеченная по фосфору, среднеобеспеченная по калию. Валовое содержание Pb, Zn и Cu – на уровне фонового для суглинистых почв Беларуси [9].

Исследования проводили в вегетационных условиях. Растения выращивали в сосудах с массой почвы 6 кг. Дозы внесения Cu, Zn и Pb соотнесены с имеющимся уровнем загрязнения почв и предельно допустимыми концентрациями (ПДК) России и Республики Беларусь [10–12]. Металлы в изучаемые почвы вносили в виде водорастворимых солей: уксуснокислого свинца ($Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$), сернокислой меди ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) и сернокислого цинка ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$). Повторность в опытах 3-5-кратная.

В период вегетации влажность почвы поддерживали на уровне 60 % от наименьшей влагоемкости. Почвенные образцы были отобраны и проанализированы после уборки урожая. Ячмень убирали в фазу восковой спелости, люпин на зеленую массу – в начале образования сизых бобов, на зерно – в фазу созревания зерна.

Общее содержание ТМ в почве определяли после разложения проб смесью кислот (HF + $HClO_4$). Содержание металлов, непрочно связанных с почвенным компонентами, характеризующих потенциальный запас их подвижных соединений, определяли в составе вытяжек (параллельная экстракция) ацетатно-аммонийного буфера (CH_3COONH_4) – ААБ, pH 4,8 и соляной кислоты (1М HCl) [13].

Пробоподготовку растительных образцов проводили путем сухого озоления при 450 ^{0}С с последующим растворением золы смесью концентрированных кислот HNO_3+HCl [14]. Содержание металлов в вытяжках из почвы и в растворе золы растений определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (AAS–30).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Незагрязненные фоновые почвы, на которых проводились исследования, практически не различались по содержанию в них ТМ (табл. 1).

Таблица 1

Содержание подвижных соединений тяжелых металлов в черноземе обыкновенном и каштановой почве

Валовое содержание, мг/кг	Обменные формы, ААБ, pH 4,8		Подвижные формы, 1М HCl	
	мг/кг	% от валового	мг/кг	% от валового
1	2	3	4	5
Чернозем обыкновенный карбонатный мощный малогумусный тяжелосуглинистый				
Zn				
69,0 – фон	0,5	0,7	7,0	10,1
92,9	1,1	1,2	17,4	18,7
119,0	2,5	2,1	34,4	28,9
139,9	4,1	2,9	52,5	37,5
165,0	7,5	4,5	62,0	37,6
365,1	25,4	7,0	83,0	22,7
$НСР_{05}$	1,5		7,1	
ОДК 220,0 [14]	ПДК 23,0 [15]			

Продолжение табл. 1

Валовое содержание, мг/кг	Обменные формы, ААБ, pH 4,8		Подвижные формы, 1М HCl	
	мг/кг	% от валового	мг/кг	% от валового
1	2	3	4	5
Cu				
43,9 – фон	0,3	0,7	2,1	4,8
46,1	0,4	0,9	3,7	8,0
53,2	0,8	1,5	5,0	9,4
72,5	1,1	1,5	11,7	16,1
100,3	1,3	1,3	18,3	18,2
135,0	4,4	3,3	29,5	21,9
$НСР_{05}$	0,9		5,4	
ОДК 132,0 [14]	ПДК 3,0 [15]			
Pb				
25,0 – фон	0,6	2,4	3,0	12,0
33,1	0,7	2,1	2,9	8,8
42,0	0,8	1,9	4,4	10,5
60,0	1,4	2,3	6,2	10,3
78,2	3,4	4,3	9,3	11,9
127,0	8,2	6,5	29,9	23,5
$НСР_{05}$	1,2		4,5	
ПДК 32,0 [15]	ПДК 6,0 [15]			
Среднемощная среднесолонцеватая среднесуглинистая каштановая почва				
Zn				
65,0 – фон	0,4	0,6	8,1	12,5
83,0	1,9	2,3	16,4	19,8
109,1	2,9	2,7	36,0	33,0

Окончание табл. 1

Валовое содержание, мг/кг	Обменные формы, ААБ, pH 4,8		Подвижные формы, 1М HCl	
	мг/кг	% от валового	мг/кг	% от валового
1	2	3	4	5
139,0	4,4	3,2	51,4	37,0
162,2	10,8	6,7	67,9	41,9
355,0	35,1	9,9	88,3	24,9
$НСР_{05}$	2,1		8,7	
ОДК 220,0 [14]	ПДК 23,0 [15]			
Cu				
41,5 – фон	0,3	0,7	2,7	6,5
42,3	0,5	1,2	3,1	7,3
47,0	0,9	1,9	5,4	11,5
64,0	1,1	1,7	9,6	15,0
91,8	3,1	3,4	17,5	19,1
125,0	7,9	6,3	30,2	24,2
$НСР_{05}$	0,7		6,1	
ОДК 132,0 [14]	ПДК 3,0 [15]			
Pb				
20,0 – фон	0,5	2,5	2,4	12,0
28,2	0,4	1,4	3,1	11,0
32,0	1,3	4,1	3,9	12,2
53,0	1,8	3,4	6,3	11,9
71,1	4,6	6,5	12,7	17,9
119,0	10,8	9,1	32,7	27,5
$НСР_{05}$	0,7		5,0	
ПДК 32,0 [15]	ПДК 6,0 [15]			

В черноземе обыкновенном общее (валовое) содержание цинка составляло 69,0, меди – 43,9, свинца – 25,0 мг/кг почвы. На долю непрочно связанных (подвижных) соединений цинка, меди и свинца (вытяжка 1М HCl) приходилось соответственно 10,1; 4,8 и 12,0 % от их общего содержания, что составляло 7,0; 2,1 и 3,0 мг/кг. Содержание наиболее легкоподвижных (обменных) соединений (вытяжка ААБ, pH 4,8) цинка составило 0,5; меди – 0,3; свинца – 0,6 мг/кг почвы, или 1–2 % от валового содержания элементов.

В среднемощной среднесолонцеватой каштановой почве общее содержание цинка, меди и свинца незначительно отличалось от общего содержания этих элементов в черноземе и составило соответственно 65,0; 41,5 и 20,0 мг/кг. Доля обменного цинка и меди от их валового содержания не превысила 1 %, свинца – 3 %. Доли подвижных форм цинка, меди и свинца составили соответственно 12,5; 6,5 и 12,0 %.

По степени подвижности (1М HCl) в незагрязненном черноземе обыкновенном ТМ расположились в следующем порядке: Pb > Zn > Cu. В среднесолонцеватой каштановой почве наибольшей подвижностью отличался цинк: Zn > Pb > Cu.

Незагрязненные дерново-подзолистые супесчаная и легкосуглинистая почвы по сравнению с черноземом обыкновенном и каштановой почвой характеризовались более низким общим содержанием тяжелых металлов (табл. 2).

Общее содержание цинка в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве составляло 33,1, меди – 7,3, свинца – 14,3 мг/кг. На долю подвижных форм цинка, меди и свинца приходилось соответственно 27,5; 38,3 и 39,2 %, или 9,1; 2,8 и 5,6 мг/кг. Относительное содержание обменных соединений Zn, Cu, Pb составило соответственно 12,1; 6,8 и 9,8 % от валового содержания.

В дерново-подзолистой супесчаной почве общее содержание тяжелых металлов было в 1,2–1,4 раза меньше, чем в суглинистой: цинка – 20,2 мг/кг, меди – 5,9 и свинца – 9,9 мг/кг. Однако доля подвижных и обменных форм ТМ в супесчаной почве была больше, чем в суглинистой. На долю подвижного и обменного Zn в супесчаной почве приходилось соответственно 33,2 % и 24,7 %, что в 1,2 и 2,1 раза больше, чем на суглинистой почве, на долю подвижной и обменной Cu – 47,4 % и 8,5 % (в 1,2 раза), подвижного и обменного Pb – 47,5 % и 22,2 % (в 1,2 и 2,3 раза).

По содержанию подвижных форм (1М HCl) ТМ в незагрязненных дерново-подзолистых почвах расположились в следующем порядке – Pb > Cu > Zn, по содержанию обменных форм (ААБ, pH 4,80) – Zn > Pb > Cu.

Таким образом, наиболее высокое содержание подвижных и обменных форм тяжелых металлов отмечено в незагрязненных дерново-подзолистых супесчаной и легкосуглинистой почвах по сравнению с черноземом обыкновенным и каштановой почвой.

После насыщения почв легкорастворимыми солями ТМ общее содержание элементов, доля их обменных и подвижных форм увеличились в разной степени.

При загрязнении тяжелыми металлами чернозема обыкновенного в наибольшей степени увеличивалась доля обменного цинка (табл. 1). В частности, при увеличении общего содержания в почве цинка в 2 раза (с 69,0 до 139,9 мг/кг) доля обменной формы металла возросла в 4 раза. При наибольшем уровне загрязнения чернозема цинком (365,1 мг/кг – более 5 раз выше фонового) доля обменной формы элемента возросла в 10 раз и составила 7,0 % против 0,7 % на фоне. Самая высокая доля подвижных форм цинка установлена при загрязнении, превышающем фон в 2–2,4 раза (37,6 %). По мере дальнейшего загрязнения чернозема доля подвижных кислоторастворимых форм цинка снизилась до 22,7 %.

С увеличением уровня загрязнения чернозема медью (с 43,9 до 135,0 мг/кг – в 3 раза) доля обменной и подвижной форм возросла с 0,7 до 3,3 % и с 4,8 до 21,9 % соответственно. Доля обменных и подвижных форм свинца также увеличилась по мере загрязнения чернозема, но в меньшей степени, чем меди. При возрастании концентрации свинца в почве до 127,0 мг/кг, т.е. более чем в 5 раз, количество обменных и подвижных форм возрастало в 2,0–2,7 раза и составляло соответственно 6,5 и 23,5 %.

В каштановой почве общая тенденция увеличения обменных и подвижных форм ТМ с повышением уровня загрязнения сохранялась, однако отмечено более высокое содержание обменных форм элементов. При максимальном уровне загрязнения почвы доля обменных форм Zn, Cu и Pb повышалась соответственно до 9,9; 6,3 и 9,1 %.

В загрязненной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при общем содержании цинка 55 и 110 мг/кг доля подвижных форм элемента возрастала почти в 2 раза (с 27,5 до 52,3 % от валового содержания), как и в супесчаной почве (с 33,2 до 70,8 % от валового содержания) (табл. 2). Доля обменных форм цинка в легкосуглинистой почве увеличилась более чем в 2 раза, составив 29,3–32,7 % от валового содержания, в супесчаной почве – менее чем в 2 раза, достигнув 35,4–48,2 % от валового содержания.

Таблица 2

Содержание подвижных соединений тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах

Валовое содержание, мг/кг	Обменные формы, ААБ, pH 4,8		Подвижные формы, 1М HCl	
	мг/кг	% от валового	мг/кг	% от валового
Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва				
Zn				
33,1 – фон	4,0	12,1	9,1	27,5
55	16,1	29,3	26,2	47,6
110	36,0	32,7	57,5	52,3
$НСР_{05}$	4,2		13,1	
ОДК 110,0 [10]	ПДК 23,0 [11]		ОДК 18,0 [2]	
Cu				
7,3 – фон	0,5	6,8	2,8	38,3
33	6,3	19,1	24,6	74,5
66	15,0	22,7	46,6	70,6
165	43,5	26,4	133,7	81,0
$НСР_{05}$	14,1		17,7	
ОДК 66,0 [10]	ПДК 3,0 [12]		ОДК 13,5 [2]	
Pb				
14,3 – фон	1,4	9,8	5,6	39,2

Окончание табл. 2

Валовое содержание, мг/кг	Обменные формы, ААБ, pH 4,8		Подвижные формы, 1М HCl	
	мг/кг	% от валового	мг/кг	% от валового
32	7,5	23,4	17,7	55,3
64	20,9	32,7	50,6	79,1
160	69,5	43,4	129,0	80,6
$НСР_{05}$	19,7		21,1	
ПДК 32,0 [12]	ПДК 6,0 [10]		ОДК 25,0 [2]	
Дерново-подзолистая супесчаная почва				
Zn				
20,2 – фон	5,0	24,7	6,7	33,2
55	19,5	35,4	35,4	64,4
110	53,0	48,2	77,9	70,8
$НСР_{05}$	15,7		22,9	
ОДК 55,0 [10]	ПДК 23,0 [11]		ОДК 12,0 [2]	
Cu				
5,9 – фон	0,5	8,5	2,8	47,4
33	9,0	27,3	22,4	67,9
66	23,9	36,2	54,5	82,6
165	68,7	41,6	135,3	82,0
$НСР_{05}$	10,4		4,8	
ОДК 33,0 [10]	ПДК 3,0 [12]		ОДК 7,5 [2]	
Pb				
9,9 – фон	2,2	22,2	4,7	47,5
32	9,3	29,1	20,7	64,7
64	27,3	42,6	61,1	95,5
160	77,4	48,4	133,7	83,6
$НСР_{05}$	22,8		18,7	
ПДК 32,0 [12]	ПДК 6,0 [10]		ОДК 15,0 [2]	

С увеличением степени загрязнения дерново-подзолистых почв медью (с 33 до 165 мг/кг) доля ее подвижных форм увеличилась с 74,5 до 81,0 % в суглинистых почвах и с 67,9 до 82,0 % в супесчаных, обменных форм – с 19,1 до 26,4 % и с 27,3 до 41,6 % соответственно.

Доля подвижных форм свинца в дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных почвах с увеличением уровня загрязнения (с 32 до 160 мг/кг) также возросла (от 55,3 % до 80,6 % и от 64,7 % до 83,6 % соответственно). Практически в равной мере возросла при загрязнении доля обменных форм свинца в суглинистой (от 23,4 % до 43,4 %) и в супесчаной почве (от 29,1 % до 48,4 %).

Увеличение подвижности ТМ в почве при возрастании уровня загрязнения способствовало увеличению поступления их в растения и накоплению в конечной продукции.

Чернозем. При повышении общего содержания в черноземе обыкновенном цинка от фонового (69,0 мг/кг) до высокого уровня загрязнения (365 мг/кг) содержание элемента в зерне возросло от 24,5 до 88,4 мг/кг, что значительно выше (в 1,8 раза) ПДК для растений (табл. 3). Содержание цинка в зерне ниже допустимого уровня отмечено при общем содержании в почве металла 119 мг/кг, обменного – на уровне 2,5 мг /кг почвы. Установлено более интенсивное накопление цинка в соломе ячменя, чем в зерне.

В диапазоне загрязнения почвы медью (46–135 мг/кг) ее накопления в зерне выше допустимого не установлено. Определено, что в соломе ячменя меди, в отличие от цинка, накапливалось меньше, чем в зерне.

Содержание Pb в зерне превысило допустимый уровень (0,5 мг/кг) уже при фоновом содержании металла в почве – 25 мг/кг. В соломе ячменя свинца, также как и цинка, накапливалось больше, чем в зерне.

Каштановая почва. При возделывании ячменя на среднемощной среднесолонцеватой каштановой почве накопление цинка в зерне выше допустимого отмечено уже при валовом его содержании на уровне 109,1 мг/кг (2,9 мг /кг – обменного и 36,0 мг/кг – подвижного).

При загрязнении почвы медью на уровне ПДК (125 мг/кг почвы) накопление ее в зерне не превышало допустимой нормы и составляло 9,7 мг/кг. В соломе содержание меди при таком же уровне загрязнения повышалось до 16 мг/кг.

На каштановой почве, также как и на черноземе, превышение допустимого норматива по содержанию свинца в зерне установлено при фоновой концентрации элемента в почве (20 мг/кг).

В исследованиях установлено более высокое накопление всех ТМ в соломе ячменя, чем в зерне.

Таким образом, накопление Zn в зерне ячменя выше принятых нормативов для продовольственного зерна установлено при более низком уровне загрязнения каштановой почвы, чем чернозема.

Содержание Pb в зерне выше допустимого уровня отмечалось уже при фоновом содержании элемента как в черноземе, так и в каштановой почве. Очевидно, здесь имеет место несоответствие принятых в России общих нормативов по допустимому содержанию металлов в почвах и в растениях [16, 17]. В связи с этим возникает объективная необходимость разработки региональных нормативов по допустимому содержанию ТМ в почвах и растениях.

Дерново-подзолистые почвы. В проведенных нами более ранних исследованиях на дерново-подзолистых почвах было установлено, что допустимыми уровнями валового содержания цинка в почве, обеспечивающими получение нормативно допустимых уровней содержания цинка в зерне (продовольственном и фуражном), являются 80 мг/кг – для суглинистых , 60 мг/кг – для супесчаных и 50 мг/кг – для песчаных почв. Для получения продовольственного зерна ячменя нормативно чистого по содержанию меди допустимые уровни валового содержания ее в суглинистых, супесчаных и песчаных почвах составляют соответственно 100; 70 и 60 мг/кг почвы [18].

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в зерне и соломе ярового ячменя при моноэлементном загрязнении чернозема и каштановой почвы

Валовое содержание ТМ в почве, мг/кг	Содержание ТМ в продукции, мг/кг		Валовое содержание ТМ в почве, мг/кг	Содержание ТМ в продукции, мг/кг	
	зерно	солома		зерно	солома
чернозем обыкновенный			каштановая почва		
ZN					
69,0 – фон	24,5	20,4	65,0 – фон	22,4	17,6
92,9	26,5	47,4	83,0	28,3	40,2
119,0	42,2	54,4	109,1	51,7	66,8
139,9	50,5	70,0	139,0	52,6	71,4
165,0	69,9	77,9	162,2	80,8	103,6
365,1	88,4	107,9	355,0	95,5	116,1
$НСР_{05}$	3,9	3,3	$НСР_{05}$	1,5	5,3
ПДК [19]	50,0		ПДК [19]	50,0	
CU					
43,9 – фон	1,0	1,2	41,5 – фон	2,1	2,0
46,1	1,9	2,0	42,3	4,0	5,8
53,2	2,6	2,0	47,0	5,6	8,2
72,5	4,5	3,0	64,0	6,7	8,8
100,3	7,5	4,7	91,8	7,4	11,9
135,0	9,1	7,7	125,0	9,7	16,0
$НСР_{05}$	0,5	1,7	$НСР_{05}$	0,4	0,8
ПДК [19]	10,0		ПДК [19]	10,0	
PB					
25,0 – фон	0,5	1,2	20,0 – фон	0,6	1,0
33,1	0,5	1,0	28,2	0,8	1,3
42,0	0,7	2,2	32,0	0,6	1,4
60,0	1,7	2,7	53,0	2,3	3,3
78,2	2,1	3,8	71,1	2,6	4,3
127,0	3,9	4,7	119,0	3,9	5,8
$НСР_{05}$	0,3	1,0	$НСР_{05}$	0,4	0,3
ПДК [19]	0,5		ПДК [19]	0,5	

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в зеленой массе и зерне люпина при моноэлементном загрязнении дерново-подзолистых супесчаных и суглинистых почв, мг/кг

Валовое содержание элемента в почве, мг/кг	Супесчаная почва		Легкосуглинистая почва	
	зеленая масса	зерно	зеленая масса	зерно
Zn				
20,2/33,1* – фон	7,0	26,1	7,9	27,4
55	22,9	38,5	18,9	32,4
110	39,4	46,3	36,3	41,8
$НСР_{05}$	6,6	9,3	5,3	5,6
МДУ [20]	10,0	50,0	10,0	50,0
Cu				
5,9/7,3 – фон	1,1	3,0	1,6	3,8
33	3,2	6,8	2,6	6,1
66	4,7	7,8	4,0	7,2
165	7,4	9,7	5,7	8,9
$НСР_{05}$	2,8	2,2	1,2	2,4
МДУ [20]	5,0	30,0	5,0	30,0
Pb				
9,9/14,3 – фон	0,2	0,5	0,2	0,4
32	0,5	1,4	0,4	0,9
64	1,2	2,5	0,9	2,0
160	2,2	2,7	1,7	2,2
$НСР_{05}$	0,4	0,7	0,2	0,3
МДУ [20]	0,6	4,0	0,6	4,0

Примечание. Над чертой – содержание ТМ в фоновой дерново-подзолистой супесчаной почве, под чертой – содержание ТМ в фоновой дерново-подзолистой суглинистой почве.

Продовольственное зерно ячменя с допустимым содержанием меди и цинка можно получить при более высокой степени загрязнения черноземов, чем каштановой и дерново-подзолистой почв.

Накопление ТМ в зеленой массе и зерне кормовой культуры люпина узколистного изучали в условиях Беларуси на дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почвах (табл. 4). На почвах с фоновым содержанием Zn, Cu и Pb концентрация их в зеленой массе люпина не превышала действующих в Республике Беларусь ветеринарно-санитарных нормативов и составляла соответственно Zn – 7,0 и 7,9 мг/кг, Cu – 1,1 и 1,6 мг/кг и Pb – 0,2 мг/кг.

При фоновом содержании Zn в почве содержание его в зерне люпина было в 3,5–3,7 раза выше, чем в зеленой массе, и составляло 26,1–27,4 мг/кг, Cu и Pb – в 2,0–2,7 раза выше и составляло соответственно 3,0–3,8 мг/кг и 0,5–0,4 мг/кг.

С увеличением уровня загрязнения дерново-подзолистой почвы цинком от 55 до 110 мг/кг, медью от 33 до 165 мг/кг и свинцом от 32 до 160 мг/кг содержание металлов в зеленой массе люпина превысило максимально допустимые уровни, которые составляют соответственно 10,0; 5,0 и 0,6 мг/кг.

Содержание цинка в зеленой массе люпина превысило МДУ в 1,9–3,9 раза при валовом содержании элемента в дерново-подзолистых почвах 55–110 мг/кг или содержании обменных форм в супесчаной почве 19,5–53,0 мг/кг, в суглинистой – 16,1–36,0 мг/кг.

При загрязнении почв медью на уровне 165 мг/кг накопление ее в зеленой массе люпина превышает МДУ в 1,1–1,5 раза.

Содержание свинца в зеленой массе люпина, превышающее МДУ в 1,5–3,7 раза, установлено при уровнях загрязнения дерново-подзолистых почв свинцом 64–160 мг/кг или при содержании обменных форм элемента в супесчаной почве 27,3–77,4 мг/кг, в суглинистой – 20,9–69,5 мг/кг.

Таким образом, накопление ТМ выше допустимого уровня отмечено только в зеленой массе люпина, в зерне накопление ТМ выше установленных нормативов не наблюдалось.

На основании полученных результатов установлены корреляционные зависимости между содержанием ТМ в растениях и в почве. Наиболее тесная связь отмечается между содержанием металлов в растениеводческой продукции и содержанием в почве их подвижных форм (табл. 5).

