

ISSN 0130-8475

---

**Институт почвоведения и агрохимии**

---

# **ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

*Основан в 1961 г.*

**№ 1(58)  
Январь – июнь 2017 г.**

Минск  
2017

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

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

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

Главный редактор *В.В. ЛАГА*

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

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

## **ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ**

*№ 1(58)  
Январь – июнь 2017 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](mailto:brissainform@mail.ru)

© Республиканское научное дочернее унитарное  
предприятие «Институт почвоведения  
и агрохимии», 2017

# СОДЕРЖАНИЕ

## 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

- Черныш А.Ф., Устинова А.М., Цырибко В.Б., Юхновец А.В., Касьяненко И.И.** Динамика основных физических свойств пахотного горизонта дерново-подзолистых эродированных почв на моренных суглинках в процессе их сельскохозяйственного использования ..... 7
- Шибут Л.И., Азаренок Т.Н., Матыченкова О.В., Шульгина С.В., Дыдышко С.В., Матыченков Д.В.** Энергетическая оценка плодородия почв для рационального землепользования в почвенно-экологических провинциях Беларуси..... 20
- Алексеев В.Е.** Сравнительная характеристика минералогического состояния черноземов типичных на покровных отложениях водоразделов Молдовы и Среднерусской возвышенности ..... 32
- Алексеев В.Е.** Черноземы типичные на покровных отложениях водоразделов Молдовы и Среднерусской возвышенности: баланс минералов ..... 45
- Воротынцева Л.И.** Трансформация свойств темно-каштановой почвы под влиянием сельскохозяйственного использования и орошения ..... 54
- Тютюнник Н.В.** Влияние орографии на интенсивность черноземообразования в зоне северной степи Украины..... 67
- Цапко Ю.Л., Зубковская В.В., Огородняя А.И.** Влияние окислительно-восстановительных условий на динамику содержания фосфора в почвах различного генезиса в зависимости от уровня увлажнения..... 78

## 2. ПЛОДРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

- Богатырева Е.Н., Серая Т.М., Бирюкова О.М.** Влияние севооборотов и систем удобрения на показатели гумусного состояния дерново-подзолистых суглинистых почв разной степени эродированности..... 85
- Семененко Н.Н., Каранкевич Е.В., Авраменко Н.М.** Влияние комплекса агротехнологических приемов на продуктивность культур севооборота, эффективность удобрений и плодородие торфяно-минеральных почв Полесья ..... 94
- Леонов Ф.Н., Синевич Т.Г.** Эффективность минеральных удобрений в зависимости от обеспеченности подвижными фосфатами дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы ..... 109

<b>Лапа В.В., Ивахненко Н.Н., Грачева А.А.</b> Эффективность систем удобрения при возделывании озимого тритикале на дерново-подзолистой супесчаной почве .....	116
<b>Богдевич И.М., Путятин Ю.В., Станилевич И.С., Таврыкина О.М., Довнар В.А., Манько П.С.</b> Влияние обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием на урожайность ярового тритикале ...	130
<b>Вильдфлуш И.Р., Пироговская Г.В., Барбасов Н.В.</b> Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на урожайность и качество ячменя .....	138
<b>Уваренко К.Ю.</b> Влияние агрофизических параметров черноземной почвы на эффективность минеральных удобрений при выращивании ячменя ярового .....	145
<b>Пироговская Г.В., Исаева О.И., Хмелевский С.С., Сороко В.И.</b> Комплексные удобрения в технологии возделывания картофеля на дерново-подзолистых почвах .....	153
<b>Рак М.В., Титова С.А., Николаева Т.Г.</b> Эффективность жидких микроудобрений МикроСтим при возделывании люцерны .....	169
<b>Цыганов А.Р., Мастеров А.С., Плевко Е.А.</b> Динамика развития яровых крестоцветных культур в зависимости от применения микроудобрений и Экосила .....	177
<b>Михайловская Н.А., Барашенко Т.Б., Погирницкая Т.В., Дюсова С.В.</b> Бинарная композиция <i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i> и ее эффективность для инокуляции озимой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах .....	187
<b>Мирошниченко Н.Н., Бердников А.М., Потапенко Л.В., Чмель Е.П., Пархоменко М.Н.</b> Эколого-агрохимическая оценка дерново-подзолистых супесчаных почв украинского Полесья .....	199
<b>Гордиенко И.Н., Гладких Р.П.</b> Содержание элементов питания в растениях и вынос их с урожаем лука репчатого .....	209
<b>Гашенко О.А., Кастрицкая М.С., Кухарчик Н.В.</b> Влияние субстрата и концентрации ауксина на эффективность черенкования оздоровленных <i>in vitro</i> растений хмеля на стадии адаптации <i>ex vitro</i> .....	214
<b>Жабровская Н.Ю., Жабровский И.Е., Самосюк Т.Н.</b> Участие сотрудников Института почвоведения и агрохимии в профессиональной подготовке специалистов агропромышленного комплекса Беларуси .....	223
Рефераты .....	229
Правила для авторов .....	238