Выявлена тесная связь между содержанием тяжелых металлов в зеленой массе и зерне люпина и содержанием в дерново-подзолистой почве как валовых ($r = 0,82–0,97$), так и подвижных ($r = 0,85–0,99$) форм ТМ. Очевидно, это обусловлено высокой степенью подвижности ТМ (48–95 %) в загрязненных дерново-подзолистых почвах. Сходная закономерность выявлена между содержанием ТМ в зерне и соломе ячменя и содержанием их в черноземе и каштановой почве.

Таблица 5

Корреляционные зависимости между содержанием ТМ в растениях и почве

Элементы	Почвы			
	чернозем обыкновенный, ячмень	каштановая почва, ячмень	дерново-подзолистая почва, люпин	
			суглинистая	супесчаная
$Zn_{зерно\ ячмень} \rightarrow Zn_{почва,\ вал}$	r = 0,51	r = 0,54		
$Zn_{зерно\ ячмень} \rightarrow Zn_{почва,\ HCl}$	r = 0,93	r = 0,92		
$Zn_{солома\ ячмень} \rightarrow Zn_{почва,\ вал}$	r = 0,54	r = 0,64		
$Zn_{солома\ ячмень} \rightarrow Zn_{почва,\ HCl}$	r = 0,96	r = 0,95		
$Zn_{зерно\ люпин} \rightarrow Zn_{почва,\ вал}$			r = 0,93	r = 0,87
$Zn_{зерно\ люпин} \rightarrow Zn_{почва,\ HCl}$			r = 0,95	r = 0,89
$Zn_{зел.\ масса\ люпин} \rightarrow Zn_{почва,\ вал}$			r = 0,95	r = 0,94

Окончание табл. 5

Элементы	Почвы			
	чернозем обыкновенный, ячмень	каштановая почва, ячмень	дерново-подзолистая почва, люпин	
			суглинистая	супесчаная
$Zn_{зел.\ масса\ люпин} \rightarrow Zn_{почва\ HCl}$			r = 0,97	r = 0,97
$Cu_{зерно\ ячмень} \rightarrow Cu_{почва,\ вал}$	r = 0,58	r = 0,62		
$Cu_{зерно\ ячмень} \rightarrow Cu_{почва,\ HCl}$	r = 0,99	r = 0,92		
$Cu_{солома\ ячмень} \rightarrow Cu_{почва,\ вал}$	r = 0,55	r = 0,48		
$Cu_{солома\ ячмень} \rightarrow Cu_{почва,\ HCl}$	r = 0,99	r = 0,93		
$Cu_{зерно\ люпин} \rightarrow Cu_{почва,\ вал}$			r = 0,85	r = 0,82
$Cu_{зерно\ люпин} \rightarrow Cu_{почва,\ HCl}$			r = 0,86	r = 0,85
$Cu_{зел.\ масса\ люпин} \rightarrow Cu_{почва,\ вал}$			r = 0,92	r = 0,91
$Cu_{зел.\ масса\ люпин} \rightarrow Cu_{почва\ HCl}$			r = 0,95	r = 0,93
$Pb_{зерно\ ячмень} \rightarrow Pb_{почва,\ вал}$	r = 0,58	r = 0,54		
$Pb_{зерно\ ячмень} \rightarrow Pb_{почва,\ HCl}$	r = 0,92	r = 0,82		
$Pb_{солома\ ячмень} \rightarrow Pb_{почва,\ вал}$	r = 0,52	r = 0,52		
$Pb_{солома\ ячмень} \rightarrow Pb_{почва,\ HCl}$	r = 0,83	r = 0,93		
$Pb_{зерно\ люпин} \rightarrow Pb_{почва,\ вал}$			r = 0,82	r = 0,82
$Pb_{зерно\ люпин} \rightarrow Pb_{почва,\ HCl}$			r = 0,86	r = 0,87
$Pb_{зел.\ масса\ люпин} \rightarrow Pb_{почва,\ вал}$			r = 0,96	r = 0,97
$Pb_{зел.\ масса\ люпин} \rightarrow Pb_{почва\ HCl}$			r = 0,99	r = 0,99

ВЫВОДЫ

1. Накопление тяжелых металлов в растениеводческой продукции определяется уровнем их содержания и подвижностью в почвах. Подвижность металлов, характеризуемая содержанием их подвижных и обменных форм, в загрязненных дерново-подзолистых супесчаных и легкосуглинистых почвах выше, чем в черноземе обыкновенном и каштановой почве. При загрязнении чернозема обыкновенного и каштановой почвы медью с 42,3 мг/кг до уровня ОДК доля подвижных форм (1М HCl) составила 7,3–24,2 %, обменных – 0,9–6,3 %. Доля подвижных форм цинка при повышении уровня загрязнения с 83,0 мг/кг до 1,7 ОДК увеличивалась с 18,7 до 41,9 %, обменных – с 1,2 до 9,9 %. При повышении уровня загрязнения почв свинцом с 28,2 мг/кг (0,9 ПДК) до 4,0 ПДК доля подвижных форм возрастала с 8,8 до 27,5 %, доля обменных – с 1,4 до 9,1 %.

При загрязнении дерново-подзолистой почвы медью на уровне 1–5 ПДК, цинком – 1–2 ПДК и свинцом – 1–5 ПДК доля подвижных форм составила 67,9–82,6 %, 47,6–70,8 % и 55,3–95,5 %, обменных – 19,1–41,6 %, 29,3–48,2 % и 23,4–48,4 % соответственно.

По содержанию подвижных форм металлы в загрязненных дерново-подзолистых почвах составили ряд – Pb > Cu > Zn, по содержанию обменных – Zn > Pb > Cu. В черноземе обыкновенном и каштановой почве по содержанию подвижных форм ТМ расположились в следующей последовательности – Zn > Cu > Pb, по содержанию обменных – Zn > Pb > Cu.

2. При загрязнении чернозема обыкновенного и каштановой почвы медью на уровне ПДК содержание элемента в зерне не превышало допустимых норм.

Превышение ПДК по цинку в зерне ячменя установлено при валовом его содержании в черноземе обыкновенном на уровне 140 мг/кг, в каштановой почве – 109 мг/кг.

Накопление свинца в зерне ячменя на уровне ПДК и выше установлено при фоновом содержании валового свинца в черноземе и каштановой почве. Очевидно, здесь имеет место несоответствие принятых в России нормативов по допустимому содержанию свинца в почвах (ПДК 32,0 мг/кг) и в растениях (ПДК 0,5 мг/кг), которые нуждаются в уточнении.

В дерново-подзолистых загрязненных почвах превышение МДУ по содержанию цинка в зеленой массе люпина установлено на уровне 55–110 мг/кг (1–2 ПДК), меди – 165 мг/кг (5 ПДК), свинца – 64–160 мг/кг (2–5 ПДК).

3. Установлена тесная корреляционная связь между содержанием ТМ в растениях люпина и содержанием их валовых (r = 0,82–0,97) и подвижных форм (r = 0,85–0,99) в дерново-подзолистой почве.

Между содержанием ТМ в растениях ячменя и содержанием их в черноземе обыкновенном и каштановой почве установлена корреляционная связь, более тесная – между содержанием ТМ в растениях и содержанием их подвижных форм (r = 0,82–0,99), чем валовых (r = 0,48–0,64).

При диагностике загрязнения чернозема обыкновенного и каштановой почвы Zn, Cu и Pb необходимо в первую очередь учитывать содержание в почве их подвижных форм (1М HCl).

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (Б11БРУ–007) и РФФИ, Министерства образования и науки Российской Федерации № 553.49.2011, Соглашение № 14.A18.21.0641.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Российская академия сельскохозяйственных наук. – М., 2008. – 68 с.

2. Головатый, С.Е. Тяжелые металлы в агроэкосистемах / С.Е. Головатый. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2002. – С. 25, 183–185.

3. Овчаренко, М.М. Подвижность тяжелых металлов в почве и доступность их растениям / М.М. Овчаренко // Аграрная наука. – 1996. – № 3. – С. 39–41.

4. Кузьмич, М.А. Влияние известкования на поступление тяжелых металлов в растения / М.А. Кузьмич, Г.А. Графская, Н.В. Хостанцева // Агрохимический вестник. – 2000. – № 5. – С. 7–9.

5. Трансформация соединений тяжелых металлов в почвах степной зоны / Т.М. Минкина [и др.] // Почвоведение. – 2008. – № 7. – С. 810–818.

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

7. Закруткин, В.Е. Некоторые аспекты распределения меди и цинка в почвах и растениях агроландшафтов Ростовской области / В.Е. Закруткин, Д.Ю. Шишкина // Тяжелые металлы в окружающей среде: материалы междунар. симпозиума. – Пущино, 1997. – С. 101–109.

8. Закруткин, В.Е. Некоторые аспекты распределения свинца в почвах и растениях агроландшафтов Ростовской области / В.Е. Закруткин, Р.П. Шкафенко // Тяжелые металлы в окружающей среде: материалы междунар. симпозиума. – Пущино, 1997. – С. 110–117.

9. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: метод. указания / под общ. ред. И.М. Богдевича. – Минск, 2006. – 64 с.

10. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы 2.1.7.12–1–2004 (ГН 2.1.7.12–1–2004). – Минск, 2004. – 29 с.

11. Предельно допустимые концентрации подвижных форм цинка, хрома, кадмия в почвах (землях) различных функциональных зон населенных пунктов, промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иного назначения: постановление Министерства здравоохранения Респ. Беларусь, 06 нояб. 2008 г., № 187.

12. Нормативы предельно допустимых концентраций подвижных форм никеля, меди и валового содержания свинца в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных видов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов: приложение к постановлению Министерства здравоохранения Респ. Беларусь, 19 нояб. 2009 г., № 125.

13. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 304 с.

14. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве (валовое содержание): зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации, 7 февр. 2006 г., № 7456.

15. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства / А.В. Кузнецов [и др.]; редкол.: А.М. Артюшин [и др.]. – 2-е изд., перер. и доп. – М.: ЦИНАО, 1992. – 53 с.

16. Накопление тяжелых металлов растениями ячменя на черноземе и каштановой почве / Т.М. Минкина [и др.] // Агрохимия. – 2009. – № 10. – С. 53–63.

17. Минкина, Т.М. Качество зерна пивоваренного ячменя при техногенном загрязнении чернозема обыкновенного / Т.М. Минкина, В.С. Крыщенко, С.В. Федосеенко // Научная мысль Кавказа. – 2003. – Приложение. Вып. 2. – С. 119–123.

18. Рекомендации по допустимому содержанию цинка и меди в почве при возделывании зерновых культур и многолетних трав / С.Е. Головатый [и др.] // Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 43 с.

19. Медико-биологические требования и санитарные нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов. – М., 1990. – 54 с.

20. Допустимый уровень содержания некоторых химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных: ветеринарно-санитарный норматив по безопасности кормов и кормовых добавок: постановление Минсельхозпрода Респ. Беларусь, 28 апр. 2008 г., № 48. – Минск, 2008. – 8 с.

ACCUMULATION OF ZINK, COPPER AND LEAD BARLEY AND LUPINE PLANTS AT DIFFERENT SOIL POLLUTION LEVELS WITH THESE ELEMENTS

N.K. Lukashenko, S.E. Golovatyi, Z.S. Kovalevitch, T.M. Minkina, G.V. Motuzova, S.S. Mandzhieva, V.V. Chaplugin

Summary

Results of the joint researches executed in Belarus and Russia on studying of influence of pollution of the cespitose and podsolic sandy and loamy soil, the chernozem ordinary and the chestnut soil by heavy metals on accumulation of these elements in barley and lupine plants are stated in article. Various degree of mobility of heavy metals in the cespitose and podsolic soil, the chernozem and the chestnut soil is established. Accumulation of heavy metals in green mass and grain of a lupine and grain and straw barley is shown at different levels of soil pollution by them. Correlation dependences between heavy metals content in plants and the content of gross and mobile forms of heavy metals in soils are presented.

Поступила 02.04.13

УДК 631.8:631.81.095.337:633.432

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ С МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КОРНЕПЛОДОВ МОРКОВИ РАЗЛИЧНЫХ СРОКОВ УБОРКИ

Г.В. Пироговская, Д.Г. Мысливец
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Производство овощной продукции в Республике Беларусь не полностью соответствует растущим потребностям населения, поэтому на современном этапе его развития поставлена задача увеличения продукции овощных культур. Природные условия позволяют удовлетворить потребность страны в продукции основных овощных культур, в том числе и моркови, за счет собственного производства.

Морковь является очень важным продуктом питания человека; ее физиологическая ценность обусловлена высоким содержанием в корнеплодах каротина, сахаров и микроэлементов. Ежедневное включение моркови в рацион способствует профилактике многих болезней, в том числе и онкологических [1].

Посевные площади под морковью в сельскохозяйственных организациях республики в последние годы находились в пределах 2,5 тыс. га. Урожайность моркови составляла: в 2002 г. – 142,8 ц/га, в 2005 г. – 220,4, в 2009 г. – 283,3 ц/га, в 2010 г. – 234 ц/га. Для сравнения урожайность моркови в мире на 2009 г. составляла 231,3 ц/га, в Западной Европе – 451,5 ц/га [2, 3, 4, 5].

Одной из актуальных задач сельскохозяйственного производства Республики Беларусь является усовершенствование системы удобрения моркови, направленной на увеличение урожайности и качества продукции.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в полевых опытах на дерново-подзолистой, оглеенной внизу, рыхлосупесчаной, развивающейся на рыхлой супеси, сменяемой связным песком, подстилаемым с глубины 1,10–1,15 м рыхлой супесью, почве в фермерском хозяйстве «Горизонт» Мостовского района Гродненской области.

Агрохимические показатели пахотного горизонта перед закладкой опытов с морковью были следующие: pH в KCl слабокислая (5,8–5,9), высокое содержание подвижного P_2O_5 (более 400 мг/кг почвы), повышенное – K_2O по Кирсанову (244–265 мг/кг почвы), среднее – обменного кальция (834–1011), магния (138–161) и серы (6,4–8,4 мг/кг почвы), низкое – гумуса (1,01–1,34 %). Содержание подвижных соединений бора (вытяжка H_2O) было средним (0,6 мг/кг почвы), подвижной меди (вытяжка 0,1 М HCl) – средним (2,2–3,0 мг/кг), марганца (вытяжка 1,0 М KCl) – средним (1,8–2,2 мг/кг почвы), цинка – высоким (7,9–9,9 мг/кг почвы).

Объект исследований (2011–2012 гг.) – морковь гибрид Рига RZ F1, включенный в Государственный реестр сортов и древесно-кустарниковых пород Республики Беларусь в 2004 г. Это высокоурожайный гибрид типа берликумер, пригодный для употребления в свежем виде, мойки, длительного хранения. От всходов до уборки – 110 дней. Ботва очень прочная, что делает этот гибрид пригодным для механизированной уборки. Корнеплод длиной 18–20 см, гладкий, цилиндрической формы, с тупым кончиком. Устойчив к альтернариозу [6].

Посев моркови производился в гребни с междурядием 0,75 м – 09.05.2011 г. и 19.05.2012 г., с посевной нормой – 1 млн шт./га.

Предмет исследований:

Удобрения для основного внесения в почву:

– комплексные – хлорсодержащие (NPK с S; B, Cu и NPK с S; B, Cu медленнодействующее, марка 14–10–19) и бесхлорные (NPK с Mg, S, B, Cu и NPK с Mg, S, B, Cu и регулятором роста растений Эпин, марка 14–7,5–16);

– азотно-серосодержащие жидкие без добавок (NS = 20–4) и с добавками (NS = 20–4) B, Cu (в хелатной форме) на фоне PK.

В полевых опытах комплексные удобрения с модифицирующими добавками и азотно-серосодержащие вносились в разных дозах в один прием в предпосевную культивацию: хлорсодержащие – $N_{70}P_{50}K_{95}$, $N_{90}P_{64}K_{122}$ и $N_{110}P_{78}K_{149}$; бесхлорные – $N_{90}P_{48}K_{104}$; азотно-серосодержащие – N_{90} на фоне $P_{64}K_{122}$.

В качестве базовых вариантов при возделывании моркови применяли стандартные удобрения, в частности: азотные ─ карбамид, фосфорные – аммонизированный суперфосфат (марки 8:30), калийные – гранулированный хлористый калий, которые вносились также под предпосевную культивацию, жидкие азотно-серосодержащие – вносились в почву ранцевым опрыскивателем.

При расчете доз азотных удобрений учитывалась и доза азота, внесенная с аммонизированным суперфосфатом.

Площадь делянок в полевых опытах в 2011–2012 гг. составляла 35 м^2 (7,5), учетная площадь – 12 м^2. При ранних сроках уборки моркови (август) учетная площадь делянок – 5 м^2. Повторность вариантов 4-кратная.

Учет урожайности корнеплодов моркови и ботвы производился в два этапа: учет моркови – при ранних сроках уборки (18.08.2011 и 23.08.2012 гг.) и при поздних – на хранение (15.09.2011 и 20.10.2012 гг.).

Почвенные образцы отбирались с пахотного и подпахотного горизонтов почвы перед закладкой полевых опытов. Закладку и проведение опытов осуществляли в соответствии с методическими указаниями. Статистическая обработка результатов исследований проведена по Б.А. Доспехову [7] с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на ПЭВМ, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы по годам и блокам.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования по изучению эффективности действия комплексных (твердых и жидких) удобрений с добавками микроэлементов и биологически активных веществ при возделывании моркови проводились в годы с различными погодными условиями. Температура воздуха и осадки, гидротермический коэффициент (ГТК) по Г.Т. Селянинову (условный показатель увлажнения территории, представляющий отношение суммы осадков за определенный период к сумме температур выше 10 ^{0}C за тот же период, уменьшенной в 10 раз) взяты на агрометеорологической станции г. Щучина.

Данные распределения атмосферных осадков за вегетационный период возделывания моркови в 2011 г. показывают на неравномерность их распределения. В мае количество осадков было в 1,05, в июле – в 1,74 раза выше среднемноголетних, а в июне – в 1,42, в августе – в 1,41 раза – ниже среднемноголетних. За период май-сентябрь сумма осадков составила 352 мм и была на уровне среднемноголетнего показателя (352 мм). Сумма положительных температур воздуха выше 10 ^{o}C за вегетационный период возделывания моркови (май-сентябрь) составила 2442,2 ^{o}C, что в 1,05 раза выше среднемноголетней. ГТК по месяцам изменялся в пределах от 0,96 (июнь, август) до 2,19 (июль). В среднем вегетационный период 2011 г. характеризовался как близкий к среднемноголетнему (ГТК составил 1,44 при среднемноголетнем – 1,51) (табл. 1).

Таблица 1

Сумма положительных температур воздуха, количество атмосферных осадков и гидротермический коэффициент за период апрель-сентябрь 2011–2012 гг. (фермерское хозяйство «Горизонт» Мостовского района Гродненской области)

Год	Показатель	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	За 5–9 месяц
2011	Осадки, мм	37,9	65,8	54,4	133,8	53,3	44,7	352
	Температура, t °C	9,4	13,5	18,9	19,7	18,0	14,6	16,9
	Сумма t ° > 5 °C	282	418,5	567	610,7	558	288	2442,2
	ГТК	1,34	1,57	0,96	2,19	0,96	1,55	1,44
2012	Осадки, мм	83,4	50,8	99,9	61,3	81,1	14,2	307,3
	Температура, t°C	8,5	14,4	15,9	20,7	17,5	12,8	16,3
	Сумма t ° > 5 °C	255	446	477	642	543	384	2492
	ГТК	3,27	1,14	2,09	0,86	1,49	0,37	1,23
Среднемно-голетнее	Осадки, мм	44,0	62,0	77,0	77,0	75,0	61,0	352
	Температура, t C°	6,2	13,0	16,3	17,7	16,7	12,2	15,2
	Сумма t ° > 5 °C	186	403	489	548,7	517,7	366	2324,4
	ГТК	2,37	1,54	1,57	1,40	1,45	1,67	1,51

Что касается вегетационного периода 2012 г., то картина также отличается от среднемноголетних показателей: осадков в мае и июле выпало меньше в 1,22 (май) и 1,26 (июль) раза, в июне и августе их было больше в 1,3 (июнь) и 1,1 (август) раза соответственно. За период май-сентябрь сумма осадков составила 307,3 мм при среднемноголетней – 352 мм, а сумма температур воздуха выше 10 °С – 2492 °С, т. е. в 1,07 раза выше среднемноголетней (2324,4 °С). Если рассматривать среднюю температуру за месяц и сравнивать ее со среднемноголетней, то 2012 г. был теплее в мае на 1,4 °С, в июле – на 3 °С, в августе – на 0,8 и в сентябре – на 0,6 °С, холоднее – только в июне на 0,4 °С. Вегетационный период 2012 г. характеризовался как слабозасушливый (табл. 1).

В условиях 2011 г. при ранних сроках уборки моркови (18.08.2011 г.) ее урожайность (ботва + корнеплоды) на контрольном варианте без удобрений составила 42,7 т/га при урожайности корнеплодов 32,0 т/га, в вариантах с удобрениями – от 57,3 до 86,7 и 40,0–60,7 т/га соответственно. Урожайность корнеплодов в базовом варианте 1 с использованием стандартных минеральных удобрений равнялась 44,7 т/га, с комплексным удобрением без добавок – 45,4 т/га, т. е. их эффективность находилась в близких пределах. Применение комплексного NPK с S, B, Cu (марка 14–10–19) в различных дозах $N_{70–110}P_{50–78}K_{95–149}$ кг/га д.в. (вар. 3, 5) обеспечивало урожайность корнеплодов на уровне 40,0–51,3 т/га. Лучшим по урожайности оказался вариант с внесением этого удобрения в дозе $N_{90}P_{64}K_{122}$ с прибавкой корнеплодов моркови на уровне 6,6 т/га по сравнению с внесением в эквивалентных дозах стандартных туков, а по сравнению с комплексным удобрением без добавок – 5,9 т/га. Максимальная урожайность корнеплодов (52,3 и 57,3 т/га) получена в вариантах с внесением медленнодействующих форм удобрений (вар. 6, 7) при дозе внесения $N_{90}P_{64}K_{122}$. Однако лучшим комплексным удобрением оказалось медленнодействующее NPK с S, B (14–10–19), обеспечившее увеличение урожайности корнеплодов моркови на 26–28 % по сравнению с базовым вариантом и комплексным удобрением без добавок (табл. 2).

Применение серосодержащих удобрений (вар. 11, 12) под морковь в условиях 2011 г. было также эффективным, прибавки от них, по сравнению с внесением стандартных туков (вар. 2) составили 6,0–10,0 т/га. Включение в азотно-серосодержащее удобрение микроэлементов в форме хелатов (вар. 12) обеспечивало увеличение урожайности корнеплодов моркови на 4,0 т/га по сравнению с аналогичным удобрением без добавок микроэлементов (базовый вар. 2).

Внесение комплексных бесхлорных удобрений марки 14–7,5–16 с добавками Mg, S, B, Cu (вар. 13) и с аналогичными добавками и регулятором роста растений Эпин (вар. 14) при дозе внесения $N_{90}P_{48}K_{104}$ обеспечивало урожайность корнеплодов на уровне 56,7 и 60,7 т/га. Прибавка корнеплодов от комплексных бесхлорных удобрений с модифицирующими добавками по сравнению с комплексными бесхлорными без добавок составляла 3,4–7,4 т/га.

Следует отметить, что в условиях 2012 г. урожайность корнеплодов моркови на ранние сроки реализации была существенно ниже (в 1,87–2,66 раза в зависимости от вариантов опыта), чем в 2011 г. По-видимому, это объясняется тем, что оптимальные условия для посева моркови в мае 2012 г. сместились – он был произведен на неделю позже соответствующего периода 2011 г. При этом осадков выпало меньше в мае (в 1,22 раза) и июле (1,26 раза) по сравнению со среднемноголетними показателями. Образование корнеплодов также сдерживалось

высокими температурами (более 25 °С) в данный период. Урожайность (ботва + корнеплоды) изменялась в зависимости от вариантов опыта и находилась в пределах от 25,0 до 36,1 т/га, урожайность корнеплодов – от 16,1 до 23,3 т/га. Прибавки от новых форм удобрений в условиях этого года были менее существенны по сравнению с базовыми вариантами.

В целом за два года исследований максимальная прибавка корнеплодов моркови получена от комплексных NPK 14–10–19 с S, B, Cu и медленнодействующей формы NPK14–10–19 с S, B при дозе внесения $N_{90}P_{64}K_{122}$ – 4,1 и 6,9 т/га по сравнению с внесением стандартных туков и 3,4–6,2 т/га – от комплексных удобрений без добавок. Применение серосодержащих удобрений с модифицирующей добавкой обеспечивало только тенденцию увеличения урожайности корнеплодов на уровне 2,3 т/га, комплексных бесхлорных с добавками – 2,0–4,1 т/га (прибавка достоверна только при внесении NPK с Mg, S, B, Cu и регулятора роста растений Эпин) по сравнению с базовыми вариантами.

Учет урожайности корнеплодов моркови и ботвы в сентябре (15.09.2011 г.) и октябре (20.10.2012 г.) свидетельствует о том, что после первичного учета урожая наблюдается дальнейшее увеличение биомассы продукции моркови. При этом урожайность корнеплодов повышалась в зависимости от вариантов опыта с удобрениями в 1,93–2,37 раза, а прирост ботвы – в 1,21–1,89 раза (по средним данным за два года) (табл. 3).

Урожайность биомассы моркови (корнеплоды + ботва) на момент уборки различалась также по годам исследований и в 2011 г. была в пределах от 57,8 (контроль) до 89,5–122,0 т/га (с удобрениями), корнеплодов – от 52,0 и до 85,0–99,1 т/га, в 2012 г. – от 67,2 до 91,8–104,9, корнеплодов – от 43,5 и до 59,2–68,3 т/га соответственно. При поздних сроках уборки моркови лучшими оказались удобрения марки 14–10–19 с S, B, Cu при дозе внесения $N_{110}P_{78}K_{149}$ с прибавкой в 5,8 т/га, а также медленнодействующие комплексные удобрения с микроэлементами (вар. 6, 7) в дозе $N_{90}P_{64}K_{122}$ с прибавкой корнеплодов на уровне 9,7–10,0 т/га по сравнению с внесением стандартных туков.

Применение азотно-серосодержащих (NS) удобрений на фоне РК и комплексных бесхлорных также было эффективно при возделывании моркови. Урожайность корнеплодов в среднем за два года с азотно-серосодержащими удобрениями составляла от 77,9 до 81,0 т/га, с комплексными бесхлорными – 75,9–80,5 т/га. Включение в состав этих удобрений микроэлементов или микроэлементов и регулятора роста растений Эпин обеспечивало повышение урожайности корнеплодов на 1,9–4,6 т/га.

Согласно ГОСТ 51782 – 2001 «Морковь столовая свежая, реализуемая в розничной торговой сети», к стандартным относятся корнеплоды, имеющие типичную для ботанического сорта форму и окраску, длиной не менее 10 см и размером по наибольшему поперечному диаметру не менее 2 см, без механических повреждений. К нестандартным относятся корнеплоды диаметром до 2,0 см или более 6,0 см, треснувшие, сломанные, уродливые по форме, разветвленные, поврежденные вредителями. Корнеплоды стандартной моркови используются для реализации на рынке свежей овощной продукции и закладки на хранение, а нестандартная морковь направляется на переработку либо на корм скоту.

Таблица 2

Урожайность моркови на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве при ранних сроках уборки, 2011–2012 гг.

Вариант (нумерация согласно схеме опыта)	Урожайность, т/га							
	корнеплоды + ботва				корнеплоды			
	2011 г.	2012 г.	среднее	+, – к базовому	2011 г.	2012 г.	среднее	+, – к базовому
1. Контроль без удобрений	42,7	25,0	33,9	–	32,0	16,1	24,1	–
2. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (смесь удобрений – карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий) – ***базовый 1***	66,0	30,8	48,4	–	44,7	20,8	32,8	–
NPK 14–10–19 (хлорсодержащее)								
2а. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (комплексное без добавок)	67,3	31,0	49,2	0,8	45,4	21,5	33,5	0,7
3. $N_{70}P_{50}K_{95}$ (комплексное с S, B, Cu)	57,3	33,8	45,6	2,9	40	21,4	30,7	–2,1
4. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (комплексное с S, B, Cu)	74,7	34,3	54,5	6,1	51,3	22,5	36,9	4,1
5. $N_{110}P_{78}K_{149}$ (комплексное с S, B, Cu)	74,7	32,9	53,8	5,4	50,7	20,9	35,8	3,0
6. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (комплексное с S, B, Cu медленнодействующее)	78	35,4	56,7	8,3	52,3	23,3	37,8	5,0
7. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (комплексное с S, B медленнодействующее)	86,7	34,7	60,7	12,3	57,3	22	39,7	69

Окончание табл. 2

Вариант (нумерация согласно схеме опыта)	Урожайность, т/га							
	корнеплоды + ботва				корнеплоды			
	2011 г.	2012 г.	среднее	+, – к базовому	2011 г.	2012 г.	среднее	+, – к базовому
NS 20–4 на фоне РК								
11. N_{90} (NS = 20–4) + $P_{64}K_{122}$ – ***базовый 2***	84,7	35,9	60,3	–	50,7	22,6	36,7	–
12. N_{90} (NS = 20–4) с B, Cu (в хелатной форме) + $P_{64}K_{122}$	82	33,1	57,6	–2,7	54,7	23,3	39	2,3
NPK 14–7,5–16 (бесхлорное)								
13. $N_{90}P_{48}K_{104}$ комплексное бесхлорное без добавок – ***базовый 3***	78,7	31,1	54,9	–	53,3	22	37,7	–
13а. $N_{90}P_{48}K_{104}$ (комплексное бесхлорное с Mg, S, B, Cu)	82,9	35,2	59,1	4,2	56,7	22,6	39,7	2,0
14. $N_{90}P_{48}K_{104}$ (комплексное бесхлорное с Mg, S, B, Cu и регулятором роста растений Эпин)	83,3	36,1	59,7	4,8	60,7	22,8	41,8	4,1
$НСР_{05}$	5,8	2,0	4,3	–	5,3	1,4	3,9	–

Таблица 3

Урожайность моркови на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве при поздних сроках уборки, 2011–2012 гг.

Варианты	Урожайность, т/га							
	корнеплоды + ботва				корнеплоды			
	2011 г.	2012 г.	среднее	+, – к базовому	2011 г.	2012 г.	среднее	+, – к базовому
1. Контроль без удобрений	57,8	67,2	62,5	–	52	43,5	47,8	0
2. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (смесь удобрений – карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий) – ***базовый 1***	91,3	93,8	92,6	–	86,7	59,6	73,2	–
NPK 14–10–19 (хлорсодержащее)								
2а. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (комплексное без добавок)	89,5	95,7	92,6	0	85	60,8	72,9	–0,3
3. $N_{70}P_{50}K_{95}$ (комплексное с S, B, Cu)	102,1	91,8	97,0	4,4	86,6	59,2	72,9	–0,3
4. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (комплексное с S, B, Cu)	110,1	96,1	103,1	10,5	89,6	62,3	76,0	2,8
5. $N_{110}P_{78}K_{149}$ (комплексное с S, B, Cu)	110,0	101,5	105,8	13,2	92,6	65,3	79	5,8
6. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (комплексное с S, B, Cu медленнодействующее)	113,5	104,9	109,2	16,6	98,3	67,5	82,9	9,7

Окончание табл. 3

Варианты	Урожайность, т/га							
	корнеплоды + ботва				корнеплоды			
	2011 г.	2012 г.	среднее	+, – к базовому	2011 г.	2012 г.	среднее	+, – к базовому
7. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (комплексное с S, B медленнодействующее)	119,1	103,5	111,3	18,7	98,1	68,3	83,2	10,0
NS 20–4 на фоне РК								
11. N_{90} (NS = 20–4) + $P_{64}K_{122}$ – ***базовый 2***	118,1	94,3	106,2	–	94,6	61,2	77,9	–
12. N_{90} (NS = 20–4) с B, Cu (в хелатной форме) + $P_{64}K_{122}$	122	96,4	109,2	3,0	99,1	62,8	81,0	3,1
NPK 14–7,5–16 (бесхлорное)								
13. $N_{90}P_{48}K_{104}$ комплексное бесхлорное без добавок – ***базовый 3***	107,9	95,7	101,8	–	90,9	60,9	75,9	–
13а. $N_{90}P_{48}K_{104}$ (комплексное бесхлорное с Mg, S, B, Cu)	110,1	93,8	102,0	0,2	92,8	62,7	77,8	1,9
14. $N_{90}P_{48}K_{104}$ (комплексное бесхлорное с Mg, S, B, Cu и регулятором роста растений Эпин)	119,3	97,8	0	6,8	98,5	62,4	80,5	4,6
$НСР_{05}$	5,4	4,5	3,5	–	3,7	3,8	3,8	–

В среднем за 2011–2012 гг. при уборке моркови столовой на ранние сроки реализации товарность ее изменялась незначительно – от 73,7 % в варианте, где применялось комплексное хлорсодержащее удобрение с микроэлементами в дозе $N_{110}P_{78}K_{149}$, до 85,7 % в варианте с применением комплексного удобрения с S, B, Cu в дозе $N_{70}P_{50}K_{95}$ (табл. 4). При уборке моркови в поздний срок товарность корнеплодов была меньше и варьировала в пределах от 65,0 до 77,6 % (табл. 5). На контрольном варианте товарность моркови составила 72,2 %, применение стандартных минеральных удобрений уменьшало данный показатель незначительно – до 70,2 %. Внесение комплексного хлорсодержащего удобрения без добавок обеспечивало товарность моркови на уровне 70,8 %, а с добавками микроэлементов – 66,7–76,0 %. Высокая товарность моркови (73,6 %) наблюдалась при применении комплексного бесхлорного удобрения без добавок, марки 14–7,5–16. Применение комплексного бесхлорного удобрения с микроэлементами и регулятором роста растений Эпин увеличивало данный показатель до 76,5–77,6 %. Высокая товарность корнеплодов получена также на варианте, где применялось азотно-серосодержащее удобрение с добавками микроэлементов – 74,2 %.

Важнейшим показателем, определяющим качество столовой моркови, является содержание нитратов в корнеплодах (табл. 4, 5). В 2011 г. при уборке моркови на ранние сроки реализации содержание нитратов в корнеплодах изменялось от 29 до 203 мг/кг сырого вещества. В 2012 г. в ранней продукции оно было несколько выше и находилось в пределах от 116 до 290 мг/кг сырого вещества. Однако следует отметить, что при уборке моркови на ранние сроки реализации содержание нитратов во всех вариантах опыта в оба года исследований было ниже предельно допустимого уровня, который составляет 400 мг/кг.

При уборке моркови в поздние сроки содержание нитратов в корнеплодах значительно снижалось. Причем различия по годам были не так существенны, как при уборке моркови на ранние сроки реализации. Так, в 2011 г. содержание нитратов в корнеплодах моркови изменялось в пределах 29–141 мг/кг, в 2012 г. – 29–146 мг/кг сырого вещества. В целом по содержанию нитратов вся морковь, убранная в поздний срок, соответствовала гигиеническим требованиям к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов.

Таблица 4

Влияние комплексных удобрений на выход стандартных корнеплодов моркови и содержание нитратов при ранних сроках уборки, 2011–2012 гг.

Вариант	Урожайность, т/га					Содержание нитратов, мг/кг сырого вещества	
	стандартная продукция (при уборке)				товарность, %*		
	2011 г.	2012 г.	среднее	+, – к базовым		2011 г.	2012 г.
1. Контроль без удобрений	26,2	14,1	20,2	–	83,8	58	238
2. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (смесь удобрений – карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий) – ***базовый 1***	36,1	18,2	27,1	–	82,6	176	290
NPK 14–10–19 (хлорсодержащее)							
2а. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (комплексное без добавок)	36,2	18,2	27,2	0,1	81,2	174	287
3. $N_{70}P_{50}K_{95}$ (комплексное с S, B, Cu)	34,7	17,9	26,3	–0,8	85,7	172	116
4. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (комплексное с S, B, Cu)	40,6	18,6	29,6	2,5	80,2	137	222
5. $N_{110}P_{78}K_{149}$ (комплексное с S, B, Cu)	34,0	18,9	26,4	–0,7	73,7	90	184
6. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (комплексное с S, B, Cu медленнодействующее)	37,3	21,8	29,6	2,5	78,3	101	243
7. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (комплексное с S, B медленнодействующее)	42,0	20,8	31,4	4,3	79,1	49	212

Окончание табл. 4

Вариант	Урожайность, т/га					Содержание нитратов, мг/кг сырого вещества	
	стандартная продукция (при уборке)				товарность, %*		
	2011 г.	2012 г.	среднее	+, – к базовым		2011 г.	2012 г.
NS 20–4 на фоне РК							
11. N_{90}(NS = 20–4) + $P_{64}K_{122}$ – ***базовый 2***	37,4	21,3	29,3	–	79,8	111	230
12. N_{90} (NS = 20–4) с B, Cu (в хелатной форме) + $P_{64}K_{122}$	42,7	21,3	32,0	2,7	82,1	168	223
NPK 14–7,5–16 (бесхлорное)							
13. $N_{90}P_{48}K_{104}$ комплексное бесхлорное без добавок – ***базовый 3***	42,9	18,8	30,9	–	82,0	203	195
13а. $N_{90}P_{48}K_{104}$ (комплексное бесхлорное с Mg, S, B, Cu)	47,1	20,7	33,9	3,0	85,4	199	189
14. $N_{90}P_{48}K_{104}$ (комплексное бесхлорное с Mg, S, B, Cu и регулятором роста растений Эпин)	47,0	20,5	33,8	2,9	80,9	66	200
$НСР_{05}$	2,29	1,68	2,01	–	5,6	16,6	17,5

Примечание. Товарность приведена по средним показателям за два года.

Таблица 5

Влияние комплексных удобрений на выход стандартных корнеплодов моркови и содержание нитратов при поздних сроках уборки, 2011–2012 гг.

Вариант	Урожайность, т/га					Содержание нитратов, мг/кг сырого вещества	
	стандартная продукция (при уборке)				товарность, %		
	2011 г.	2012 г.	среднее	+, – к базовым		2011 г.	2012 г.
1. Контроль без удобрений	32,8	36,3	34,5	–	72,2	70	77
2. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (смесь удобрений – карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий) – ***базовый 1***	51,6	51,1	51,4	–	70,2	88	109
NPK 14–10–19 (хлорсодержащее)							
2а. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (комплексное без добавок)	50,9	52,2	51,6	0,2	70,8	87	110
3. $N_{70}P_{50}K_{95}$ (комплексное с S, B, Cu)	46,9	50,2	48,6	–2,8	66,7	90	88
4. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (комплексное с S, B, Cu)	59,0	53,7	56,3	4,9	74,1	111	121
5. $N_{110}P_{78}K_{149}$ (комплексное с S, B, Cu)	60,9	59,2	60,0	8,6	75,9	133	141
6. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (комплексное с S, B, Cu медленнодействующее)	58,2	61,0	59,6	8,2	71,9	141	133
7. $N_{90}P_{64}K_{122}$ (комплексное с S, B медленнодействующее)	60,8	62,6	61,7	10,3	74,2	135	146

Окончание табл. 5

Вариант	Урожайность, т/га					Содержание нитратов, мг/кг сырого вещества	
	стандартная продукция (при уборке)				товарность, %		
	2011 г.	2012 г.	среднее	+, – к базовым		2011 г.	2012 г.
NS 20–4 на фоне РК							
11. N_{90} (NS = 20–4) + $P_{64}K_{122}$ – ***базовый 2***	48,8	52,4	50,6	–	65,0	176	57
12. N_{90} (NS = 20–4) с B, Cu (в хелатной форме) + $P_{64}K_{122}$	64,9	55,3	60,1	9,5	74,2	150	29
NPK 14–7,5–16 (бесхлорное)							
13. $N_{90}P_{48}K_{104}$ комплексное бесхлорное без добавок – ***базовый 3***	58,6	53,2	55,9	–	73,6	120	70
13а. $N_{90}P_{48}K_{104}$ (комплексное бесхлорное с Mg, S, B, Cu)	63,5	57,2	60,4	4,5	77,6	125	64
14. $N_{90}P_{48}K_{104}$ (комплексное бесхлорное с Mg, S, B, Cu и регулятором роста растений Эпин)	65,9	57,3	61,6	5,7	76,5	101	46
$НСР_{05}$	3,3	3,39	3,34	–	5,1	16,2	15,9

ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные данные по эффективности комплексных, а также азотно-серосодержащих удобрений с модифицирующими добавками при возделывании моркови на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в условиях 2011–2012 гг. позволяют сделать следующие выводы.

1. Применение комплексных как хлорсодержащих, так и бесхлорных, а также азотно-серосодержащих удобрений (на фоне РК) с добавками микроэлементов или микроэлементов и регулятора роста растений Эпин в технологии возделывания моркови является перспективным агротехническим приемом, позволяющим увеличить урожайность и улучшить ее качество.

2. В целом за два года исследований максимальная урожайность и прибавка корнеплодов моркови как в ранние, так и в поздние сроки уборки получена от комплексных NPK с S, B, Cu (14–10–19) при урожайности в ранние сроки уборки 36,9 т/га и поздние – 76,0 т/га, а также от медленнодействующей формы NPK с S, B с урожайностью 39,7 и 83,2 т/га соответственно при дозе внесения $N_{90}P_{64}K_{122}$, где получены прибавки корнеплодов 4,1 и 6,9 т/га по сравнению с внесением стандартных туков и 3,4–6,2 т/га – от комплексных удобрений без добавок. При ранних сроках уборки моркови лучшей дозой оказалась $N_{90}P_{64}K_{122}$, при поздних – $N_{110}P_{78}K_{149}$.

3. Лучшей формой комплексного бесхлорного удобрения оказалась марка NPK с Mg, S, B, Cu и регулятором роста растений Эпин (14–7,5–16) при дозе внесения $N_{90}P_{48}K_{104}$ (сумма NPK равна 242 кг/га д.в.), обеспечившая урожайность корнеплодов (в среднем за два года исследований) на уровне 418 (ранние сроки уборки) и 805 ц/га (поздние сроки уборки) с их прибавкой от 41 и 46 ц/га по сравнению с аналогичным комплексным удобрением без добавок.

4. Применение азотно-серосодержащих удобрений NS (20–4) без добавок и NS (20–4) с B, Cu (в хелатной форме) на фоне $P_{64}K_{122}$ обеспечивало урожайность на уровне 36,7–39,0 (ранние сроки уборки) и 77,9–81,0 (поздние сроки уборки) т/га с тенденцией повышения урожайности корнеплодов на 2,3–3,1 т/га от применения азотно-серосодержащего удобрения с модифицирующими добавками по сравнению с удобрением без добавок.

5. Применение твердых комплексных хлорсодержащих и бесхлорных удобрений, а также азотно-серосодержащих с модифицирующими добавками обеспечивало высокий уровень товарности корнеплодов при содержании нитратов в пределах требуемых стандартов при разных сроках их уборки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аутко, А.А. Производство овощей в открытом грунте / А.А. Аутко // Белорусское сельское хозяйство. – 2003. – № 5(13). – С. 24–27.

2. Аутко, А.А. Овощеводство Беларуси / А.А. Аутко, Г.И. Гануш, Н.Н. Долбик; под ред. А.А. Аутко. – Минск, 2003. – 623 с.

3. Бохан, А. Как вырастить морковь / А. Бохан // Белорусское сельское хозяйство [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: http://agriculture.by/?p=1710. – Дата доступа: 15.04.2012.

4. Григоров, М.С. Как повысить эффективность производства моркови / М.С. Григоров, С.В. Сарана // Картофель и овощи. – 1990. – № 5. – С. 32–36.

5. Яровий, Г.И. Сучасний стан і перспективи розвитку овочівніцтву в Украіні / Г.И. Яровий // Овочивництво і баштанництво. – 2006. – № 52. – С. 18–21.

6. Ассортимент овощных культур для открытого грунта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rijkzwaan.ru/rzz/ru/siteru.nsf/0/C49E528A5C1063C3C125745F00286597/$FILE/Fruitcrops_lettuce_brochure.pdf. – Дата доступа: 12.01.2011.

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

INFLUENCE OF COMPLEX FERTILIZERS WITH MICROELEMENTS ON PRODUCTIVITY, NITRATE AND MARKETABILITY OF CARROT EARLY AND LATE HARVESTING TIME

H.V. Pirahouskaya, D.G. Myslivets

Summary

The article provides a comparative effect of doses and complex fertilizers with micronutrient supplements and biologically active substances, as well as nitrogen and sulfur – containing fertilizers are used for the main application to the soil on crop roots carrot, which is removed in the early stages of realization and lay in storage. The article also reflects the influence of the studied fertilizers on quality of table carrot – the output of standard products and nitrate content.