---

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

- Chernysh A.F., Ustinova A.M., Tsyrybko V.B., Yukhnovets A.V., Kas'yanenko I.I.** Dynamics of the basic physical properties of the arable horizon of sod-podzolic eroded soils on moraine loams under their agricultural use ..... 7
- Shibut L.I., Azarenok T.N., Matychenkova O.V., Shulgina S.V., Dydyshko S.V., Matychenkov D.V.** Energy assessment of soil fertility for rational land use in the soil-ecological provinces of Belarus ..... 20
- Alekseev V.E.** Comparative characteristics of the mineralogical status of chernozems typical on the covering sediments of the watersheds of Moldova and the central Russian upland ..... 32
- Alekseev V.E.** Chernozems typical on the covering sediments of the watersheds of Moldova and the central Russian upland: balance of minerals ..... 45
- Vorotyntseva L.I.** Transformation of the properties of the dark-chestnut soil under influence of agricultural use and irrigation ..... 54.
- Tyutyunnik N.V.** Orographically influence on the intensity of chernozem formation in the zone Northern bar-rens of the Ukraine ..... 67
- Tsapko Yu.L., Zubkovskaya V.V., Ogorodnyaya A.I.** Effect of oxidative-reduction conditions on the phos-phorus dynamics in soils of different genesis depending on the level of moisture ..... 78

**2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION**

- Bogatyreva E.N., Seraya T.M., Biryukova O.M.** Impact of crop rotations and fertilization systems on hu-mus state indexes of sod-podzolic loamy soils of various eroded levels ..... 85
- Semenenko N.N., Karankevich E.V., Avramenko N.M.** Impact of complex agrobiotechnological techniques on crop rotation productivity, fertilizer efficiency and fertility of peat-mineral soils of Poles' e ..... 94
- Leonov F.N., Sinevich T.G.** Efficiency of fertilizers in relation to mobile phosphate supply of podzoluvisol loamy soil ..... 109
- Lapa V.V., Ivakhnenko N.N., Gracheva A.A.** Effectiveness of fertilizer systems for winter triticale growing on luvisol loamy sand soil ..... 116
- Bogdevitch I.M., Putyatin Yu.V., Stanilevich I.S., Tavrykina O.M., Dovnar V.A., Man'ko P.S.** Effect of exchangeable magnesium supply of podsoluvisol loamy soil on the spring triticale yield ..... 130

<b>Vildflush I.R., Pirogovskaya G.V., Barbasov N.V.</b> Influence of macro- and micronutrients and growth regulators on yield and quality of barley .....	138
<b>Uvarenko K.Yu.</b> Influence of agrophysical parameters of chernozem on the efficiency of mineral fertilizers by the growing spring barley .....	145
<b>Pirogovskaya G.V., Isaeva O.I., Khmelevsky S.S., Soroko V.I.</b> Complex fertilizers in technology of potato cultivation on sod-podzolic soils .....	153
<b>Rak M.V., Titova S.A., Nikolaeva T.G.</b> Effectiveness of liquid microfertilizers MicroStim in lucerne cultivation .....	169
<b>Tsyganov A.R., Masterov A.S., Plevko E.A.</b> Dynamics of the development of the spring mustard family crops depending on the application of microfertilizers and Ecosil .....	177
<b>Mikhailovskaya N.A., Barashenko T.B., Pogirnitskaya T.V., Dyusova S.V.</b> Binary composition <i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i> and its efficiency for inoculation of winter wheat on eroded sod-podzolic loamy soils .....	187
<b>Miroshnychenko M.M., Berdnykov A.M., Potapenko L.V., Chmel E.P., Parkhomenko M.N.</b> Ecological and agrochemical assessment of farming on the sod-podzolic sandy loam soils of Ukrainian Polissya .....	199
<b>Gordienko I.N., Gladkikh R.P.</b> Nutrients content in plants and their removal with the onion harvest .....	209
<b>Hashenko O.A., Kastryskaya M.S., Kukharchyk N.V.</b> Influence of substrate and auxin concentration on cutting efficiency of in vitro derived virus-free hop plants at ex vitro adaptation stage .....	214
<b>Zhabrovskaya N.Yu., Zhabrovsky I.E., Samosyuk T.N.</b> Participation of employees of the Institute for Soil Science and Agrochemistry in the professional training of specialists in the agro-industrial complex of Belarus .....	223
Summaries .....	229
Rules for authors .....	238

# 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4

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

А.Ф. Черныш, А.М. Устинова, В.Б. Цырибко,  
А.В. Юхновец, И.И. Касьяненко

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

### ВВЕДЕНИЕ

Современные агротехнологии должны разрабатываться и применяться на основе следующих принципов устойчивого землепользования: сохранение и повышение производительной способности почв; снижение риска потери продуктивности сельскохозяйственных культур; защита окружающей среды и сохранение биологического разнообразия; экономическая целесообразность и социальная приемлемость [1]. Соблюдение этих принципов возможно при достижении и устойчивом сохранении требуемого качества почв, т.е. когда «почвы функционируют в пределах границ естественной и управляемой экосистемы; поддерживают устойчивую продуктивность растений и животных; сохраняют и улучшают качество воды и воздуха; обеспечивают здоровье людей» [2].

Окультуривание почв должно быть направлено не только на улучшение агрохимических свойств, но и физических. Для этого необходима разработка научно обоснованных индикаторов состояния почвы в аспекте сохранения баланса её экологических функций [3].

К наиболее значимым управляемым физическим свойствам почвы относятся её плотность и общая пористость. Эти свойства необходимо главным образом принимать во внимание, т.к. только с помощью их регулирования возможно формирование оптимального для растений водного, воздушного, теплового и питательного режимов.

Под плотностью принято понимать вес абсолютно сухой почвы в единице объема ( $\text{г/см}^3$ ). Она обуславливает как качество почв в значениях нескольких экологических функций (распределение влаги, тепла и газов), так и их окультуренность в значениях водно-воздушного и питательного режима растений, и эффективности использования удобрений и обработок почвы, а также условий биологического состояния почв. Нет ни одного вида механической обработки почвы, который не оказывал бы существенного воздействия на её плотность.

Плотность почвы непосредственно влияет на процессы жизнедеятельности растений. Поэтому этот показатель следует принять за первичный элемент не только всей физики почв, но и жизни растений [4].

Плотность почвы рассматривается также как и почвенно-географическая характеристика, связанная со свойствами того или иного типа почв, неодинаково влияющую на рост и развитие культурных растений в различных почвенно-климатических условиях [5].

Плотность обрабатываемых слоев почвы имеет хорошо выраженную динамику во времени. В рыхлом состоянии почвы пребывают сравнительно недолго сразу после их обработки, затем начинается «самоуплотнение», которое выражено тем ярче, чем ниже их структура, чем больше осадков выпадает после обработки, а также в зависимости от вида обработки и качества ее выполнения. Многие почвы сравнительно быстро достигают устойчивой плотности и в дальнейшем сравнительно мало меняются [4].