Поступила 11.03.13

УДК 631.811633.4

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР ЭЛЕМЕНТАМИ ПИТАНИЯ

Н.Н. Семененко[1], Н.Ю. Жабровская[2], Т.А. Воробьева[3]

[1]Институт мелиорации, г. Минск, Беларусь

[2]Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

[3]Министерство сельского хозяйства и продовольствия РБ, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Столовые корнеплоды имеют длительный период вегетации, в течение которого изменяется потребность в элементах питания и интенсивность их поглощения растениями. В зависимости от сложившихся погодных условий предшествующего и текущего вегетационных периодов доступность растениям и эффективное действие на урожайность элементов питания почвы и внесенных удобрений

изменяются. При этом происходят существенные изменения в качестве питания растений, отклоняются от оптимальных значений соотношения усваиваемых элементов: N/P/K, K/Ca + Mg, K/Na и др., что сказывается на урожайности растений и качестве продукции. Усугубляет такое явление значительная дифференциация почв отдельных полей по уровню окультуренности, дефицит и неравномерность внесения удобрений. И если результаты анализа почвы дают информацию о запасе питательных веществ в ней и прогнозе обеспеченности ими в течение вегетации растений, то анализ растений говорит о том, что из этого запаса им доступно. Для управления продукционным процессом сельскохозяйственных культур, повышения эффективности удобрений, прежде всего, азотных, и качества продукции необходим оперативный диагностический контроль за режимом питания растений в конкретных условиях вегетации. На основании полученных результатов делают вывод о корректировке доз удобрений по полям для основного внесения и в подкормки растений [1–5].

Различают следующие виды растительной диагностики:

а) визуальная – проводится осмотр посева и без отбора проб растений по внешним признакам устанавливаются отклонения в питании растений;

б) биометрическая – по биометрико-морфологическим учетам;

в) химическая – по химическому анализу проб.

Ведущим видом растительной диагностики является химическая, которая позволяет заблаговременно выявить недостаточное питание тем или иным элементом. По химическому составу нормально развитых, высокоурожайных растений можно определить оптимальное количество и качественное соотношение основных элементов питания в них по фазам их развития. Это дает возможность уточнить необходимый состав видов удобрений и систему их применения с учетом потребности в них растений по периодам формирования урожайности и направленно повлиять на ее величину и качество товарной продукции [6–8].

Исследования по диагностике минерального питания овощных культур проводили З.И. Журбицкий (1963), К.П. Магницкий (1972), В.А. Борисов (1978), В.В. Церлинг (1990), В.А. Ермохин (1995). Для эффективного применения удобрений, своевременной и точной корректировки условий питания сельскохозяйственных культур, определения величины урожая и его качества задолго до уборки научной школой профессора Ю.И. Ермохина разработана система «ПРОД», которая включает в себя три блока: 1) установление обеспеченности растений макро- и микроэлементами до сева (посадки) на основе почвенной диагностики (ПД); 2) контроль питания растений в период их активного роста и развития на основе растительной диагностики (РД); 3) научное прогнозирование величины и биологической полноценности растениеводческой продукции по установленным формулам листового и тканевого анализа. Данная концепция используется для оптимизации питания сельскохозяйственных культур на черноземах Западной Сибири [1–3].

В мировой практике по управлению режимом минерального питания сельскохозяйственных культур известно несколько методических подходов. Наиболее отработаны и известны – интегрированная система диагноза и рекомендаций (ДРИС)

в США, Канаде, Англии, Китае и интегрированная система оперативной диагностики (ИСОД), разработчиком которой является Почвенный институт им. В.В. Докучаева (Россия). Их объединяет то, что для диагностики растений используются результаты анализов концентрации валовых форм элементов. Анализ растений на содержание валовых форм элементов питания энергозатратный, трудоемкий, травмоопасный и, главное, недостаточно точно отражает режим питания растений на момент проведения диагностики. Использование такого метода для условий Беларуси неприемлемо, так как период от отбора проб в поле до получения данных по концентрации элементов растягивается до 5–7 суток. Более объективную оценку режима питания растений дает анализ концентрации минеральных соединений элементов.

Недостаточная теоретическая проработка принципов и отсутствие в практике методологической основы управления минеральным питанием растений, сбалансированности элементов для почвенно-климатических условий республики является обоснованием для проведения предлагаемых исследований. Анализ литературных источников и существующих технологий возделывания овощных культур в республике указывает на отсутствие теоретических разработок по системе управления их продукционным процессом. В связи с вышеизложенным в 2001-2006 гг. проводили исследования по разработке методов диагностики овощных культур, нормативной базы по дифференциации азотных, фосфорных и калийных удобрений, применению микроэлементов и биологически активных веществ.

Целью первого этапа работы была разработка экспресс-методов определения обеспеченности овощных культур элементами питания.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на опытном участке РУП «Институт овощеводства» на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Исследуемая почва перед закладкой опытов характеризовалась следующими агрохимическими показателями: pH KCl – 6,1–6,5; содержание гумуса – 2,54–2,82 %; P_2O_5 (0,2 M HCl) – 276–370 мг/кг; K_2O (0,2 M HCl) – 296–340 мг/кг почвы.

Повторность опытов – 4-кратная. Размер учетных делянок для моркови, столовой свеклы – 20 м^2.

Овощные культуры выращивались на узкопрофильных грядах, сформированных УК-0,7.

Для диагностики минерального питания овощных культур авторами были проведены поисковые исследования по адаптации экспресс-методов определения нитратного и аммонийного азота, фосфора и калия в растениях на основе многокомпонентного экстрагирования, разработанных в Институте почвоведения и агрохимии под общим руководством Н.Н. Семененко. Определение минеральных соединений азота, фосфора и калия в растениях основано на извлечении их из навески сырой растительной массы 0,2 М раствором уксусной кислоты при соотношении массы растения и раствора 1:20, время взаимодействия

навески с экстрагентом – 16 ± 0,5 ч, с последующим определением нитратов с помощью ионоселективного электрода, аммонийного азота и фосфора – на фотоэлектроколориметре в виде окрашенных соединений, калия – на пламенном фотометре [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с данной методикой были разработаны экспресс-методы определения обеспеченности овощных культур элементами питания, основанные на извлечении их из навески сырой растительной массы 0,2 М раствором уксусной кислоты при соотношении массы растения и раствора 1:10, с последующим определением нитратного и аммонийного азота, фосфора – на фотоэлектроколориметре в виде окрашенных соединений, калия – на пламенном фотометре.

1. Отбор растительных проб проводится через 1–2 суток после дождя или полива. Растительные пробы отбирают утром до 10.00, это связано с тем, что с утра растения больше содержат минеральных соединений азота, а также, чтобы успеть их обработать в день отбора. Перед отбором растительных проб осматривают все поле исследуемой культуры, отмечают участки с нарушенным состоянием растений и выделяют типичные для отбора проб.

С учетного участка проходом по двум диагоналям отбирают в первый срок всю надземную массу листьев, а во второй – 3–4-й лист от центра с 20–25 типичных растений с площади до 5 га.

Пробы с этикеткой, в которую заносится номер пробы, место ее отбора, дата, фамилия лица, производившего отбор проб, помещают в полиэтиленовые пакеты так, чтобы сохранить их влагу. Учитывая быстрое превращение неорганических соединений элементов питания, необходимо оперативно выполнить анализ растений. При невозможности выполнить его в день отбора проб их хранят в холодильнике не более суток при температуре + 4–5 ^{o}C.

2. Подготовка к анализу

2.1. **Подготовка проб к анализу**

Пробы сырых растений измельчают до размера частиц не более 1 см. Измельченную массу тщательно растирают и перемешивают.

2.2. **Приготовление экстрагирующего раствора (0,2 М уксусной кислоты):** 12 см^3 ледяной уксусной кислоты помещают в колбу вместимостью 1000 см^3 и доводят объем дистиллированной водой до метки. Точную концентрацию полученного раствора устанавливают титрованием 0,1 М NaOH (фиксанал). Допускается использование раствора уксусной кислоты концентрации от 0,19 до 0,21 моль/дм^3.

2.3. **Приготовление вытяжки:** 10 г сырой растительной массы, взвешенной с погрешностью не более 0,1 г, переносят в конические колбы или другие емкости вместимостью 200–250 см^3. К пробам приливают по 100 см^3 0,2 М уксусной кислоты. Содержимое колб перемешивают вручную в течение одной минуты и оставляют на 16–18 часов (на ночь). Затем суспензии фильтруют через бумажные фильтры.

3. Определение нитратного азота

3.1. **Определение нитратного азота**

Сущность метода заключается в извлечении нитратного азота 0,2 М CH_3COOH при соотношении пробы и экстрагента 1:10. Нитратный азот определяется фотометрически после восстановления его сернокислым гидразином до нитритного, диазотирования нитритного азота сульфаниламидом и образования с альфа-нафтиламином окрашенного розового соединения, имеющего максимум поглощения при 545 нм. Данным методом определяется сумма нитратного и нитритного азота. Однако содержание нитритов относительно нитратов крайне низкое и находится в пределах ошибки анализа.

3.2. **Подготовка реактивов к анализу**

3.2.1. Раствор катализатора: 2,5 г (2,5±0,01) меди (II) сернокислой 5-водной ($CuSO4 \cdot 5H_2O$) растворяют в дистиллированной воде в мерной колбе вместимостью 1000 $см^3$ и доводят объем до метки. Раствор хранят до 1 года.

3.2.2. Запасной раствор восстановителя: 27,5 г гидразина сернокислого, взвешенного с погрешностью не более 0,1 г, растворяют в дистиллированной воде и доводят объем до метки в мерной колбе вместимостью 1000 $см^3$. Хранится раствор 6 месяцев.

3.2.3. Рабочий восстанавливающий раствор: 6 $см^3$ раствора катализатора и 200 $см^3$ запасного раствора восстановителя переносят в мерную колбу вместимостью 1000 $см^3$, доводят дистиллированной водой до метки и перемешивают. В хорошо закрытой склянке из темного стекла раствор сохраняется в течение недели.

3.2.4. Запасной окрашивающий раствор: в мерную колбу емкостью 1000 $см^3$ наливают 500 $см^3$ дистиллированной воды, приливают 100 $см^3$ ортофосфорной кислоты, перемешивают, растворяют в полученной смеси 5,0 г сульфаниламида и 1,0 г N-этил-нафтиламин гидрохлорида или нафтиламина-альфа, или N-(1-нафтил)-этилендиамин дигидрохлорида, взвешенных с погрешностью не более 0,1 г, перемешивают и доводят в мерной колбе до метки дистиллированной водой. Хранят в холодильнике в склянке из темного стекла не более 1 месяца.

3.2.5. Рабочий окрашивающий раствор готовят в день проведения анализа. Запасной окрашивающий раствор разбавляют в 5 раз дистиллированной водой в соотношении 1:4 (50 $см^3$ нафтиламина + 200 $см^3$ воды) и на каждый литр рабочего раствора прибавляют по 0,2 г трилона Б (на кончике скальпеля).

3.2.6. Приготовление щелочного 0,5 % раствора натрия пирофосфорнокислого: 5,0 г натрия пирофосфорнокислого и 11,6 г гидроокиси натрия, взвешенных с погрешностью не более 0,1 г, растворяют в дистиллированной воде, общий объем доводят до 1000 $см^3$. Хранят до 3 месяцев.

3.2.7. Приготовление образцовых растворов нитрата.

3.2.7.1. Приготовление исходного образцового раствора: 7,22 г калия азотнокислого, перекристализованного и высушенного при 100–105 °С до постоянного веса, взвешивают с погрешностью не более 0,01 г и растворяют в 0,2 М CH_3COOH, доводят объем до метки в мерной колбе вместимостью 1000 $см^3$. Полученный раствор содержит 0,1 мг нитратного азота ($N\text{-}NO_3$) в 1 $см^3$.

3.2.7.2. Приготовление растворов сравнения: в мерные колбы вместимостью 250 мл наливают из бюретки количества исходного образцового раствора, указанные в табл. 1, и доводят до метки раствором 0,2 М CH_3COOH.

Таблица 1

Приготовление растворов сравнения для определения нитратного азота

Характеристика раствора	Номер раствора сравнения							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Объем исходного образцового раствора, $см^3$	0	2,5	5,0	10,0	20	30	40	50
Содержание нитратного азота в растворе сравнения мг/1 $дм^3$	0	1,0	2,0	4,0	8,0	12,0	16,0	20,0
Содержание нитратного азота в растворе мг/$см^3$	0	0,001	0,002	0,004	0,008	0,012	0,016	0,020
Содержание нитратного азота мг в 1 кг массы растений	0	10	20	40	80	120	160	200

Из полученных растворов берут пробы, равные по объему пробам вытяжек из растений, и окрашивают их точно так же, как при анализе вытяжек, а затем фотоколориметрируют.

3.3. **Проведение анализа**

Отбирают дозатором 1 $см^3$ 0,2 м CH_3COOH вытяжки из растений (п.2.3) и переносят в колбу. К пробам добавляют 10 $см^3$ 0,5 % раствора натрия пирофосфорнокислого, перемешивают, прибавляют 10 $см^3$ рабочего восстанавливающего раствора и снова перемешивают. Через 10 мин приливают 25 $см^3$ рабочего окрашивающего раствора, снова перемешивают и оставляют на 15 мин для полного развития окраски. Окрашенные растворы фотоколориметрируют в кювете с толщиной просвечиваемого слоя 1 см при 545 нм (желто-зеленый светофильтр), если используется N (1-нафтил)-этилендиамин дигидрохлорид или N-этил-1-нафтиламин гидрохлорид, и при 520 нм (зеленый светофильтр), если используется альфа-нафтиламин, не ранее чем через 15 мин и не позднее чем через 1,5 ч после прибавления окрашивающего раствора.

3.4. **Обработка результатов**

По результатам фотоколориметрирования окрашенных растворов сравнения строят калибровочный график, откладывая на оси абсцисс содержание азота нитратов в мг на кг растений, которому соответствует данный раствор, а на оси ординат – оптическую плотность.

Содержание нитратного азота в анализируемых растениях находят непосредственно в мг N на кг массы растений по калибровочному графику. Расчет производится по формуле:

$$X = \frac{a \cdot в \cdot 1000}{с \cdot н} = \frac{a \cdot 100 \cdot 1000}{1 \cdot 10} = a \cdot 10000;$$

где х – содержание нитратного азота в растениях, мг/кг массы;
а – концентрация по калибровочному графику;
в – общий объем экстрагента, 100 см^3;
1000 – перерасчет на килограмм массы;
с – количество фильтрата, взятое для определения, см^3;
н – навеска массы, 10 г.

Если а = 0,001 мг, то $x = \frac{0{,}001 \cdot 100 \cdot 1000}{1 \cdot 10} = 10$ мг/ кг массы.

При наличии персонального компьютера вместо построения калибровочного рассчитывается зависимость показаний прибора (оптическая плотность растворов) от концентрации определяемых стандартных растворов, описываемая соответствующими уравнениями регрессии. Для этого в программе EXCEL строится точечная диаграмма. В электронную таблицу заносятся данные по оси «х» – показания прибора исследуемых стандартных растворов, а по оси «у» – соответствующее им содержание (концентрация) элемента в растениях, мг/кг. Затем к полученной кривой добавляют линию тренда, определяют уравнение регрессии и величину достоверности аппроксимации (R^2).

Типовое уравнение регрессии: $y = a \cdot x \pm b$,

где у – содержание определяемого элемента в растении, мг/кг;
х – оптическая плотность исследуемого раствора.

За результат анализа принимают значение единичного определения азота нитратов. Результат анализа выражают в мг на 1 кг массы растений с округлением до целого числа.

Допускаемое отклонение от среднего арифметического при повторных анализах проб составляет в одной лаборатории до 10, в разных лабораториях – до 15 %.

При необходимости иметь данные в расчете на нитраты полученные результаты умножают на коэффициент 4,43.

4. Определение аммонийного азота

4.1. Определение аммонийного азота

Сущность метода заключается в извлечении подвижного аммония 0,2 М раствором уксусной кислоты концентрации, получении окрашенного индофенольного соединения, образующегося при взаимодействии аммония с гипохлоритом и салицилатом натрия в щелочной среде, и последующем фотометрировании окрашенного раствора.

4.2. Подготовка к анализу

4.2.1. Приготовление запасного окрашивающего раствора: 56,7 г салицилово-кислого натрия, 16,7 г виннокислого калия-натрия и 30,3 г гидроокиси натрия, взвешенных с погрешностью не более 0,1 г, помещают в стакан из термостойкого

стекла вместимостью 1000 см^3, растворяют в 700 см^3 дистиллированной воды и кипятят в течение 20 мин для удаления аммиака. После охлаждения раствор переносят в мерную колбу вместимостью 1000 см^3, добавляют 0,4 г нитропруссидного натрия, взвешенного с погрешностью не более 0,01 г, и после полного растворения навески доводят дистиллированной водой объем раствора до метки.

Раствор хранят в холодильнике в склянке из темного стекла с притертой пробкой не более 2 месяцев.

4.2.2. Приготовление 0,1 М раствора серноватисто-кислого натрия ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$): готовят по СТ СЭВ 3675–82 или из стандарт-титра.

4.2.3. Приготовление запасного раствора гипохлорита натрия: 150 г хлорной извести взвешивают с погрешностью не более 0,1 г, помещают в химический стакан вместимостью 1000 см^3, прибавляют 255 см^3 дистиллированной воды и перемешивают; 105,0 г углекислого натрия взвешивают с погрешностью не более 0,1 г, помещают в химический стакан вместимостью 500 см^3 и растворяют в 255 см^3 дистиллированной воды.

Раствор углекислого натрия вливают в раствор хлорной извести при непрерывном перемешивании. Масса сначала густеет, потом разжижается. Полученную суспензию оставляют на 1–2 суток для отстаивания, затем прозрачную надосадочную жидкость сливают, отфильтровывают и используют для работы. Полученный реактив обычно имеет концентрацию активного хлора 4–8 % и хранится в склянке из темного стекла в холодильнике до года.

Концентрацию активного хлора в растворе гипохлорита натрия устанавливают титрованием. Для этого в коническую колбу вместимостью 100 см^3 отбирают 1 см^3 приготовленного раствора и разбавляют дистиллированной водой до объема 40–50 см^3. Прибавляют 2 г йодистого калия, взвешенного с погрешностью не более 0,1 г, и 10 см^3 1 М раствора соляной кислоты. Образовавшийся йод титруют раствором серноватистокислого натрия до исчезновения вишневой окраски. 1 см^3 раствора серноватистокислого натрия соответствует 0,00355 г хлора.

Пример расчета: на титрование 1 см^3 раствора гипохлорита натрия израсходовано 20 см^3 0,1 М раствора серноватистокислого натрия. Содержание активного хлора в 1 см^3 приготовленного раствора равно: 0,00355х20 = 0,071 г хлора, т. е. концентрация раствора по Cl равна 7,1 %.

Концентрацию раствора проверяют по п. 4.2.3 не реже одного раза в 3 месяца.

4.2.4. Приготовление раствора гипохлорита натрия с массовой долей 0,2 %: запасной раствор гипохлорита натрия, приготовленный по п. 4.2.3, разбавляют дистиллированной водой до заданной концентрации. В приведенном примере для получения 100 см^3 0,2 % раствора гипохлорита натрия следует взять 2,8 см^3 запасного раствора и довести водой до 1000 м^3: $x = 0{,}2 \cdot 100 : 7{,}1 = 2{,}8$ см^3.

4.2.5. Приготовление исходного раствора с массовой концентрацией азота аммония 0,25 мг/см^3: 0,955 г хлористого аммония, высушенного при температуре 100–105 °С до постоянной массы, взвешивают с погрешностью не более 0,001 г, помещают в мерную колбу вместимостью 1000 см^3 и растворяют в 0,2 М уксусной кислоте, приготовленной по п. 2.2, доводят объем до метки.

Раствор хранят в склянке с притертой пробкой в холодильнике не более 1 месяца.

4.2.6. Приготовление растворов сравнения: в мерные колбы вместимостью 250 см^3 помещают указанные в табл. 2 объемы раствора, приготовленного по п. 4.2.5, и доводят их до меток 0,2 М раствором уксусной кислоты.

Таблица 2

Приготовление растворов сравнения для определения аммонийного азота

Характеристика раствора	Номер раствора сравнения							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Объем раствора, приготовленного по п. 4.2.5, $см^3$	0	1	2	4	8	12	16	20
Концентрация азота аммония: в растворе сравнения, $мг/дм^3$	0	1	2	4	8	12	16	20
В пересчете в массовую долю азота аммонияв растениях, мг/кг	0	10	20	40	80	120	160	200

Растворы сравнения используют для градуировки фотоэлектроколориметра в день проведения анализа. Окрашивание растворов сравнения проводят аналогично окрашиванию анализируемых вытяжек и одновременно с ними.

4.3. Проведение анализа

4.3.1. Приготовление вытяжки

Для анализа используют фильтраты вытяжек, приготовленных по п. 2.3.

4.3.2. Определение аммонийного азота: в мерные колбы вместимостью 50 $см^3$ отбирают по 1 $см^3$ фильтратов и растворов сравнения, к пробам прибавляют немного дистиллированной воды, затем по 5 $см^3$ запасного окрашивающего раствора, приготовленного по п. 4.2.1, по 2 $см^3$ раствора гипохлорита натрия с массовой долей 0,2 % и доводят до метки водой, растворы перемешивают после каждого дозирования.

Окрашенные растворы фотоколориметрируют не ранее чем через 1 ч и не позже чем через 2,5 ч после прибавления раствора гипохлорита натрия в кювете с толщиной просвечиваемого слоя 1 см относительно раствора сравнения № 1 при длине волны 655 нм или используя красный светофильтр с максимумом пропускания в области 630–670 нм.

Допускается пропорциональное изменение объемов проб анализируемых вытяжек, растворов сравнения и растворов реагентов при погрешности дозирования не более 1 %.

4.4. Обработка результатов

По результатам фотоколориметрирования растворов сравнения строят градуировочный график. По оси абсцисс откладывают концентрации азота аммония в пересчете в мг на 1 кг растительной массы, а по оси ординат – соответствующие им показания фотоэлектроколориметра.

Массовую долю азота аммония в анализируемых растениях определяют непосредственно по градуировочному графику и вычитают из нее результат холостого опыта.

Если результат определения выходит за пределы градуировочного графика, определение повторяют, предварительно разбавив фильтрат 0,2 М раствором уксусной кислоты. Результат, найденный по графику, увеличивают во столько раз, во сколько был разбавлен фильтрат.

Допускаемые отклонения от среднего арифметического при повторных анализах проб растений не превышают 15 %.