Общая пористость почвы – это суммарный объем пор в почве, выраженный в %. Пористость зависит от гранулометрического, микроагрегатного состава и структуры почвы, от формы почвенных частиц, плотности их упаковки. Общая пористость определяет направленность физико-химических, биохимических и микробиологических процессов в почве, которые ответственны за трансформацию органического вещества, соединений азота и других питательных элементов. Поэтому, имея количественную информацию о динамике общей пористости почвы, можно разработать рекомендации по точному определению количества и химического состава минеральных азотных и органических удобрений для внесения под планируемую сельскохозяйственную культуру на конкретной почве. Эти рекомендации позволят сократить газообразные и другие потери азота и углерода в результате неблагоприятной микробиологической активности [5].

Цель исследований – установление изменений физических свойств пахотного горизонта в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв, развивающихся на моренных суглинках, в результате сельскохозяйственного использования.

## **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Объектами исследования являлись дерново-подзолистые в разной степени эродированные почвы на моренных суглинках стационара «Браслав» Браславского района Витебской области, представляющие в геоморфологическом отношении единую почвенно-эрозионную катену. На водораздельной равнине (плакоре) расположена незэродированная почва, в верхней части склона – среднеэродированная, в средней части – сильноэродированная, в подножье склона – глееватая намытая почва.

Характерной особенностью дерново-подзолистых эродированных почв, развивающихся на моренных суглинках, является дифференциация профиля, проявляющаяся в перераспределении илистой фракции и полуторных оксидов и оказывающая влияние на неоднородность физических, водно-физических и физико-химических свойств. Четко выраженный подзолистый горизонт характерен лишь для незэродированных почв. В результате эрозионных процессов происходит деградация почвенного профиля. Смыв материала верхнего горизонта и вовле-

чение в Ап материала нижних горизонтов приводит к обеднению почв гумусом, некоторым изменениям гранулометрического состава пахотного слоя, формированию глыбистого с неблагоприятными агрофизическими и воздушными свойствами маломощного пахотного горизонта [6].

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

1) (1996–2000 гг.) – озимая рожь – яровая пшеница + травы – многолетние бобово-злаковые травы – яровой рапс – озимая пшеница;

2) (2001–2005 гг.) – овес – озимое тритикале – однолетние травы – яровая пшеница – яровой рапс;

3) (2006–2010 гг.) – вико-овсяная смесь – яровая пшеница – однолетние травы – озимая пшеница + пожнивные – горох;

4) (2011–2016 гг.) – озимая пшеница + пожнивные – вико-овсяная смесь – озимое тритикале – однолетние травы + многолетние травы – многолетние травы 1–2 г.п.

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

Для качественной оценки плотности существуют различные градации (табл. 1).

Таблица 1

**Оценка плотности почвы**

Оценка плотности почвы естественного сложения (Качинский Н.А., 1965) [10]		Оценка плотности пахотного слоя почв (Кузнецова И.В., 1979) [11]	
плотность, г/см <sup>3</sup>	качественная оценка	плотность, г/см <sup>3</sup>	качественная оценка
1,61–1,80	Сильно уплотненные иллювиальные горизонты	>1,5	Очень плотное
1,41–1,60	Типичные величины для подпахотных горизонтов почв	1,4–1,5	То же
1,26–1,40	Пашня сильно уплотнена	1,3–1,4	Плотное
1,00–1,25	Типичная величина культурной и свежевспаханной почвы	1,2–1,3	Уплотненное
		1,1–1,0	Оптимальное
<1,00	Почва вспушена или богата органическим веществом	1,0–1,2	То же
		<1,0	Рыхлое

Оптимальные условия для жизнедеятельности растений и биологических процессов создаются при определенных соотношениях в почве воды и воздуха. Величина пористости находится в функциональной зависимости от плотности сложения и плотности твердой фазы почвы: чем больше плотность, тем ниже пористость; чем больше гумуса, тем меньше плотность и выше пористость; чем больше агрегатов, тем выше пористость. Пористость изменяется также в зависимости от обработки почвы, культуры на поле, от степени и длительности увлажнения почвы. Например, в слое 0–10 см дерново-подзолистой почвы под лесом пористость равна 67 %, под многолетней залежью – 49 %, монокультурой овса – 45 %, под паром – 65 % [12]. Оценивается пористость почв по шкале Н.А. Качинского (табл. 2)