Обработку результатов определения можно также проводить по аналогии с определением содержания нитратного азота в растениях с помощью персонального компьютера.

5. Определение минеральных соединений фосфора и калия

Метод определения минеральных соединений фосфора и калия в растениях основан на извлечении их из навески сырой растительной массы раствором 0,2 М уксусной кислоты с последующим определением фосфора в виде синего фосфорно-молибденового комплекса на фотоэлектроколориметре и калия на пламенном фотометре.

5.2. Подготовка к анализу

5.2.1. Приготовление растворов для определения фосфора

5.2.1.1. Приготовление запасного окрашивающего раствора: 6,0 г молибденово-кислого аммония растворяют в 200 $см^3$ дистиллированной воды; 0,15±0,01 г сурьмяновиннокислого калия растворяют в 100 $см^3$ дистиллированной воды. Оба раствора готовят при слабом нагревании. Охлажденные растворы приливают к 500 $см^3$ раствора 2,5 М серной кислоты (на 500 $см^3$ берут 70 $см^3$ концентрированной серной кислоты). Раствор тщательно перемешивают, переносят в колбу вместимостью 1000 $см^3$, доводят объем дистиллированной водой до метки. Реактив хранят в склянке из темного стекла в течение года.

5.2.1.2. Приготовление рабочего окрашивающего раствора: рабочий окрашивающий раствор готовят в день проведения анализа – 1,0±0,1 г аскорбиновой кислоты растворяют в 170 $см^3$ реактива, приготовленного по п. 5.2.1.1, переносят в мерную колбу вместимостью 1000 $см^3$, доводят объем до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивают.

5.2.1.3. Приготовление раствора с концентрацией фосфора 1 $г/дм^3$: 4,393 г калия фосфорнокислого однозамещенного, высушенного при температуре 100–105°С до постоянной массы, взвешивают с погрешностью 0,001 г и растворяют в 1000 $см^3$ 0,2 М раствора уксусной кислоты. 1 $см^3$ исходного образцового раствора содержит 1 мг фосфора. Раствор хранят не более 1 года.

5.2.1.4. Приготовление растворов сравнения для определения фосфора: в мерные колбы вместимостью 250 $см^3$ помещают из бюретки указанные в таблице 3 объемы раствора, приготовленного по п. 5.2.1.3, и доводят до метки экстрагирующим раствором (0,2 М CH_3COOH). Растворы сравнения хранят не более 1 месяца.

Таблица 3

Приготовление растворов сравнения для определения фосфора

Характеристика раствора	Номера колб растворов сравнения				
	1	2	3	4	5
Объем раствора, приготовленного по п. 5.2.1.3, $см^3$	1	5	10	15	20
Концентрация фосфора: в растворах сравнения, $мг/дм^3$ в растениях, мг/кг	4 40	20 200	40 400	60 600	80 800

5.2.2. Приготовление растворов сравнения для определения калия

5.2.2.1. Приготовление раствора с концентрацией калия 1 $г/дм^3$: 1,921 г перекристаллизованного хлористого калия, высушенного при температуре 100–105 °С до постоянной массы, взвешивают с погрешностью 0,001 г и растворяют в 1000 $см^3$ 0,2 М уксусной кислоты. В 1 $см^3$ исходного образцового раствора содержится 1 мг калия.

5.2.2.2. Приготовление растворов сравнения: в мерные колбы вместимостью 250 $см^3$ помещают из бюретки указанные в табл. 4 объемы раствора хлористого калия, приготовленного по п. 5.2.2.1.

Таблица 4

Приготовление растворов сравнения для определения калия

Характеристика растворов	Номера колб растворов сравнения					
	1	2	3	4	5	6
Объем раствора, приготовленного по п. 5.2.2.1, $см^3$	5	10	20	40	60	80
Концентрация калия: в растворах сравнения, $мг/дм^3$ в растениях, мг/кг	20 200	40 400	80 800	160 1600	240 2400	320 3200

5.3. Проведение анализа

5.3.1. Приготовление вытяжки

Для анализа используют фильтраты вытяжек, приготовленных по п. 2.3.

5.3.2. **Определение фосфора:** отбирают по 2,5 $см^3$ растворов сравнения и фильтратов вытяжек в мерные колбы вместимостью 50 $см^3$, добавляют по 47,5 $см^3$ рабочего окрашивающего реактива. Оптическую плотность окрашенных

растворов измеряют на фотоэлектроколориметре в кювете с толщиной просвечиваемого слоя 0,5–1,0 см не ранее чем через 30 мин и не позднее чем через 1 ч после прибавления окрашивающего реактива при длине волны 710 нм или используя красный светофильтр с максимумом пропускания в области 600–750 нм.

Температура воздуха в рабочем помещении 18–22°С.

5.3.3. Определение калия: калий определяют на пламенном фотометре, используя светофильтр с максимумом пропускания в области 766–770 нм.

5.4. Обработка результатов

Содержание фосфора и калия в растениях определяют непосредственно по градуировочному графику. По оси абсцисс откладывают концентрации фосфора или калия в растворах сравнения в пересчете в мг на кг растительной массы, а по оси ординат – соответствующие им показания приборов.

Если результаты измерений выходят за пределы градуировочного графика, определение повторяют, предварительно разбавив фильтрат экстрагирующим раствором. Результат, найденный по графику, увеличивают во столько раз, во сколько был разбавлен фильтрат.

Допускаемые отклонения от среднего арифметического при повторных анализах проб растений не превышают 15 %.

На основании результатов полевого опыта и химического анализа проб растений моркови и столовой свеклы были установлены ориентировочные уровни обеспеченности растений элементами питания для дальнейшей корректировки применения удобрений (табл. 5).

Для установления корреляционной связи между содержанием минеральных и валовых форм элементов питания растений было определено валовое содержание азота в растениях методом мокрого озоления на KIELTEK AUTO 1030 Analyzer, содержание фосфора – с применением аскорбиновой кислоты, калия – пламенно-фотометрическим методом.

Статистическая обработка данных выявила достаточно тесную корреляционную связь между содержанием минеральных и валовых форм элементов питания, что позволило найти коэффициенты пересчета от минеральных форм к валовым (табл. 6). Зная концентрацию элемента в уксусной вытяжке (мг на кг сырой растительной массы), можно перейти к его валовой форме, разделив это число на соответствующий коэффициент пересчета.

Таблица 5

Ориентировочные уровни минеральных соединений элементов питания в растениях столовых корнеплодов

Растение	Фаза развития	Элемент	Содержание элемента, мг/кг массы			
			низкое	ниже оптимального	оптимальное	выше оптимального
Морковь	6-8 листьев	азот	<700	700-1000	1001-1500	>1500
		фосфор	<400	400-600	601-900	>900
		калий	<5000	5000-7000	7001-9000	>9000
	интенсивный рост корнеплода	азот	<600	600-800	801-1200	>1200
		фосфор	<300	300-450	451-800	>800
		калий	<3500	3500-5000	5001-7000	>7000
Столовая свекла	8-10 листьев	азот	<600	600-900	901-1300	>1300
		фосфор	<350	350-500	501-800	>800
		калий	<6000	6000-8000	8001-12000	>12000
	интенсивный рост корнеплода	азот	<500	500-700	701-1000	>1000
		фосфор	<200	200-300	301-500	>500
		калий	<4000	4500-7000	7001-9000	>9000

Таблица 6

Коэффициент пересчета от минеральных форм элементов питания растений к валовым их формам

Культура, орган	Коэффициент пересчета		
	Азот ($N\text{-}NO_3$+$N\text{-}NH_4$)	Фосфор	Калий
Морковь Лист	14,3	635	756
Корнеплод	64,3	449	651
Столовая свекла Лист	20,9	432	728
Корнеплод	106,5	746	1093

ВЫВОДЫ

В сравнении с базовым вариантом оперативность диагностики возрастает в 4–5 раз, снижаются энергетические затраты на подготовку проб к анализу в 5–6 раз, из цикла аналитических работ исключается применение концентрированной серной кислоты и пергидроля, а также длительный, травмоопасный процесс сжигания растительных проб.

Данная методика может быть использована для управления минеральным питанием овощных растений, для оценки качества продуктивных органов растений при селекционном процессе, для определения сортовых особенностей питания и выноса питательных веществ растениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобренко, И.А. Оптимизация минерального питания кормовых, овощных культур и картофеля на черноземах Западной Сибири: автореф. дис. …д-ра с.-х. наук / И.А. Бобренко. – Омск, 2004. – 84 с.

2. Анализ почв, растений и проблема применения удобрений в Западной Сибири: монография / Ю.И. Ермохин [и др.]. – Омск: ОмГАУ, 2002. – 407 с.

3. Ермохин, Ю.И. Почвенно-растительная оперативная диагностика «ПРОД-ОмСХИ» минерального питания, эффективности удобрений, величины и качества урожая сельскохозяйственных культур: монография / Ю.И. Ермохин. – Омск: ОмГАУ. – 1995. – 208 с.

4. Магницкий, К.П. Диагностика потребности растений в удобрениях / К.П. Магницкий. – М.: Московский рабочий, 1972. – 271 с.

5. Семененко, Н.Н. Экспресс-методы определения нитратного и аммонийного азота, фосфора, калия, кальция, магния и натрия в растениях на основе многокомпонентного экстрагирования / Н.Н. Семененко, С.Е. Головатый, Г.В. Слободницкая; НИГПИПА; под ред. Н.Н. Семененко. – Минск, 1999. – 27 с.

6. Борисов, В.А. Удобрение овощных культур / В.А. Борисов. – М.: Колос, 1975. – 207 с.

7. Журбицкий, З.И. Физиологические и агрохимические основы применения удобрений / З.И. Журбицкий. – М.: АН СССР, 1963. – 294 с.

8. Сабинин, Д.А. Избранные труды по минеральному питанию растений / Д.А. Сабинин. – М.: Наука, 1971. – 512 с.

9. Церлинг, В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник / В.В. Церлинг. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.

METHODS OF DEFINITION SUPPLYING OF VEGETABLE CROPS BY NUTRIENTS

N.N. Semenenko, N.J. Zhabrovskaja, T.A. Vorob'eva

Summary

Methods of definition of mineral nitrogen, phosphorus and potassium compounds in plants are founded on their extraction from weight crude vegetative mass of 0,2 M by an acetic acid solution at correlation of plant mass and solution 1:10 with the subsequent definition nitrogen of nitrates and ammonium and phosphorus – in the form of the painted compounds, potassium – on flaming photometer.

Поступила 18.04.13

УДК 631.53.033*635.925

АДАПТАЦИЯ РЕГЕНЕРАНТОВ ДАЛЕКАРЛИЙСКОЙ БЕРЕЗЫ (*BETULA PENDULA* ROTH. VAR. *DALECARLICA* SCHNEID.) К УСЛОВИЯМ *EX VITRO* НА СУБСТРАТАХ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

А.В. Константинов, Д.В. Кулагин, И.М. Баландина, В.Е. Падутов
Институт леса НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Сады и парки – важнейшие элементы водно-зеленых систем ландшафтов населенных территорий. Создание новых и реконструкция существующих зеленых зон связано с решением ведущих социальных задач – организацией территории для досуга населения и улучшением окружающей среды [1].

Повышение разнообразия древесно-кустарникового ассортимента городского и частного озеленения в последнее время осуществляется за счет посадок большого количества декоративных садовых форм. Значительного увеличения

декоративности городских садов и парков можно достигнуть в случае использования малораспространенных и редких древесных видов, хорошо зарекомендовавших себя в ботанических коллекциях [2].

Ряд декоративных форм встречается среди разновидностей березы повислой (*Betula pendula* Roth.). Особое место занимает далекарлийская береза (*Betula pendula* Roth. *var. dalecarlica* Schneid.). Во взрослом состоянии это растение представляет собой высокое стройное дерево до 25–30 м высотой, характеризующееся перистораздельной листовой пластинкой с узкими длинными лопастями и редкозубыми краями, морозостойкое, светолюбивое, дымо- и газоустойчивое.

Декоративность данной формы сочетается с быстротой роста и крайней неприхотливостью к почвенным условиям, что дает возможность широко использовать ее в целях озеленения даже в местах с суровым климатом и бедными почвами [3, 4].

Семена, образующиеся у далекарлийской березы, имеют достаточно высокую всхожесть, но признак рассеченности листовой пластинки, который определяет ее декоративность, в потомстве практически не сохраняется. При семенном размножении рекомендуется проводить строгий отбор сеянцев с наиболее рассеченными листьями [5, 6].

В случае использования вегетативного размножения, потомство сохраняет все признаки и свойства материнского растения. Наряду с традиционным способом получения вегетативного потомства далекарлийской березы (черенкование), существует возможность применения метода клонального микроразмножения. Его преимущество заключается в получении растений в больших количествах за малые промежутки времени, то есть в высоком коэффициенте размножения (до 10^4–10^5 саженцев кустарниковых и древесных пород в год из одного черенка) [7, 8].

Заключительным, наиболее ответственным и трудоемким этапом, от которого зависит успех процесса клонального микроразмножения, является адаптация растений-регенерантов на почвенных субстратах (*ex vitro*) после их пересадки из стерильных условий выращивания на искусственную агаризованную среду (*in vitro*).

Растения, полученные в культуре тканей, имеют измененный характер физиологических процессов (нарушения в деятельности устьичного аппарата, недостаточное развитие корневых волосков и др.), а для нормального роста в почвенных условиях им необходимо претерпеть глубокую перестройку обменных процессов и морфологических структур. В связи с чем существует необходимость подбора и тщательного соблюдения условий выращивания адаптируемых растений, что позволяет избежать остановки в росте, опадения листьев и подготовить посадочный материал к росту в условиях открытого грунта [9, 10].

Состав и свойства субстрата могут оказывать положительное влияние на процесс адаптации регенерантов березы *ex vitro* и являются одним из ключевых факторов успешной акклиматизации микроклональных растений [11]. На практике в ходе приготовления почвенных смесей в них вносят как естественные (речной песок, торф, сфагновый мох), так и искусственные (агроперлит, минеральное волокно) компоненты, что позволяет изменять механический состав готовых

субстратов в широких пределах. Добавление агроперлита в субстрат позволяет изменять его влагоемкость, воздухопроницаемость и механический состав, создавая оптимальную воздушно-влажную среду для развития корневой системы растений [12].

Целью работы было изучение влияния состава субстрата на процесс адаптации растений-регенерантов далекарлийской березы к почвенным условиям.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа проводилась в лаборатории генетики и биотехнологии Института леса НАН Беларуси. Для проведения исследования был выбран клон «Рл3» из коллекции культур *in vitro*. Данный клон был передан в 2006 г. в порядке обмена старшим научным сотрудником НИИ лесной генетики и селекции (г. Воронеж) к.б.н. Машкиной О.С. Материнское дерево произрастает в Главном ботаническом саду (г. Москва). Внешний вид далекарлийской березы представлен на рис. 1.

Рис. 1. Внешний вид листовой пластинки и дерева березы далекарлийской

Культивирование растений *in vitro* проводилось на безгормональной агаризованной питательной среде для древесных растений WPM [13] при температуре 25 ± 1° С и освещенности 2,5–3 тыс. люкс.

В период адаптации растения выращивались в кассетах с ячейками объемом 70 мл. При посадке растений проводилось укорачивание корней до длины 1–1,5 см. Процесс адаптации включал выращивание растения в лабораторных условиях и в закрытом грунте.

В ходе лабораторного этапа микроклональные растения помещались в климатическую камеру, где поддерживались следующие условия: постоянное освещение лампами марки «Osram Fluora» (1,5–2 тыс. лк), температура 21–23°С и относительная влажность воздуха 70–90 %. Продолжительность культивирования растений составила 45 суток. После чего посадочный материал выращивался в сходных условиях, но при относительной влажности воздуха 50–55 % в течение месяца. Количество исследуемых растений в каждом варианте составляло 54 шт.

Растения отбирались случайным образом, рандомизация выборки подтверждалась проведением однофакторного дисперсионного анализа показателей высоты стволиков микроклональных растений между вариантами перед высадкой. Статистические значения критерия Фишера ($F_{ст}$) при сравнении контрольной выборки с первым и вторым опытными вариантами равнялись 0,33; 3,64 и 2,81 соответственно и не превышали критическое значение ($F_{кр}$) 3,93 при уровне значимости $p > 0,05$, что говорит об отсутствии достоверных отличий высоты регенерантов для адаптации.

Для выращивания растений далекарлийской березы были использованы следующие составы субстратов:

1) смесь нераскисленного верхового торфа с песком в соотношении 3:1 (контроль); 2) смесь торфа с песком с добавлением агроперлита в соотношении 3:1:1; 3) смесь торфа с песком с добавлением агроперлита в соотношении 3:1:2.

По окончании лабораторного этапа адаптации посадочный материал пересаживали в контейнеры объемом 1,2–1,5 л и выращивали в пленочной теплице (в питомнике Кореневской экспериментальной лесной базы Института леса НАН Беларуси) до окончания вегетационного периода. В качестве субстрата использовалась смесь нераскисленного верхового торфа с песком в соотношении 3:1.

Уход за растениями заключался в регулярном поливе и поддержании высокой влажности воздуха и проветривании теплицы.

Агрохимические показатели торфопесчаных субстратов (3:1), применявшихся на различных этапах адаптации, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Агрохимические показатели субстратов

Показатель	Адаптация в лабораторных условиях	Выращивание в теплице Кореневской ЭЛБ
pH KCl	2,8	4,6
$H_г$	17,6	9,2
Степень насыщения основаниями, %	12,64	52,49
P_2O_5, мг/100 г	7,08	13,66
K_2O, мг/100 г	1,61	1,55
N, общ. %	0,156	0,251
P, общ. %	0,013	0,038
K, общ. %	0,022	0,030
$N_{лекг.}$, мг/100 г	9,18	8,06
Ca+Mg, мг-экв/100 г	2,55	10,16
Ca, мг-экв/100 г	1,75	7,24
Mg, мг-экв/100 г	0,80	2,92

После прохождения двух этапов адаптации к почвенным условиям посадочный материал далекарлийской березы был высажен в школьное отделение питомника Кореневской экспериментальной лесной базы для доращивания.

Морфологическое развитие растений оценивали по показателю высоты стволика от поверхности субстрата до последней развитой почки (см). Учитывались процент выживших регенерантов далекарлийской березы и динамика прироста растений в ходе адаптации к нестерильным условиям. Также проводили замер растений в конце сезона вегетации (после 3 месяцев адаптации в теплице). Для определения достоверности различий вариантов в сравнении с контролем вычисляли F-критерий. Статистическая обработка данных проводилась с применением программного пакета анализа Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов, полученных в ходе адаптации растений в лабораторных условиях, показал, что состав субстратов оказывал влияние на приживаемость регенерантов и их последующий рост. Сравнение средних показателей высоты стволиков регенерантов в вариантах опыта с использованием агроперлита и контроле показало достоверные различия при уровне значимости $p < 0,05$. Данные по средней высоте стволика, величине прироста и приживаемости растений представлены в таблице 2.

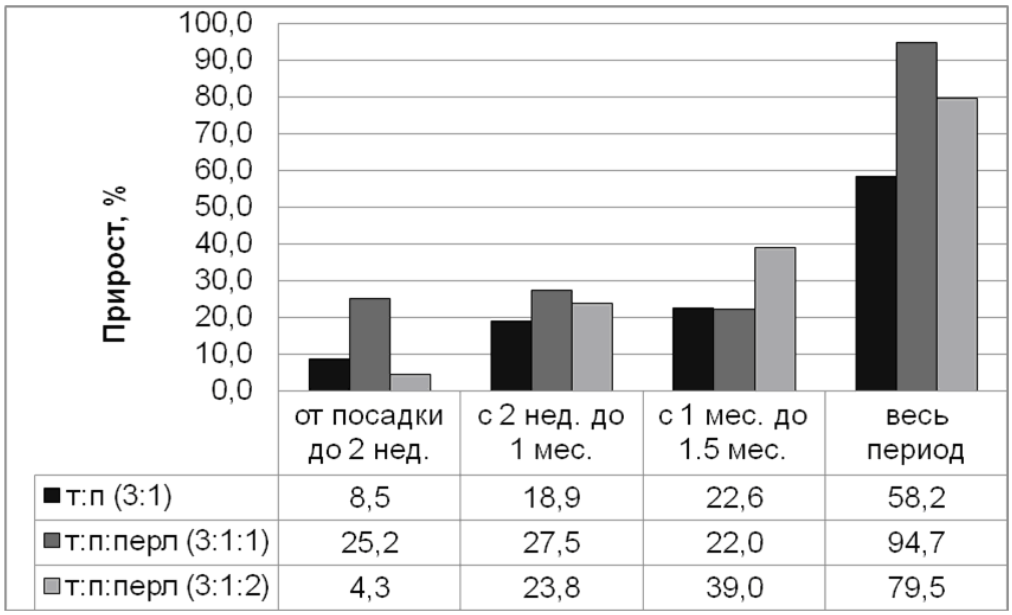
Таблица 2

Средняя высота стволика и величина прироста растений

Вариант опыта	Средняя высота стволика, см				Прирост		Приживаемость, %
	на 3 день	2 недели	1 месяц	1,5 месяца	см	%	
Торф:песок (3:1)	2,8 ± 0,7	3,0 ± 0,8	3,6 ± 1,0	4,4 ± 1,0	1,6	58,2	88,8
Торф:песок:перлит (3:1:1)	2,9 ± 0,8	3,6 ± 0,9	4,6 ± 1,1	5,6 ± 1,1	2,7	94,7	94,4
Торф:песок:перлит (3:1:2)	3,3 ± 0,9	3,4 ± 0,9	4,2 ± 0,9	5,9 ± 1,1	2,6	79,5	100

Средняя высота стволика растений контрольного варианта в конце периода адаптации составила 4,4 ± 1,0 см, в варианте с соотношением компонентов субстрата 3:1:1 получены растения средней высотой 5,6 ± 1,1 мм (достоверное отличие от контроля $F_{ст} = 29,1 > F_{кр} = 3,9$ при $p < 0,05$). В случае добавления двух частей агроперлита значение данного параметра несколько выше и отмечено на уровне 5,9 ± 1,1 мм $F_{ст} = 49,7 > F_{кр} = 3,9$ при $p < 0,05$. Между вариантами опыта достоверных значимых отличий не отмечено $F_{ст} = 2,3 < F_{кр} = 3,9$ при $p > 0,05$.

Прирост растений в динамике анализировался для изучения процесса приспособления регенерантов к почвенным условиям. Выявлены различия в интенсивности прироста между растениями в вариантах опыта и контроле. Динамика прироста адаптируемых растений по периодам представлена на рисунке 2.