Таблица 2

**Оценка пористости суглинистых и глинистых почв (Качинский Н.А., 1965) [10]**

Общая пористость, %	Качественная оценка	Общая пористость, %	Качественная оценка
>70	Почва вспушена – избыточно пористая	<50	Неудовлетворительная для пахотного слоя
55–60	Культурный пахотный слой – отличная	25–40	Характерная для уплотненных иллювиальных горизонтов – чрезмерно низкая
50–55	Удовлетворительная для пахотного слоя		

Оптимальными считаются такие величины показателей физических свойств, при которых требования сельскохозяйственных растений удовлетворяются, обеспечивая их максимальную продуктивность при определенном фиксированном уровне других факторов. Поскольку не всегда можно достигнуть оптимального уровня, существуют допустимые значения, образовавшиеся в результате негативного влияния антропогенных и природных факторов, которые носят обратимый характер. Возможность использования почв для продуктивного сельскохозяйственного производства при этом сохраняется. В случае, если в результате деграционных процессов весь комплекс физических свойств достигает условно необратимых изменений, снижающих общий уровень плодородия почв, а дальнейшее продуктивное использование почв требует дополнительных материальных затрат, либо вообще нерационально, то это критические значения показателей физических свойств [12].

В исследованиях лаборатории агрофизических свойств и защиты почв от эрозии Института почвоведения и агрохимии разработаны оптимальные интервалы значений параметров агрофизических свойств, обеспечивающих максимальную производительную способность почв [13], основанные на модели, предложенной российскими исследователями [12, 14], а также результатах собственных многолетних исследований [15]. За критерий оценки оптимальной плотности принимается оптимальное содержание в почве воздуха при насыщении ее водой до наименьшей влагоемкости (табл. 3).

Таблица 3

**Градации значений плотности и пористости пахотного горизонта дерново-подзолистых почв, сформированных на моренных суглинках**

Физическое свойство	Градации значений		
	оптимальное	допустимое	критическое
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,20–1,30	1,31–1,55	>1,55
Пористость, %	49–54	39–48	<39

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Результаты проведенных исследований показывают, что плотность пахотного горизонта дерново-подзолистых почв, сформированных на моренных суглинках, в конце вегетационного периода определялась, в первую очередь, степенью эро-

дированности (табл. 4, рис. 1). По классификации Н.А. Качинского в первую ротацию севооборота (1996–2000 гг.) Ап сильно уплотнен и переуплотнен – плотность изменялась от 1,52–1,61 г/см<sup>3</sup> на незэродированной почве до 1,60–1,68 г/см<sup>3</sup> на сильноэродированной. В тоже время диапазон отклонений плотности от среднего значения по годам невысокий: незэродированная почва – 0,09–0,18 г/см<sup>3</sup>; среднеэродированная – 0,07–0,17 г/см<sup>3</sup>; сильноэродированная – 0,08–0,12 г/см<sup>3</sup>.

Таблица 4

**Влияния сельскохозяйственного использования на плотность пахотного горизонта дерново-подзолистых почв на моренных суглинках, г/см<sup>3</sup>**

Степень эродированности	Слой почвы, см	Годы исследований				Средняя за 1996–2016 гг.
		1996–2000	2001–2005	2006–2010	2011–2016	
Незэродированная	0–10	1,52	1,34	1,37	1,43	1,41
	10–20	1,61	1,41	1,45	1,51	1,49
Среднеэродированная	0–10	1,56	1,45	1,49	1,52	1,50
	10–20	1,64	1,52	1,53	1,58	1,57
Сильноэродированная	0–10	1,60	1,52	1,55	1,59	1,57
	10–20	1,68	1,57	1,58	1,65	1,62

Для второй ротации почвозащитного севооборота характерны наиболее низкие значения плотности за 20 лет исследований – 1,34–1,57 г/см<sup>3</sup>, т.е. пашня сильно уплотнена. На среднеэродированной разновидности плотность выше по сравнению с незэродированной на 0,09 г/см<sup>3</sup>, сильноэродированной – на 0,16–0,17 г/см<sup>3</sup>. Однако плотность эродированных почвах более стабильна по годам – диапазоны отклонений составили 0,11–0,15 г/см<sup>3</sup> против 0,13–0,20 г/см<sup>3</sup> на незэродированной.

В третью ротацию севооборота (2006–2010 гг.) пахотный горизонт незэродированной почвы также характеризовался как сильно уплотненный – 1,37–1,45 г/см<sup>3</sup>. На средне- и сильноэродированных разновидностях плотность Ап увеличилась на 0,08–0,12 г/см<sup>3</sup> и 0,13–0,18 г/см<sup>3</sup> относительно незэродированной. В данной ротации диапазон отклонений составил 0,23–0,29 г/см<sup>3</sup>. В то же время колебания по катене незначительные – от 0,23 г/см<sup>3</sup> на незэродированной до 0,25–0,29 г/см<sup>3</sup> на эродированных.

Пахотный горизонт исследуемых почв в среднем за четвертую ротацию севооборота характеризуется достаточно высокими значениями плотности – 1,43–1,65 г/см<sup>3</sup>. Увеличение плотности в последнюю ротацию связано с возделыванием многолетних трав. Для данной ротации характерны самые высокие диапазоны отклонений – 0,21–0,44 г/см<sup>3</sup>.

Средние за 20-летний период значения плотности для самого верхнего слоя (0–10 см) составили на незэродированной почве 1,41 г/см<sup>3</sup>, среднеэродированной – 1,50, сильноэродированной – 1,57 г/см<sup>3</sup>. С глубиной плотность почвы возрастала и для слоя 10–20 см она была на 0,05–0,08 г/см<sup>3</sup> выше по сравнению с предыдущим. Следовательно, пашня сильно уплотнена. Диапазоны отклонений в плотности колеблются от 0,31–0,33 г/см<sup>3</sup> на сильноэродированной разновидности до 0,40 и 0,37–0,44 г/см<sup>3</sup> на незэродированной и среднеэродированной почвах соответственно.