	от посадки до 2 нед.	с 2 нед. до 1 мес.	с 1 мес. до 1.5 мес.	весь период
т:п (3:1)	8,5	18,9	22,6	58,2
т:п:перл (3:1:1)	25,2	27,5	22,0	94,7
т:п:перл (3:1:2)	4,3	23,8	39,0	79,5

Рис. 2. Интенсивность прироста микроклональных растений в динамике

Растения контрольного варианта характеризовались низким приростом за период адаптации, который составил 1,6 см, или 58,2 % относительно исходной высоты регенерантов, отмечали линейный характер прироста растений. Приживаемость растений в контрольной группе 88,8 %.

Несмотря на то, что в вариантах опыта с внесением в субстрат агроперлита значения величины прироста растений очень близки – 2,7 см и 2,6 см соответственно, и между ними не установлено достоверных отличий, процентное соотношение прироста различалось. Наиболее интенсивный прирост к исходной высоте регенерантов (94,7 %) отмечен в варианте с соотношением компонентов субстрата 3:1:1, что указывает на быструю акклиматизацию растений после переноса нестерильных условий. Регенеранты, в указанном варианте и культивировавшиеся на смеси, содержавшей две части агроперлита, характеризовались приростом после полутора месяцев адаптации, составившим 79,5 %.

Отмечено, что прирост растений в динамике различался по опытным вариантам. В случае добавления одной части агроперлита он был интенсивный, однако к концу периода адаптации несколько снизился и сравнялся с таковым в контрольном варианте. В то же время в варианте с внесением двух частей агроперлита в субстрат сохранялся линейный характер прироста, что говорит о

наиболее успешном приспособлении растений к почвенным условиям по сравнению с другими опытными группами и переходе к активному развитию. Кроме того, приживаемость растений в указанном варианте была максимальной (100 %), а при внесении одной части агроперлита данный показатель был равен 94,4 %.

Таким образом, на лабораторном этапе адаптации внесение в субстрат агроперлита положительно повлияло на рост растений далекарлийской березы *ex vitro*.

В ходе анализа показателей высоты стволиков далекарлийской березы в конце вегетационного сезона было установлено, что адаптация растений на субстратах различного механического состава влияла на их последующий рост в условиях закрытого грунта в пленочной теплице.

Средняя высота растений в контрольном варианте составила 17,3 ± 6,3 см после трех месяцев выращивания саженцев далекарлийской березы в условиях закрытого грунта. Анализируемый показатель для растений, лабораторный этап адаптации которых проходил на субстрате с соотношением торфа песка и агроперлита 3:1:1, достигал 19,7 ± 9,7 см и достоверно от контроля не отличался ($F_{ст}$ = 1,9 < $F_{кр}$ = 3,9 при p > 0,05). Показатели в данном варианте характеризовались значительным разбросом значений, что говорит о разной степени приспособленности растений к воздействию факторов внешней среды. Наибольшая средняя высота стволика (23,6 ± 7,7 см) отмечена у растений, адаптированных на субстрате с добавлением двух частей агроперлита. Морфометрические показатели растений этого варианта достоверно и значимо отличались как от контрольной группы, так и от растений, адаптированных на субстрате с добавлением одной части агроперлита $F_{ст}$ = 29,8 и $F_{ст}$ = 10,2 > $F_{кр}$ = 3,9 при p < 0,05 соответственно.

Показатели приживаемости саженцев далекарлийской березы в конце вегетации составили: 81 % в контрольном варианте, 85 % в варианте с адаптацией регенерантов на субстрате с добавлением 1 части агроперлита. Для растений опытной группы, адаптированной на субстрате с 2 частями агроперлита, значение показателя приживаемости отмечено на уровне 90 %.

Интенсивное развитие саженцев, выращиваемых на данном субстрате, в первую очередь, можно объяснить различной степенью развития корневых систем. Хорошо сформированная подземная часть способствовала акклиматизации растений и повышению устойчивости к стрессовым факторам среды. Кроме того, извлечение растений из субстрата, содержащего агроперлит, при пересадке проходит с минимальным повреждением корневой системы, что минимизирует стресс у растений.

Оптимизация состава субстрата, применяемого на различных этапах выращивания микроклонально размноженного посадочного материала древесных растений, позволяет повысить его устойчивость к негативному влиянию стрессовых факторов, что выражается в усилении процессов роста и развития растений.

Результаты измерения морфометрических показателей и приживаемости растений, выращенных на субстрате из смеси торфа, песка и агроперлита (соотношение 3:1:2), позволяют рекомендовать его для использования при адаптации *ex vitro* пробирочных растений к нестерильным почвенным условиям для получения качественного микроклонально размноженного посадочного материала далекарлийской формы березы повислой.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований показано, что механический состав субстратов, на которых проходили начальные этапы адаптации микроклональных растений, оказывает значительное влияние на их рост и развитие в ходе доращивания посадочного материала в условиях закрытого грунта.

Изменение соотношения компонентов субстрата на начальных этапах адаптации растений *ex vitro* оказывает влияние на динамику прироста микроклонально размноженных растений далекарлийской березы.

После доращивания в условиях теплицы максимальная приживаемость растений в конце периода вегетации (90 %) и высота стволика (23,6 $\pm$ 7,7 см) были достигнуты при использовании на предварительном (лабораторном) этапе адаптации почвенной смеси, состоящей из верхового торфа, песка и агроперлита в соотношении 3:1:2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сычева, А.В. Ландшафтная архитектура: учеб. пособие / А.В. Сычева. – М.: ОНИКС 21 век, 2004. – 87 с.

2. Клименко, А.В. Малоприменяемые в озеленении Киева декоративные древесные растения коллекции НБС / А.В. Клименко, А.Д. Дьяченко // Проблемы современной дендрологии: материалы междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения член-кор. АН СССР П.И. Лапина, Москва, 30 июня – 2 июля 2009 г. / Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН; редкол.: А.С. Демидов [и др.]. – Москва, 2009. – С. 456–460.

3. Аксенова, Н.А. Деревья и кустарники для любительского садоводства и озеленения / Н.А. Аксенова, Л.А. Фролова. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 160 с.

4. Антипов, В.Г. Декоративная дендрология / В.Г. Антипов. – Минск: Дизайн ПРО, 2000. – 280 с.

5. Ветчинникова, Л.В. Использование биотехнологии для воспроизводства редких представителей семейства *Betulaceae* в Карелии / Л.В. Ветчинникова, Т.Ю. Кузнецова // Современное состояние, проблемы и перспективы лесовосстановления и лесоразведения на генетико-селекционной основе: материалы междунар. науч. конф., Гомель, 8–10 сент. 2009 г. / Ин-т леса НАН Беларуси; редкол.: А.И. Ковалевич [и др.]. – Гомель, 2009. – С. 27–31.

6. Карпун, Ю.Н. Субтропическая декоративная дендрология: справочник / Ю.Н. Карпун. – СПб, 2010. – 580 с.

7. Васильева, О.Г. Возможности и перспективы клонального микроразмножения интродуцированных видов рододендрона / О.Г. Васильева // Вес. Красноярского гос. аграрн. ун-та. – 2008. – № 3. – С. 120–125.

8. Сельскохозяйственная биотехнология: учеб. пособие / В.С. Шевелуха [и др.]; под общ. ред. В.С. Шевелухи. – М.: Высшая школа, 1998. – 416 с.

9. Инюткина, А.Г. Адаптация *in vivo* растений-регенерантов полыни эстрагон (*Artemisia dracunculus* L.) / А.Г. Инюткина // Актуальні проблеми ботаніки та екології: матеріали міжнар. конф. молодих учених, м. Кременець, 11–15 серп. 2009 р. / Кременецький ботанічний сад; редкол.: Є.Л. Кордюм [та інш.]. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2009. – С. 181–183.

10. Маркова, И.А. Современные проблемы лесовыращивания (лесокультурное производство): учеб. пособие / И.А. Маркова. – СПб.: СПбГЛТА, 2008. – 152 с.

11. Влияние механического состава торфяного субстрата на адаптацию регенерантов различных клонов карельской березы (*Betula pendula* Roth var *carelica* Merckl) / А.В. Константинов [и др.] // Регуляция роста, развития и продуктивности растений: материалы VII Междунар. науч. конф., Минск, 26–28 окт. 2011 г. / Ин-т экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси; редкол.: А.Ф. Судник [и др.]. – Минск: Право и экономика, 2011. – С. 106.

12. Гиль, Л.С. Проблемы оптимизации воздушного режима тепличных субстратов / Л.С. Гиль // Гавриш. – 2008. – № 5. – С. 10–12.

13. Lloyd, G. Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia* by use of shoot-tip culture / G. Lloyd, B. McCown // Proc. Inter. Plant Prop. – 1980. – Vol. 30. – P. 421–427.

ACCLIMATIZATION OF PLANTS OF SILVER BIRCH DECORATIVE FORM (*BETULA PENDULA* ROTH. *VAR. DALECARLICA* SCHNEID.) TO *EX VITRO* CONDITIONS ON SUBSTRATES WITH DIFFERENT COMPOSITION

A.V. Konstantinov, D.V. Kulagin, I.M. Balandina, V.E. Padutov

Summary

The paper describes the results of the research on the optimization of the acclimatization procedure of propagated *in vitro* planting stock of birch decorative form (*Betula pendula* Roth. *var. dalecarlica* Schneid.). This woody plant is promising for use in the city and private landscaping. Optimal soil substrate for acclimatization to non-sterile conditions is a mixture of peat, sand and perlite in the ratio 3:1:2 respectively.

Поступила 17.04.13

3. ОБЗОРЫ

УДК 633:631.81.095.337

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕПАРАТА ФИТОВИТАЛ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В.М. Гончарук[1], А.И. Быховец[1], Ф.А. Лахвич[1], Т.М. Булавина[2], Л.А. Булавин[2]

[1]Институт биоорганической химии НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь
[2]Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию, г. Жодино, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Существенным резервом увеличения урожайности сельскохозяйственных культур является применение микроэлементов, которые выполняют важнейшие функции в процессах жизнедеятельности растений и являются необходимым компонентом системы их питания. Микроэлементы входят в состав основных физиологически активных веществ. Они повышают ферментативную активность растений, улучшают поглощение ими элементов питания, способствуют усилению активности фотосинтеза и ассимилирующей деятельности всего растения. Под влиянием микроэлементов растения становятся более устойчивыми к неблагоприятным факторам внешней среды, а также к поражению болезнями и вредителями [16, 21].

В Беларуси в настоящее время уделяется большое внимание применению микроудобрений при возделывании основных сельскохозяйственных культур. В соответствии с Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 1696 от 17 декабря 2011 г. предусматривалось обеспечить в 2012 г. закупку для применения в сельскохозяйственных предприятиях микроудобрений на сумму 251 млрд рублей. По оценке специалистов, из указанных объемов закупки препаратов данного класса на долю отечественных производителей приходится пока не более 10 %, что с точки зрения импортозамещения свидетельствует об актуальности создания отечественных микроудобрений [12].

Несомненный интерес в решении указанной выше проблемы представляет созданный в Институте биоорганической химии НАН Беларуси препарат Фитовитал, в состав которого входят янтарная кислота и сбалансированный комплекс микроэлементов. В течение ряда лет этот препарат поставлялся в научно-исследовательские учреждения Беларуси для проведения поисковых и полевых опытов по изучению эффективности его применения. Ниже представлены краткие результаты исследований по использованию Фитовитала при возделывании некоторых культур, существенно различающихся по своим биологическим особенностям.

Пахотные земли Беларуси характеризуются высокой потенциальной засоренностью. Это является одним из основных факторов, препятствующих формированию высокой урожайности сельскохозяйственных культур.

Для очищения пашни от сорняков важное значение имеет проведение в послеуборочный период полупаровой обработки почвы, предусматривающей дополнительную культивацию зяби, что стимулирует прорастание семян сорных растений, всходы которых в дальнейшем уничтожаются последующими культивациями и низкими зимними температурами. Для усиления эффективности полупаровой обработки почвы при ее проведении целесообразно использовать Фитовитал (1,2 л/га) после вспашки с заделкой в почву с помощью культивации. Этот препарат стимулирует прорастание семян сорняков, численность которых под его влиянием может увеличиваться на 52–61 %. После гибели всходов сорных растений засоренность верхнего слоя почвы снижалась в большей степени, чем при традиционной полупаровой обработке почвы, отмечалось уменьшение численности сорняков в посевах и увеличивалась урожайность зерна гречихи на 9,6 %, а рапса ярового – на 6,0 % [6, 23].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Применение Фитовитала представляет несомненный интерес не только при проведении полупаровой обработки почвы, но и при возделывании на зеленую массу сельскохозяйственных культур в 3-укосном уплотненном занятом пару (рожь озимая – горохо-овсяная смесь – редька масличная). Установлено, что внесение Фитовитала (1,2 л/га) перед посевом горохо-овсяной смеси и редьки масличной, возделываемых по мелкой обработке почвы (дискование), стимулировало к прорастанию семена сорняков. Их численность в посевах этих культур увеличивалась на 33–38 %. Уборка зеленой массы горохо-овсяной смеси и редьки масличной до обсеменения взошедших сорных растений способствовала очищению верхнего слоя пахотного горизонта. При последующем возделывании гречихи по безотвальной обработке почвы (чизелевание), которая в отличие от вспашки в значительно меньшей степени извлекает на поверхность жизнеспособные семена сорняков, численность последних в посевах этой культуры снижалась за счет предшествующего применения Фитовитала, а урожайность зерна увеличивалась на 9,7 %. При этом важно отметить, что использование Фитовитала в уплотненном занятом пару, как и при проведении полупаровой обработки почвы, позволяет получить урожайность зерна гречихи на уровне технологии возделывания этой культуры, основанной на выращивании ее после ржи озимой по вспашке с применением в период вегетации гербицида Агрибит [4].

Фитовитал оказывает положительное влияние на всхожесть семян культурных растений, даже если они хранятся длительное время, что часто имеет место при проведении селекционного процесса. В лабораторных исследованиях проращивание семян ячменя и овса 9–11-летнего срока хранения в водном растворе Фитовитала с концентрацией 3 мл/л увеличило их всхожесть соответственно на 11,5 и 40,0 % [6].

Обработка семян Фитовиталом не только повышает их всхожесть, но и способствует увеличению биомассы роста проростков на начальных этапах их развития. Лабораторные исследования показали, что при использовании данного

препарата (1,2 л/т) для обработки семян длина проростков люпина узколистного увеличивалась через 14 дней на 15,6 %, а корней – на 19,1 %. У рапса ярового эти показатели возросли соответственно на 16,1 и 44,4 % [26]. Применение Фитовитала (1,2 л/т) для обработки семян свеклы столовой способствовало увеличению их энергии прорастания на 28 %, длины корней – на 40,0 %, длины проростков – на 65,0 % [2].

В поисковых полевых опытах при использовании Фитовитала для инкрустации семян ячменя, люпина узколистного и свеклы кормовой прибавка урожайности составила соответственно 8,6; 10,0 и 5,7 % [26]. Значительно больший эффект предпосевная обработка семян Фитовиталом обеспечивала в том случае, когда некоторые культуры возделывались после предшественников, на посевах которых для уничтожения сорняков применялись гербициды на основе сульфонилмочевины. Эти препараты характеризуются повышенной персистентностью и при определенных условиях могут оказывать отрицательное последействие на такие культуры, как рапс, свекла, гречиха, люпин и т. д. [27]. Установлено, что при добавлении Фитовитала (1,2 л/т) в инкрустационную смесь для обработки семян люпина узколистного и рапса ярового, возделываемых после пшеницы яровой, на посевах которой применяли персистентный гербицид Ларен, его отрицательное последействие на эти культуры снижалось и прибавка урожайности составила соответственно 21,4 и 26,6 % [7, 33, 34].

Обработка вегетирующих растений. Компоненты, входящие в состав препарата Фитовитал, при его внесении в период вегетации растений не только оказывают положительное влияние на рост и развитие последних, но и обладают свойствами синергистов. Это можно использовать для увеличения интенсивности поступления гербицидов в сорные растения при проведении химической прополки. Установлено, что добавление в рабочий раствор Фитовитала (0,6 л/га) дает возможность уменьшить норму расхода гербицида на основе глифосата Шквал с 4,0 до 3,0 л/га, т. е. на 25 %, без снижения эффективности этого препарата в уничтожении пырея ползучего в послеуборочный период [1]. Аналогичные результаты были получены при совместном применении на посевах люпина узколистного Фитовитала (0,6 л/га) и гербицида Фюзилад супер. Это позволило снизить норму расхода указанного гербицида с 2,0 до 1,75 л/га, т. е. на 12,5 %, без уменьшения гибели пырея ползучего при сохранении величины прибавки урожайности зерна этой культуры от использования Фюзилад супер [17].

Современные интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур предусматривают проведение в течение вегетационного периода до 5–8 обработок посевов азотом и пестицидами. Для сокращения производственных затрат часто используется совмещение технологических операций за счет применения баковых смесей жидких азотных удобрений и различных пестицидов. Однако в некоторых случаях при таком подходе из-за явления синергизма компонентов баковой смеси отмечалось фитотоксическое действие используемых препаратов на культурные растения, что приводило к снижению урожайности. Для предотвращения фитотоксичности баковых смесей, содержащих гербициды, рекомендуется включать в их состав специальные препараты – антистрессанты (антидоты), которые ускоряют разрушение действующего вещества гербицидов в культурных растениях, не влияя на его метаболизм в сорняках [19]. Добавление Фитовитала (0,6 л/га)

в баковую смесь жидкого азотного удобрения КАС (N_{30}) и уменьшенной на 25 % рекомендованной нормы расхода гербицида Гранстар (7,5 г/га) обеспечило высокий эффект в уничтожении сорняков в посевах пшеницы яровой, способствовало снижению фитотоксического действия применяемой баковой смеси на эту культуру, увеличив длину колоса и количество зерен в нем. При этом прибавка урожайности зерна повысилась в 1,44 раза по сравнению с использованием баковой смеси без Фитовитала [5].

Применение Фитовитала (0,6 л/га) на посевах тритикале озимого в фазу кущения способствует повышению интенсивности этого процесса и увеличивает плотность продуктивного стеблестоя. Поэтому при возделывании этой культуры по благоприятному предшественнику (клевер 1 г. п.) на фоне использования высокоэффективных гербицидов и внесения азота в дозе N_{90+30} кг/га д.в. применение Фитовитала обеспечивало прибавку урожайности зерна тритикале озимого 6,2–12,9 % в зависимости от нормы высева семян и позволило уменьшить ее с 5 до 3–4 млн/га всхожих зерен [8]. Это имеет важное значение с точки зрения ресурсосбережения. В то же время необходимо отметить, что более высокий эффект на посевах тритикале озимого Фитовитал обеспечивал при использовании его не в фазу кущения, а в период выход в трубку – флаговый лист [10, 13].

При применении Фитовитала в фазу выхода в трубку тритикале ярового, наряду с улучшением элементов структуры закладываемого в этот период колоса, отмечалось снижение редукции боковых побегов, что способствовало повышению плотности продуктивного стеблестоя. Прибавка урожайности зерна, полученная за счет Фитовитала, находилась в пределах 5,0–14,2 % в зависимости от нормы высева семян. Использование этого препарата на посевах тритикале ярового при высоком уровне технологической дисциплины позволяет уменьшить норму высева семян, как и при возделывании тритикале озимого, без снижения продуктивности [9].

Обработка растений Фитовиталом способствует повышению их болезнеустойчивости. Применение этого препарата при возделывании ячменя достоверно снижало поражение растений такими болезнями, как *Alternaria alternate; Helminthosporium teres; Helminthosporium sativum; Fusarium spp.,* в среднем в 2 раза практически на всех этапах онтогенеза за исключением фазы молочной спелости зерна. Выявлена возможность за счет применения Фитовитала активизировать метаболические и защитные реакции растений ячменя, влияя на содержание фотосинтетических пигментов, выход водорастворимых веществ из клеток и активность перекисного окисления липидов мембран, что в результате способствует повышению продуктивности растений и улучшению структуры урожая [25].

Эффективность применения Фитовитала зависит от ряда факторов, к которым относятся погодные условия в период вегетации растений, срок применения этого препарата, а также использование на посевах возделываемых культур фунгицидов. Так, при возделывании тритикале озимого на торфяно-болотной почве после поздноубираемых предшественников и посеве позже оптимальных сроков применение Фитовитала (0,6 л/га) осенью в фазу 2–3 листьев культуры способствовало при наличии осенних заморозков до образования снежного покрова улучшению перезимовки растений и обеспечивало прибавку урожайности

зерна 14,7 %, что в 1,83 и 1,22 раза выше по сравнению с использованием этого препарата в фазу начала выхода в трубку или флагового листа [11]. При отсутствии в осенне-зимний период экстремальных погодных условий для развития тритикале озимого и при возделывании его без использования фунгицидов применение препарата Фитовитал обеспечило наибольшую прибавку урожайности (11,2 %) при двукратном внесении в начале активной вегетации растений весной и в фазу флагового листа. При однократном использовании Фитовитала в указанные фазы развития растений прибавка урожайности зерна была ниже соответственно в 1,77 и 1,18 раза [12]. Использование Фитовитала на фоне двукратного применения фунгицидов обеспечивало наибольший эффект при однократном внесении в фазу флагового листа озимого тритикале [13].

Влияние Фитовитала на урожайность возделываемых культур находится в определенной зависимости от уровня применения азотных удобрений. Так, при внесении этого препарата (0,6 л/га) в фазу бутонизации гороха посевного прибавка урожайности зерна на фоне $N_{30}P_{60}K_{90}$ составила 14,0 %, а на фоне $N_{50}P_{60}K_{90}$ – 7,5 . При этом необходимо отметить, что если дополнительное внесение азота в дозе N_{20} увеличило урожайность зерна гороха посевного на 1,5 ц/га, то использование Фитовитала – на 2,8–5,0 ц/га в зависимости от уровня применения азотных удобрений [15].

Применение Фитовитала (0,6 л/га) в начале стеблевания рапса озимого обеспечивало прибавку урожайности маслосемян 9,9 %, в фазу бутонизации – 17,1 %, а при двукратном использовании в указанные выше фазы развития растений – 12,2 %. При использовании Фитовитала на посевах рапса ярового эти показатели составили соответственно 5,6; 11,2 и 11,7 %. При этом необходимо отметить, что Фитовитал не уступал по эффективности зарубежному препарату Эколист моно бор (1,0 л/га), что важно с точки зрения импортозамещения [3]. Подобные результаты были получены и в полевых опытах с пшеницей яровой и тритикале озимым, в которых применение Фитовитала в фазу выхода в трубку увеличивало урожайность зерна этих культур соответственно на 12,3 и 7,5 % и превосходило по эффективности такие препараты, содержащие микроэлементы, как Элегум Cu (1,0 л/га), Басфолиар (5,0 л/га), а также Эколист стандарт (2,0 л/га) [20, 24].

Несомненный интерес отечественный фиторосторегулятор-адаптоген Фитовитал представляет и при возделывании плодовых культур. При использовании препарата на яблоне (0,6 л/га) отмечалось снижение степени поражения плодов паршой. Четырехкратная обработка Фитовиталом в смеси с хлоридом кальция через 3, 5, 7 и 9 недель после цветения увеличивала выход товарных плодов на 18,2 % и снижала распространенность на них пенициллезной и горькой гнилей на 2,3–13,2 %. Применение Фитовитала способствовало также значительному снижению естественной убыли массы плодов яблони в период длительного хранения [22].

В почвенно-климатических условиях Центральной зоны Молдовы обработка растений виноградной лозы с интервалом 10 дней в фазу цветения и дважды после него препаратом Фитовитал (1,0 л/га) снижала развитие таких болезней, как мильдью, оидиум и серая гниль практически на уровне фунгицида Фунекол (4,0 л/га). При этом увеличивалась длина побегов на 175 см, вес грозди – на 192,7 г, содержание сахаров в виноградном соке – на 2,6 г/дм [14].

Использование Фитовитала возможно при возделывании овощных, декоративных и лекарственных культур. Установлена целесообразность применения Фитовитала на посевах лука репчатого, выращиваемого из семян в однолетней культуре на естественном инфекционном фоне. Фитовитал увеличивал устойчивость растений лука репчатого по отношению к возбудителю пероноспороза, в результате чего в варианте с его применением показатель развития болезни снижался в 2,1 раза в сравнении с контролем – с 26,5 до 12,4 %. В то же время необходимо отметить, что Фитовитал сдерживает распространение и развитие пероноспороза в начале его проявления, однако при нарастании развития болезни эффективность его снижается. Поэтому наибольшая урожайность за счет ограничения вредоносности пероноспороза и стимулирования болезнеустойчивости растений лука репчатого была получена в варианте с баковой смесью Ридомила голд МЦ (2,5 кг/га) и Фитовитала (0,6 л/га) [18].

Препарат Фитовитал, применяемый на растениях однолетней цветочной культуры тагетеса, которая является одной из широко используемых в озеленении республики, оказывал влияние на длину междоузлий, способствовал изменению габитуса растений, ускорял дифференциацию соцветий (до 8 дней), увеличивал количество образовавшихся бутонов на 10,3 %, размер цветков в диаметре на 0,3–0,5 см. Стимулируя процессы роста и цветения за счет использования Фитовитала, можно добиться повышения декоративности растений в более ранние сроки [31].

Применение Фитовитала путем полива сеянцев лекарственной культуры лофант морщинистый в фазы 4 и 10 листьев показало, что этот препарат стимулировал их рост и развитие. Растения, обработанные Фитовиталом, превосходили по высоте контрольные, отличались развитием большего количества боковых побегов, раньше вступали в фазу цветения. При этом выход лекарственного сырья увеличивался на 55,0–70,1 % [32].

На основании представленных выше результатов отдельных поисковых и полевых опытов были оформлены и получены три патента на изобретение, которые регламентируют применение Фитовитала в системе полупаровой обработки почвы, а также в качестве синергиста и антидота во время применения гербицидов [28, 29, 30].

ВЫВОДЫ

Таким образом, применение отечественного препарата Фитовитал представляет несомненный интерес при возделывании различных культур. Фитовитал, как правило, не уступает по эффективности зарубежным препаратам, таким как АДОБ («АДОБ», Польша), Басфолиар (BASF, Германия), Эколист («Экоплон», Польша), содержащим микроэлементы. Это свидетельствует о целесообразности его производства в республике, что имеет важное значение с точки зрения импортозамещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение гербицидов на основе глифосата под озимые зерновые культуры / М.А. Белановская [и др.] // Производство растениеводческой продукции: резервы снижения затрат и повышения качества: материалы междунар.

науч.-практ. конф., Жодино, 10–11 июля 2008 г.: в 2 т. / НПЦ НАН Беларуси по земледелию; редкол.: Ф.И. Привалов (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – Т. 2. – С. 15–18.

2. Богушевич, П.Т. Применение активатора устойчивости растений Фитовитал для предпосевной обработки семян свеклы столовой / П.Т. Богушевич, Ф.Н. Леонов // Современные технологии сельскохозяйственного производства: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 2011 г.: в 2 ч. / Гродненский гос. аграрный ун-т. – Гродно: ГГАУ, 2011. – Ч. I. – С. 11–12.

3. Булавин, Л.А. Агроэкономическая эффективность применения микроэлементов на посевах озимого и ярового рапса / Л.А. Булавин // Вестник БГСХА. – 2012. – № 4. – С. 37–41.

4. Влияние интенсивного занятого пара и Фитовитала на засоренность и урожайность гречихи / Л.А. Булавин [и др.] // Проблемы и пути повышения эффективности растениеводства в Беларуси: тезисы юбилейной междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию образования Института земледелия, Жодино, 29 июня 2007 г. / НПЦ НАН Беларуси по земледелию; редкол.: Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – С. 292–295.

5. Использование Фитовитала в качестве антидота при проведении химической прополки яровой пшеницы / Л.А. Булавин [и др.] // Производство растениеводческой продукции: резервы снижения затрат и повышения качества: материалы междунар. науч.-практ. конф., Жодино, 10–11 июля 2008 г.: в 2 т. / НПЦ НАН Беларуси по земледелию; редкол.: Ф.И. Привалов (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – Т. 2. – С. 18–21.

6. Булавин, Л.А. О некоторых перспективах использования микроэлементов / Л.А. Булавин, С.С. Небышинец, В.В. Горелик // Приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрений: материалы науч.-практ. конф., посвящ. 130-летию со дня рождения акад. Я.Н. Афанасьева – основателя и первого заведующего каф. почвоведения БГСХА, Горки, 6–7 июля 2007 г. / отв. ред. А.И. Горбылева. – Горки: БГСХА, 2007. – С. 60–62.

7. Последействие гербицида Ларен на яровой рапс / Л.А. Булавин [и др.] // Земледелие и селекция в Беларуси: сб. науч. тр. / НАН Беларуси; НПЦ НАН Беларуси по земледелию; редкол.: М.А. Кадыров (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2009. – Вып. 45. – С. 63–73.

8. Булавина, Т.М. Влияние норм высева семян и регуляторов роста на урожайность озимой тритикале сорта Михась / Т.М. Булавина // Земледелие и селекция в Беларуси: сб. науч. тр. / НАН Беларуси; НПЦ НАН Беларуси по земледелию; редкол.: М.А. Кадыров (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2006. – Вып. 42. – С. 70–76.

9. Булавина, Т.М. Совершенствование технологии возделывания ярового тритикале / Т.М. Булавина // Земляробства і ахова раслін. – 2009. – № 2. – С. 13–16.

10. Булавина, Т.М. Влияние комплексного микроудобрения Фитовитал и фунгицида Эхион на урожайность озимого и ярового тритикале / Т.М. Булавина, А.И. Быховец, В.М. Гончарук // Земледелие и селекция в Беларуси: сб. науч. тр. / НАН Беларуси; НПЦ НАН Беларуси по земледелию; редкол.: М.А. Кадыров (гл. ред.) [и др.]. – Несвиж: Несвижская укруп. типогр. им. С. Будного, 2007. – Вып. 43. – С. 63–71.

11. Использование активатора устойчивости растений Фитовитал при возделывании озимого тритикале / Т.М. Булавина [и др.] // Земледелие и селекция в Беларуси: сб. науч. тр. / НАН Беларуси; НПЦ НАН Беларуси по земледелию; редкол.: М.А. Кадыров (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2009. – Вып. 45. – С. 135–143.

12. Булавина, Т.М. Эффективность применения активатора устойчивости растений Фитовитал при возделывании озимой тритикале / Т.М. Булавина, В.М. Гончарук // Земляробства і ахова раслін. – 2012. – № 4 – С. 13–15.

13. Булавина, Т.М. Экономическая эффективность применения активатора устойчивости растений Фитовитал и фунгицидов на посевах озимого тритикале / Т. Булавина, В. Гончарук, А. Ленский // Аграрная экономика. – 2012. – № 8. – С. 45–51.

14. Эффективность стимуляторов роста растений в экологическом виноградарстве / А.И. Быховец [и др.] // Фитогормоны, гуминовые вещества и другие биорациональные пестициды в сельском хозяйстве: сб. материалов VII Междунар. конф. Radostim–2011, Минск, 2–4 ноября 2011 г. / Ин-т биоорг. химии НАН Беларуси. – Минск, 2011. – С. 29–32.

15. Вильдфлуш, И.Р. Эффективность применения новых удобрений и регуляторов роста в звене севооборота / И.Р. Вильдфлуш, О.И. Мишура, И.В. Платонова. – Земляробства і ахова раслін. –2013. – № 1. – С. 24–27.

16. Володько, И.К. Микроэлементы и устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды / И.К. Володько. – Минск: Наука и техника, 1983. – 192 с.

17. Эффективность бинарных смесей Фюзилада супер и Фитовитала в борьбе с пыреем ползучим в посевах люпина узколистного: материалы III Междунар. конф., посвящ. 80-летию НАН Беларуси и 95-летию акад. А.А. Ахрема, Минск, 1–3 октября 2008 г. / В.М. Гончарук [и др.] – Минск: Право и экономика, 2008. – С. 78–79.

18. Использование Фитовитала при защите лука репчатого от пероноспороза: материалы III Междунар. конф., посвящ. 80-летию НАН Беларуси и 95-летию акад. А.А. Ахрема, Минск, 1–3 октября 2008 г. / В.М. Гончарук [и др.] – Минск: Право и экономика, 2008. – С. 80–81.

19. Альбит повышает эффективность применения гербицидов / А.К. Злотников [и др.] // Земледелие. – 2006. – № 1. – С. 34–36.

20. Коготько, Е.И. Эффективность применения микроудобрений и комплексных препаратов на основе микроэлементов и регуляторов роста на яровой пшенице сорта Сабина / Е.И. Коготько, И.Р. Вильдфлуш // Вестник БГСХА. – 2011. – № 3. – С. 74–77.

21. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 390 с.

22. Мартинкевич, Д.И. Влияние препарата Фитовитал на распространенность инфекционных и неинфекционных заболеваний на плодах яблони сортов Имант и Чаравница / Д.И. Мартиневич, А.М. Криворот // Плодоводство: сб. науч. тр. / Ин-т плодоводства; редкол.: В.А. Самусь (гл. ред.) [и др.]. – Самохваловичи, 2011. – Т. 19. – С. 307–314.

23. О возможности ускорения процесса очищения почвы от жизнеспособных семян сорняков / С.С. Небышинец [и др.] // Состояние и перспективы развития свеклосахарного производства в Республике Беларусь: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию образования Опытной науч. станции по сахарной свекле, Несвиж, 10–11 июля 2008 г. / редкол.: И.С. Татур [и др.]. – Несвиж: Несвижская укруп. типогр. им. С. Будного, 2008. – С. 98–101.

24. Нилова, О.В. Влияние осеннего применения активатора устойчивости растений Фитовитал на урожайность озимого тритикале / О.В. Нилова, Л.А. Булавин // Устойчивое развитие экономики: состояние, проблемы, перспективы: материалы III Междунар. конф. / Полесский гос. ун-т, Пинск, 23–25 апреля 2009 г. / Нац. банк Республики Беларусь; редкол.: К.К. Шебеко [и др.]. – Пинск: ПолесГУ, 2009. – С. 56–57.

25. Повышение устойчивости ячменя к болезням под воздействием Фитовитала и его форм с карбоновыми кислотами / Н.В. Полякова [и др.] // Химия, структура и функция биомолекул: сб. материалов IV Междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения акад. А.А. Ахрема, Минск, 17–19 октября 2012 г. – Минск: Типография Федерации профсоюзов Беларуси, 2012. – С. 173–174.

26. Возможность применения препарата Фитовитал для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур / Ф.И. Привалов [и др.] // Земледелие и селекция в Беларуси: сб. науч. тр. / НАН Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; редкол.: Ф.И. Привалов (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – Вып. 44. – С. 92–97.

27. Спиридонов, Ю.Я. К вопросу об остаточном действии сульфонилмочевинных гербицидов в России / Ю.Я. Спиридонов, В.Г. Шестаков, Г.Е. Ларина // Научно обоснованные системы применения гербицидов для борьбы с сорняками в практике растениеводства. – Голицино, 2005. – С. 521–541.

28. Способ борьбы с пыреем ползучим в посевах люпина узколистного: пат. № 11064 / Л.А. Булавин [и др.]; 30.08.2008 // Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 4 с.

29. Способ снижения фитотоксического действия баковой смеси гербицида и азотного удобрения: пат. 11518 / Л.А. Булавин [и др.]; 27.10.2008. – Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 3 с.

30. Способ полупаровой обработки почвы: пат. 1543 Респ. Беларусь / Л.А. Булавин [и др.]; 27.10.2008. – Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. –3 с.

31. Тимофеева, В.А. Влияние Фитовитала на рост и развитие Tagetes erecta / В.А. Тимофеева, А.И. Быховец, В.М. Гончарук // Регуляторы роста, развития и продуктивности растений: материалы IV Междунар. науч. конф. – Минск, 2005. – С. 42.

32. Тимофеева, В.А. Влияние Фитовитала на рост и развитие Agastache rugosa: материалы междунар. науч. конф., посвящ. 75-летию со дня образования Центрального ботанического сада НАН Беларуси, Минск, 12–15 июня 2007 г. – Минск, 2007. – Т. 1. – С. 297–299.

33. Халецкий, В.Н. Эффективность применения регуляторов роста и биопрепаратов для снижения последействия гербицидов и повышения продуктивности люпина / В.Н. Халецкий, А.С. Шик, Л.А. Булавин // Инновации в технологиях

возделывания сельскохозяйственных культур: сб. науч. тр. / БГСХА. – Минск: Экоперспектива, 2009. – С. 32–36.

34. Инкрустация семян люпина узколистного как способ снижения последействия гербицидов производных сульфонилмочевины / А.С. Шик [и др.] // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця: сб. науч. тр. / Полесский аграрно-экологический ин-т. – Брест: Альтернатива, 2009. – Вып. 2. – С. 56–59.

EFFICIENCY OF FITOVITAL PREPARATION IN CULTIVATION OF DIFFERENT CROPS

V.M. Goncharuk, A.I. Bykhovets, F.A. Lakhvich, T.M. Bulavina, L.A. Bulavin

Summary

The research results of the study on the efficiency of the domestic preparation of Fitovital containing amber acid and balanced complex of micro elements in cultivation of different crops are generalized. It is shown that this preparation can be used both for seed treatment and for treatment of vegetative plants. Fitovital application has positive influence on growth, development and yield of grain, leguminous, cruciferous, fruit, vegetable, decorative and medicinal crops what shows expediency of its production in the republic.

Поступила 29.04.13

РЕФЕРАТЫ

УДК 631.8:633.11:631.445.2:631.576:631.2

Лапа В.В., Жагунь А.А. Влияние комплексного применения минеральных макро- и микроудобрений на хлебопекарные качества зерна сортов озимой пшеницы при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 10–25.

Представлены результаты исследований по изучению влияния комплексного применения макро- и микроудобрений, фунгицидов и регулятора роста на хлебопекарные качества двух сортов озимой пшеницы – Сюита и Финезия. Установлено, что лучшие показатели по стекловидности, числу падения, содержанию белка, клейковины, качеству муки и итоговому показателю – качеству хлеба в исследованиях с озимой пшеницей Сюита были получены при внесении N180 в пять сроков (номер качества муки 114 ед.ф.) и N180 в пять сроков с двумя подкормками микроудобрениями (номер качества муки 109 ед.ф.). По общей оценке качества хлеба варианты с внесением N150 в три срока и N180 в пять сроков с некорневыми подкормками микроудобрениями были примерно одинаковыми, балл качества хлеба в среднем за два года исследований составил соответственно 4,08 и 4,22.

Лучший показатель качества муки (78 ед.ф.) в среднем за два года исследований был получен в варианте с внесением N180 в пять сроков, двумя некорневыми подкормками микроудобрениями и обработкой растений фунгицидами и ретардантом. В этом варианте отмечено достаточно высокое содержание белка (14,4 %) и один из лучших показателей содержания клейковины (29,8 %). Указанные характеристики подтверждает и оценка качества хлеба, которая составила 3,7 балла при показателе пористости 3,8 балла.

Табл. 10. Библиогр. 3.

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4

Черныш А.Ф., Червань А.Н., Качков Ю.П. Принципы экологического нормирования допустимой антропогенной нагрузки на почвенный покров агроландшафтов Беларуси // Почвоведение и агрохимия. – № 1(50). – С. 26–41.

В статье рассмотрены принципы экологического нормирования антропогенной нагрузки на почвенный покров агроландшафтов Республики Беларусь. Дана их детальная характеристика и описание условий их реализации при разработке государственной системы экологического нормирования.

Табл. 2. Рис. 2. Библиогр. 25.

УДК 631.4:549.905.8

Алексеев В.Е., Чербарь В.В., Бургеля А.Н., Варламов Е.Б. Ксерофитно-лесные черноземы Молдовы: особенности минералогического состава и его трансформации // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 42–52.

Изучен состав первичных и глинистых минералов ксерофитно-лесных черноземов, специфических почв юга Молдовы, выявлен ряд его особенностей в сравнении с регионально близкими обыкновенными черноземами, а также общие с ними черты. Установлено, что практически все показатели минералогического состояния ксерофитно-лесных черноземов свидетельствуют о более интенсивном преобразовании их силикатной основы в сравнении с обыкновенными черноземами.

Табл. 3. Библиогр. 12.

УДК 631.4:549.905.8

Алексеев В.Е., Чербарь В.В., Бургеля А.Н., Варламов Е.Б. Ксерофитно-лесные черноземы: баланс минералов // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 52–61.

Расчет баланса минералов показал, что в ксерофитно-лесных черноземах юга Молдовы процессы трансформации их минеральной основы протекают по элювиальному типу и со значительно большей интенсивностью, чем в окружающих зональных обыкновенных черноземах. Установлено также, что эти почвы не обнаруживают иллювиальных проявлений, свойственных другим лесным почвам, но по более выраженной деградации минеральной основы в сравнении с региональными черноземами, ксерофитно-лесные черноземы правильнее, по-видимому, относить к лесным почвам.

Табл. 6. Библиогр. 12.

УДК 631.4:549.905.8

Алексеев В.Е., Чербарь В.В., Бургеля А.Н., Варламов Е.Б. Ксерофитно-лесные черноземы: природные резервы калия // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 62–67.

Ксерофитно-лесные черноземы обладают большим общим резервом калия, составляющим в форме K_2O до 2500 мг/100 г почвы. Высокий непосредственный резерв обменного калия в дерновых горизонтах достигает 3 % от общего. Ближний резерв калия, заключенный в глинистых минералах, в этих почвах также увеличивается к верхним горизонтам и измеряется 600–1200 мг/100 г. Потенциальный резерв, связанный с первичными минералами, напротив, возрастает в направлении породы и по своему размеру существенно превышает ближний резерв калия, составляя 1100–1700 мг/100 г.

Табл. 2. Библиогр. 28.

УДК 631.459.23

Лихацевич Н.А. Анализ комплексных характеристик дефляции почв Полесья // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 68–80.

Совместный анализ исходных положений «нуль-модели выдувания почвы» В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова и выводов, полученных на основании разработанной нами «степенной» модели дефляции, подтвердил их одинаковую результативность в области посткритических скоростей ветра. Использование введенных нами в «степенную» модель дефляции пороговой, начальной квадратичной и критической скоростей ветра позволило расширить зону ее действия, определяя комплексные параметры дефляции и интенсивность выдувания почвы и в области докритических скоростей ветра. Действие «экспоненциальной» модели дефляции В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова не распространяется на эту область. Показано, что положенное в основу «нуль-модели выдувания почвы» В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова отношение критической (для данной почвы) к фактической скорости ветра подобно полученному нами показателю сопротивляемости почвы ветровому воздействию (СПВ).

Табл. 1. Рис. 3. Библиогр. 3.

УДК 631.459.23

Черныш А.Ф., Лихацевич Н.А. Прогноз интенсивности выдувания почвы на землях Белорусского Полесья // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 80–89.

На примере распределения скоростей ветра в апреле по данным метеостанции Славгород выполнена оценка потенциального выдувания почвы, которая подтверждает актуальность разработки мер по повышению противодефляционной устойчивости почв, включающей применение мелиорантов, совершенствование систем обработки почв и внедрение почвозащитных севооборотов. Показано, что реализация противодефляционных мер, позволяющих повысить начальную квадратичную скорость для легких минеральных почв, например, с 5,5 до 7 м/с, более чем в 4 раза снижает прогнозируемую интенсивность дефляции.

Табл. 1. Библиогр. 5.

УДК 631.524.84:633.37:631.459

Гапонюк А.Н., Сорока А.В., Костюченко Н.Н. Продуктивность многолетних бобовых культур на дефляционноопасных почвах Белорусского Полесья // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 89–97.

В статье представлены данные по продуктивности многолетних бобовых культур на различных типах дефляционноопасных почв. Установлено, что наибольшую урожайность многолетние травы формируют на торфяно-минеральной и дерново-глеевой песчаной почвах. Возделывание кормовых культур на дерново-подзолистых слабоглееватых песчаных почвах приводит к резкому снижению урожайности зеленой массы и сухого вещества, а также сбору сырого протеина.

Табл. 2. Рис. 3. Библиогр. 9.

УДК 631.4:528.8

Черный С.Г., Абрамов Д.А. Мониторинг гумусового состояния чернозема южного с использованием многоспектральных снимков спутника Landsat 7 // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 97–105.

Рассмотрена возможность использования спектральных космических снимков спутника Landsat 7 для мониторинга гумусового состояния почв Южной Степи Украины. Рассчитаны регрессионные уравнения связи между содержанием гумуса в верхнем слое почвы, запасами гумуса и спектральной яркостью спутниковых снимков.

Рис. 4. Библиогр. 11.

УДК 631.434

Черный С.Г., Выдынивская О.В. Влияние технологии No-till на структуру чернозема южного // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 106–117.

В статье изложены результаты исследований по влиянию технологии No-till на структуру чернозема южного. Определено, что применение технологии No-till в течение короткого периода времени не влияет на микроструктуру почвы, но в то же время изменяются показатели макроструктуры. Улучшение показателей макроструктуры как с агрономической точки зрения, так и с ее противоэрозионных и противодефляционных характеристик связано с созданием в черноземах южных лучших условий для агрегации вследствие улучшения микробиологической деятельности и образования «молодого» гумуса в верхнем слое почвы.

Табл. 5. Рис. 2. Библиогр. 20.

УДК 631.417

Домась А.С., Клебанович Н.В. Фракционный состав гумуса дерново-подзолистых почв Брестского Полесья // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 118–125.

Представлены результаты изучения фракционного состава дерново-подзолистых почв Брестского Полесья. Констатируется малое содержание органического углерода (обычно менее 1 %) в гумусовом горизонте, резкое падение общего содержания гумуса с глубиной, его гуматно-фульватный состав. В составе гуминовых и фульвокислот доминируют подвижные фракции, доля которых падает с 70 % в лесной почве до 50 % в пахотной. Содержание и состав гумуса в изучаемых почвах практически не зависят от их гранулометрического состава.

Табл. 2. Рис. 3. Библиогр. 20.

УДК 631.48:543.42.062

Дробыш С.В., Бубнова Т.В., Матыченкова О.В. Спектральная отражательная способность агродерново-подзолистых почв в зависимости от гранулометрического состава // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 126–132.

Представлены результаты исследований спектральной отражательной способности агродерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава с одинаковым содержанием гумуса, определяемой на разных длинах волн.

Установлено, что длина волны, равная 750 нм, является наиболее информативной для характеристики отражательной способности почв в зависимости от их гранулометрического состава.

Табл. 2. Рис. 4. Библиогр. 9.

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631. 8.022.3: 631.445.2

Лапа В.В., Ивахненко Н.Н. Продуктивность севооборотов и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном применении удобрений // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 133–145.

В длительном (1995–2010 гг.) стационарном полевом опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве в 3-х севооборотах изучали влияние доз и соотношений минеральных удобрений на продуктивность культур и динамику агрохимических показателей пахотного слоя. Установлено, что максимальная среднегодовая продуктивность севооборотов – 81,6 и 81,7ц к.е./га – была обеспечена при среднегодовом применении N90P40K86 и N90P70K124 на фоне 12,1 т органических удобрений/га. За период исследований (14 лет) содержание подвижных форм фосфора и калия в оптимальном по продуктивности варианте снизилось на 16 и 54 мг/кг почвы соответственно, кислотность почвенной среды увеличилась на 0,68 ед. при сохранении содержания гумуса.

Табл. 5. Библиогр. 9.

УДК 631.8:633.112.9”324”:631.559

Цыганов А.Р., Батыршаев Э.М., Вильдфлуш И.Р. Влияние комплексного применения минеральных удобрений и средств защиты растений на интенсивность продукционных процессов, урожайность и качество зерна озимого тритикале // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 146–156.

В статье приведены материалы исследований по влиянию раздельного и комплексного применения минеральных удобрений и средств защиты растений на интенсивность продукционных процессов, урожайность и качество зерна при возделывании озимого тритикале на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

Табл. 3. Библиогр. 8.

УДК 633.16:631.8:631.445.24

Вильдфлуш И.Р., Мишура О.И., Глатанкова И.В. Эффективность применения макро- и микроудобрений при возделывании пивоваренного ячменя на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 156–165.

Увеличение доз азотных удобрений в основное внесение с N_{16} до N_{90} на фоне $P_{60}K_{90}$ существенно повышало урожайность пивоваренного ячменя и содержание в зерне сырого белка, которое ни в одном из вариантов опыта не превышало допустимого уровня (10,5 %). Максимальная урожайность зерна ячменя (53,1 ц/га) в среднем за 2011–2012 гг. была при некорневой подкормке комплексным препаратом МикроСтим Cu, который по сравнению с фоном $N_{60}P_{60}K_{90} + N_{30}$ в подкормку повышал урожайность на 7,4 ц/га при допустимом содержании сырого белка в зерне.

Табл. 5. Библиогр. 11.

УДК 631.812.1´2:631.582:631

Бирюкова О.М., Серая Т.М., Богатырева Е.Н., Мезенцева Е.Г. Влияние твердых и жидких органических удобрений на продуктивность культур звена севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 165–177.

Изучено влияние различных видов и доз органических удобрений на продуктивность культур звена севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве. Наиболее высокая продуктивность получена в вариантах с органоминеральной системой удобрения 308,2–316,3 ц к.ед./га при максимальном выносе элементов питания: азота – 473–501 кг/га, фосфора – 215–231 кг/га, калия – 539–583 кг/га. Наибольшей окупаемостью характеризовался подстилочный куриный помет (15 т/га) – 424,2 к. ед./т, наиболее низкой – жидкий навоз КРС (73,8–61,1 к.ед./т).

Табл. 5. Рис. 1. Библиогр. 8.

УДК 636.087.74:633.1

Маркевич Д.В., Путятин Ю.В., Таврыкина О.М. Сравнительный анализ состава незаменимых аминокислот в основной продукции зерновых культур // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 178–185.

В результате многолетних исследований аминокислотного состава (лизин, треонин, валин, метионин, изолейцин, лейцин, фенилаланин) зерна установлено, что по усредненному удельному содержанию критических аминокислот озимые и яровые зерновые культуры можно ранжировать по убыванию в следующем порядке (в г/кг): овес голозерный (12,86) > ячмень (8,91) > яровая пшеница (8,18) > гречиха (7,76) > озимое тритикале (7,75) > озимая пшеница (7,03) > яровое тритикале (6,91) > озимая рожь (6,75) > овес (6,7) > просо (5,37); незаменимых аминокислот: овес голозерный (42,36) > ячмень (33,74) > просо (30,54) > яровая пшеница (30,03) > озимая пшеница (28,72) > озимое тритикале (26,92) > гречиха (25,98) > овес (25,89) > озимая рожь (24,81) > яровое тритикале (24,33). Различия средних по удельному выходу критических аминокислот с урожаем зерна на 1 га составили до 2,5 раза, незаменимых – до 1,7 раза.

Табл. 3. Библиогр. 13.

УДК 631.82:633.15:631.445.2

Таврыкина О.М., Богдевич И.М., Путятин Ю.В., Третьяков Е.С., Довнар В.А., Маркевич Д.В. Влияние различных уровней обеспеченности дерново-подзолистой суглинистой почвы обменным магнием и доз минеральных удобрений на урожайность и биохимическое качество зерна кукурузы // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 186–198.

По результатам модельного стационарного полевого опыта с различными уровнями обеспеченности дерново-подзолистой суглинистой почвы обменным Mg (1 н KCl) 74–120–181–240 мг/кг и эквивалентными соотношениями Ca:Mg 10,7–6,5–3,9–2,7 установлено увеличение урожайности зерна кукурузы на 5–13 % (6,9–15,2 ц/га) в диапазоне содержания Mg 74–181 Mg мг/кг почвы и при соотношении катионов Ca:Mg 3,9. Повышение содержания Mg до 240 мг/кг почвы и сужение соотношения Ca:Mg до 2,7 приводило к небольшому снижению урожайности зерна кукурузы.

Проведенные некорневые подкормки растений сульфатом магния были эффективными при содержании обменного магния 74 и 120 мг Mg/кг почвы, обеспечив прибавки 7,4 и 6,6 ц/га соответственно.

Содержание сырого белка в зерне кукурузы существенно повышалось (на 0,9–1,5 %) под действием фонового $N_{110+30}P_{60}K_{120}$ и серосодержащих удобрений и было наибольшим (9,6 %) при содержании обменного магния в почве 181 мг/кг почвы. Аминокислотный состав белка и биологическая ценность критических и незаменимых аминокислот мало изменялись от исследуемых факторов.

Табл. 4. Рис. 1. Библиогр. 8.

УДК 633.521:631.82:581.14.04

Ходянков А.А., Гаврюшин И.Ю. Влияние минеральных удобрений и брассиностероидов на продуктивность льна масличного и вынос элементов питания // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 198–208.

В статье приведены результаты полевых опытов за 2010–2012 гг. со льном масличным сорта Брестский. Установлена высокая эффективность этой культуры в условиях северо-восточной части Беларуси: урожайность семян до 24,7 ц/га при их масличности до 48,6 %.

Содержание элементов питания в растениях зависело от вносимых минеральных удобрений и регуляторов роста. Лучшие условия для снабжения льна основными питательными элементами и повышения его продуктивности обеспечили двойные обработки посевов брассиностероидами (в начале фазы «елочки» в баковой смеси с гербицидами и комплексонатом микроэлементов Поликом Л и в фазу бутонизации в баковой смеси с фунгицидом Дерозал) на фоне комплексного АФК удобрения.

Табл. 3. Библиогр. 15.

УДК 631.582:631.445.2

Щетко А.И. Продуктивность звена севооборота и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от удобрений // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 209–217.

Максимальная продуктивность севооборота 146,0–161,2 ц к.ед./га на обоих уровнях кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы формировалась при внесении 20 т/га навоза КРС + $N_{75}P_{70}K_{120}$ + микроэлементы. Содержание подвижного фосфора увеличилось в пахотном слое на 20–45 мг/кг. Применение калийных удобрений на уровне 100 и 130 кг/га не компенсировало вынос калия сельскохозяйственными культурами.

Табл. 2. Библиогр. 4.

УДК 633.11/.14 «321»:632.51:631.811

Пестерева А.С., Сорока С.В. Вынос основных элементов питания яровой тритикале и сорными растениями в органогенезе // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 217–226.

В результате проведенных исследований установлено, что в течение периода вегетации в различные стадии развития культуры сорные растения выносят из почвы 2,7–14,8 кг/га азота; 2,2–20,1 кг/га фосфора; 6,7–39,0 кг/га калия; 1,7–4,5 кг/га кальция и 0,9–3,1 кг/га магния. Выявлена зависимость выноса элементов питания от вида сорного растения и его вегетативной массы.

Табл.4. Рис. 3. Библиогр. 8.

УДК 633.367:631.81.095.338:631.445.2

Рак М.В., Пукалова Е.Н. Зависимость урожайности и качества люпина узколистного от обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы кобальтом и применения кобальтовых удобрений // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 226–235.

В статье приведены результаты исследований по влиянию различных уровней содержания кобальта в дерново-подзолистой супесчаной почве, доз и видов кобальтовых удобрений на урожайность и качество зерна люпина узколистного. Установлено, что более высокую эффективность (прибавки зерна 3,3 и 2,9 ц/га при рентабельности 530 и 490 %) обеспечивает внесение в некорневые подкормки удобрения МикроСтим-Кобальт в дозе 0,025 кг/га д.в. при низком (0,9 мг/кг) и среднем (2,0 мг/кг) уровнях содержания кобальта в почве.

Табл. 4. Рис. 1. Библиогр. 4.

УДК 631.81.095.337:631.11:63116:631.445.1

Рак М.В., Лапа В.В., Соколов Г.А., Титова С.А., Николаева Т.Г., Пукалова Е.Н. Эффективность микроудобрений ЭлеГум при возделывании озимой пшеницы и ячменя на дерново-подзолистых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1 (50). – С. 236–243.

В полевых опытах на дерново-подзолистых почвах с озимой пшеницей и ячменем изучена эффективность различных марок и доз жидких двухкомпонентных комплексных микроудобрений ЭлеГум.

Табл. 5. Библиогр. 7.

УДК 631.416.9:631.445.2

Мирошниченко Н.Н., Тертышная А.В., Панасенко А.В. Пространственная неоднородность микроэлементного состава склоновых почв Левобережной Лесостепи Украины // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 243–255.

Изучено распределение микроэлементов и глинистых минералов по профилю почв в типичных трансэлювиальных ландшафтах Лесостепи Украины. Установлено, что формирование карбонатного слоя, минералогическая неоднородность и эрозионные процессы приводят к значительным различиям в обеспечении склоновых почв физиологически необходимыми микроэлементами.

Табл. 3. Рис. 3. Библиогр. 12

УДК 631.472.56:631.417.8:631.416.9

Лыкова Е.А., Мирошниченко Н.Н., Панасенко О.С., Сябрук О.П. Лабильное органическое вещество как фактор мобилизации-иммобилизации микроэлементов в почве // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 256–265.

В статье изложены данные по изменению микроэлементного состава зональных черноземов Левобережной Лесостепи Украины и их лабильного органического вещества под влиянием распашки почв, длительного применения удобрений и севооборотов. Установлено, что обработка черноземов приводит к значительному снижению содержания лабильного органического вещества, в составе которого резко увеличивается массовая часть микроэлементов. Длительное применение минеральных удобрений способствует обогащению лабильного органического вещества почвы медью и железом, в то время как при внесении навоза, наоборот, содержание микроэлементов относительно меньшее. Способность почвы к мобилизации/иммобилизации микроэлементов из органического вещества под действием микроорганизмов можно оценить при помощи соответствующего показателя, определяемого аналогично нитрификационной способности.

Табл. 5. Рис. 2. Библиогр. 12

УДК 633.416:631.81.095.338

Лужинский Д.В., Белякова К.В. Эффективность некорневых подкормок борными микроудобрениями посевов кормовой свеклы // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. – 266–272.

В статье представлены результаты исследований по изучению эффективности некорневых подкормок посевов кормовой свеклы сорта Лада борными микроудобрениями в смеси с азотом. Установлено, что лучшим сроком проведения подкормки растений, обеспечивающим получение как максимальной урожайности (783,8–811,6 ц/га), так и максимальной рентабельности (163–215 %) является фаза смыкания ботвы в ряду. Наибольший условно чистый доход (1274 тыс. руб./га) был получен при проведении некорневой подкормки посевов в эту фазу Эколистом монобор (2 л/га) совместно с азотом (30 кг/га д.в.).

Табл. 2. Рис. Библиогр. 10.

УДК 633.413:547.458.5

Лукьянюк Н.А., Абрамович И.К. Влияние элементов технологии на содержание вредных несахаров у гибридов сахарной свеклы // Почвоведение и агрохимия. –2013. – № 1(50). – С. 272–282.

Изучено влияние отдельных элементов технологии сахарной свеклы на технологические качества корнеплодов у гибридов с различной степенью устойчивости к комплексу патогенов. Установлено, что применение дополнительно азотной подкормки нецелесообразно. На высокоокультуренной дерново-подзолистой почве применение микроэлементов Поликом «Свекла» + Полибор в чистом виде на технологические качества корнеплодов влияния не оказало. При совместном применении с фунгицидами отмечено улучшение технологических качеств корнеплодов. Применение фунгицидов как в годы эпифитотии церкоспороза, так и при его умеренном развитии оправдано на гибридах с различной степенью устойчивости.

Табл. 4. Библиогр. 14.

УДК 633.2/.3:631.8:631.559:631.445.24

Хатулев И.Н. Влияние комплексных удобрений с добавками микроэлементов на урожайность многолетних бобово-злаковых травосмесей на осушенной дерново-подзолисто-глеевой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 282–299.

В статье приведены данные по изучению эффективности комплексных азотно-фосфорно-калийных удобрений с добавками микроэлементов при возделывании многолетних бобово-злаковых травосмесей на дерново-подзолисто-глеевой легкосуглинистой почве в условиях Витебской области Республики Беларусь (2010–2012 гг.).

Установлено, что применение новых форм комплексных азотно-фосфорно-калийных удобрений с модифицирующими добавками (в дозах $N_{18–28}P_{39–82}K_{79–165}$) в технологии возделывания многолетних бобово-злаковых травосмесей первого года жизни, первого и второго года пользования под первый укос трав с дополнительным внесением азотно-калийных удобрений под второй укос ($N_{25–35}K_{50}$) является эффективным агротехническим приемом, обеспечивающим повышение урожайности зеленой массы, сухого вещества и окупаемости минеральных удобрений.

Табл. 3. Библиогр. 18.

УДК 635.21:631.8.022.3:631.445.2

Щетко А.И., Рыбак А.Р. Эффективность применения удобрений под картофель на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 300–306.

Оптимальной системой удобрения картофеля является применение 50 т/га органических удобрений и минеральных удобрений в дозе $N_{80+40}P_{30}K_{120}$. При такой системе удобрения получена самая высокая в опыте урожайность клубней 256 ц/га при содержании крахмала 16,2 %, чистом доходе 594,0 USD/га и рентабельности 119 %. Удельный вынос основных элементов питания при данной системе удобрения составил: азота – 7,1 кг/т, фосфора – 2,9 кг/т, калия – 14,8 кг/т.

Табл. 3. Библиогр. 4.

УДК 633.11:631.445.24

Михайловская Н.А., Черныш А.Ф., Миканова О., Барашенко Т.Б., Тарасюк Е.Г., Дюсова С.В. Эффективность применения фосфатмобилизующих инокулянтов на посевах пшеницы на эродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – №1(50). – С. 306–319.

В полевом эксперименте на дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках установлено, что применение фосфатмобилизующих бактерий приводило к повышению урожайности яровой и озимой пшеницы на водоразделе, средне- и сильноэродированной почвах при органической, минеральной и органо-минеральной системах удобрения. Урожайность и прибавки от бактеризации посевов зависели от степени эродированности почвы и системы удобрения.

Табл. 7. Библиогр. 20.

УДК 633.16:633.367:632.15

Лукашенко Н.К., Головатый С.Е., Ковалевич З.С., Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Манджиева С.С, Чаплыгин В.В. Накопление растениями ячменя и люпина цинка, меди и свинца при разных уровнях загрязнения почв этими элементами // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 319–335.

В статье представлены результаты совместных исследований, выполненных в Беларуси и России, по изучению влияния загрязнения дерново-подзолистой супесчаной и суглинистой почвы, чернозема обыкновенного и каштановой

почвы тяжелыми металлами на накопление этих элементов в растениях ячменя и люпина. Установлена различная степень подвижности тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве, черноземе и каштановой почве. Показано накопление тяжелых металлов в зеленой массе и зерне люпина и зерне и соломе ячменя при разных уровнях загрязнения ими почвы. Установлены корреляционные зависимости между содержанием тяжелых металлов в растениях и содержанием их валовых и подвижных форм в почвах.

Табл. 5. Библиогр. 20.

УДК 631.8:631.81.095.337:633.432

Пироговская Г.В., Мысливец Д.Г. Влияние комплексных удобрений с микроэлементами на урожайность и качество корнеплодов моркови различных сроков уборки // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 335–351.

В статье приводится сравнительная характеристика влияния форм и доз комплексных минеральных удобрений с добавками микроэлементов и биологически активных веществ, а также азотно-серосодержащих удобрений, применяемых для основного внесения в почву, на урожайность корнеплодов столовой моркови, убираемой на ранние сроки реализации и для закладки на хранение. В статье также отражено влияние изучаемых удобрений на показатели качества столовой моркови – выход стандартной продукции и содержание нитратов.

Табл. 5. Библиогр. 7.

УДК 631.811633.4

Семененко Н.Н., Жабровская Н.Ю., Воробьева Т.А. Методы определения обеспеченности овощных культур элементами питания // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 351–365.

Методы определения минеральных соединений азота, фосфора и калия в растениях основаны на извлечении их из навески сырой растительной массы 0,2 М раствором уксусной кислоты при соотношении массы растения и раствора 1:10 с последующим определением азота нитратного и аммонийного, фосфора – в виде окрашенных соединений, калия – на пламенном фотометре.

Табл. 6. Библиогр. 9.

УДК 631.53.033*635.925

Константинов А.В., Кулагин Д.В., Баландина И.М., Падутов В.Е. Адаптация регенерантов далекарлийской березы (B*etula pendula R*roth. var. *dalecarlica* Schneid.) к условиям *ex vitro* на субстратах различного состава // Почвоведение и агрохимия.– 2013. – № 1(50). – С. 365–373.

В работе описаны исследования по оптимизации процесса адаптации к почвенным условиям *ex vitro* микроклонально размноженного посадочного материала декоративной формы березы повислой (*Betula pendula* Roth. var. *dalecarlica* Schneid.) – перспективной для использования в городском и частном

озеленении. Выявлен оптимальный для адаптации к нестерильным условиям состав почвенного субстрата (смесь торфа, песка и агроперлита в соотношении 3:1:2).

Табл. 2. Рис. 2. Библиогр. 13.

УДК 633:631.81.095.337

Гончарук В.М., Быховец А.И., Лахвич Ф.А., Булавина Т.М., Булавин Л.А. Эффективность применения препарата Фитовитал при возделывании различных сельскохозяйственных культур // Почвоведения и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 374–383.

В статье обобщены результаты исследований по изучению эффективности применения отечественного препарата Фитовитал, содержащего янтарную кислоту и сбалансированный комплекс микроэлементов, при возделывании различных сельскохозяйственных культур. Показано, что этот препарат можно использовать как для обработки семян, так и вегетирующих растений. Применение Фитовитала обеспечивает положительное влияние на рост, развитие и урожайность зерновых, зернобобовых, крестоцветных, плодовых, овощных, декоративных и лекарственных культур, что свидетельствует о целесообразности его производства в республике.

Библиогр. 34.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия» согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 4.07.2005 № 101 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 22.02.2006 № 2) и иметь следующую структуру: индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК); введение; основную часть (разделы – методика и объекты исследования, результаты исследований и их обсуждение), выводы, список цитированных источников. К статье прилагается аннотация на русском и английском языках (с переводом названия статьи, фамилий авторов). Статья должна быть подписана всеми авторами.

Объем статьи не должен превышать 10 страниц формата А 4, но не менее 14 тыс. печатных знаков. Все материалы представляются распечатанными на белой бумаге.

Электронный вариант должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word шрифтом Arial (размер кегля – 10 пт, через одинарный интервал, абзац – 0,75). Рисунки даются в формате TIF.JPG 300–600 точек на дюйм. Текст на рисунках также должен быть набран гарнитурой Arial, размер кегля соизмерим с размером рисунка. Подписи к рисункам и схемам делаются отдельно.

Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ссылки нумеруются согласно порядку цитирования в тексте. Порядковые номера ссылок по тексту должны быть написаны внутри квадратных скобок (например [1], [2]). Ссылка на неопубликованные работы не допускается.

Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

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

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

Редакция оставляет за собой право вносить в текст редакционную правку.

Ответственная за выпуск *Н.Ю. Жабровская*
Редакторы *Т.Н. Самосюк, В.А. Долгая*
Компьютерная верстка *В.А. Долгой*

Подписано в печать Формат 70x100 1/16 Бумага офсетная
Усл. п.л. Уч.-изд. л. Тираж 120 экз. Заказ

Отпечатано в Республиканском унитарном предприятии
«Информационно-вычислительный центр Министерства финансов
Республики Беларусь»
ЛП № 02330/0494120 от 11.03.2009.
220004, г. Минск, ул. Кальварийская, 17