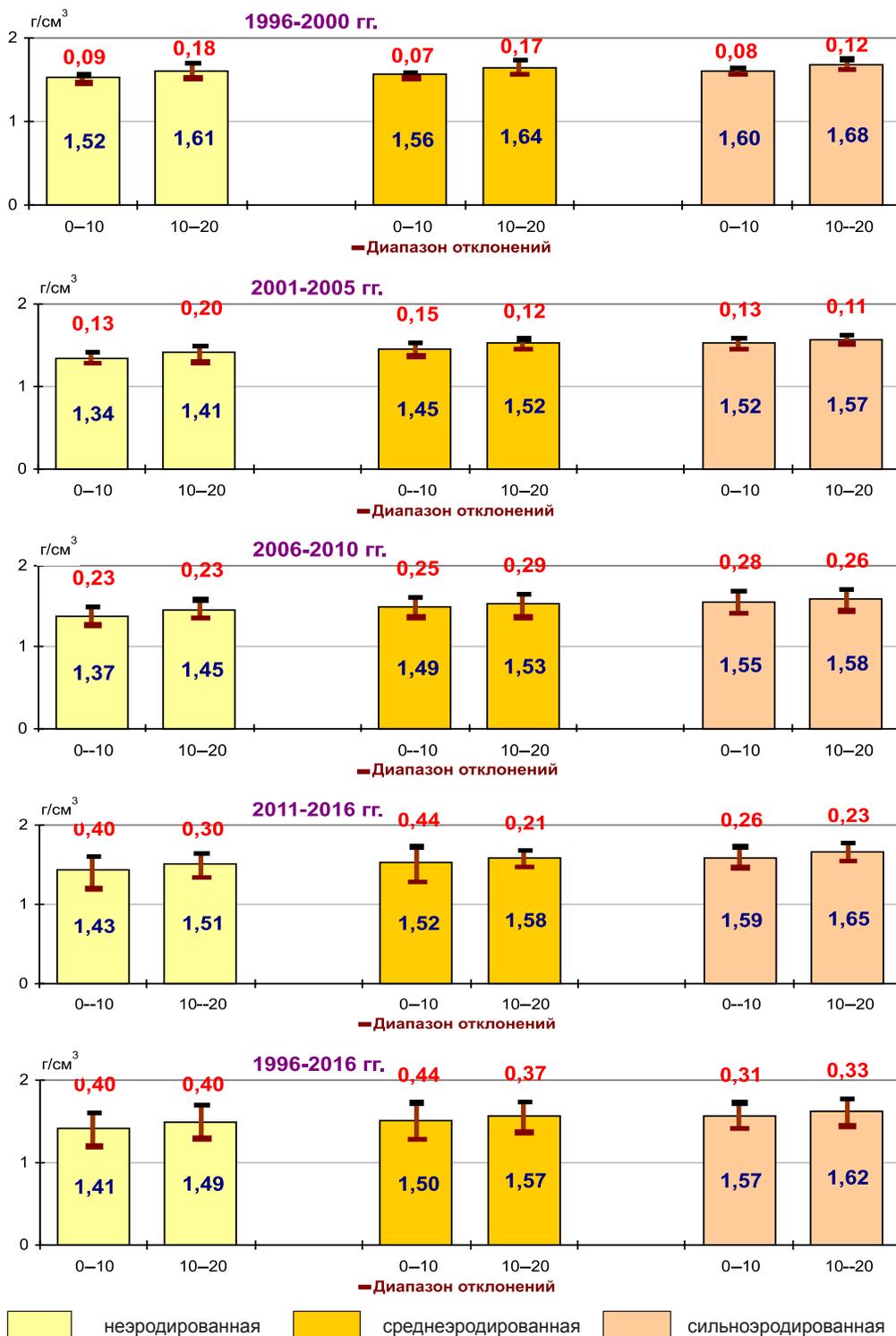


Рис. 2. Диапазон отклонений в плотности пахотного горизонта дерново-подзолистых почв на моренных суглинках, г/см<sup>3</sup>

Оценку современного состояния физических свойств исследуемых почв позволяют проводить также разработанные нами диапазоны оптимальных, допустимых и критических значений. Как следует из данных, приведенных в таблице 5, в период с 1996 по 2000 годы оптимальных значений плотности не выявлено независимо от глубины отбора образца и степени эродированности. В 100 % случаев критическими диапазоном соответствовал слой 10–20 см среднеэродированной и весь пахотный горизонт сильноэродированной почвы. В слое 0–10 см и 10–20 см вероятность допустимых и критических значений соответственно 76,9:23,1 и 23,1:76,9.

Таблица 5

**Ранжирование плотности пахотного горизонта дерново-подзолистых почв, сформированных на моренных суглинках, %**

Годы	Значения	Степень эродированности					
		неэродированная		среднеэродированная		сильноэродированная	
		0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
1996–2000	Оптимальные (<1,30)	–	–	–	–	–	–
	Допустимые (1,31–1,55)	76,9	23,1	38,5	–	–	–
	Критические (>1,55)	23,1	76,9	61,5	100,0	100,0	100,0
2001–2005	Оптимальные (<1,30)	20,0	6,7	–	–	–	–
	Допустимые (1,31–1,55)	80,0	93,3	100,0	80,0	73,3	46,7
	Критические (>1,55)	–	–	–	20,0	26,7	53,3
2006–2010	Оптимальные (<1,30)	28,6	–	–	–	–	–
	Допустимые (1,31–1,55)	71,4	92,9	85,7	64,3	50,0	35,7
	Критические (>1,55)	–	7,1	14,3	35,7	50,0	64,3
2011–2016	Оптимальные (<1,30)	16,7	–	11,1	–	–	–
	Допустимые (1,31–1,55)	55,6	72,2	38,9	38,9	38,9	5,6
	Критические (>1,55)	27,8	27,8	50,0	61,1	61,1	94,4

Во вторую и третью ротацию почвозащитных севооборотов выявлено 20 и 29 % оптимальных значений в слое 0–10 см неэродированной почвы. Остальная доля (80 и 71 %) приходится на допустимые. Выявлено от 36 до 100 % допустимых показателей на эродированных разновидностях. Соответственно доля критических значений доходит до 64%.

В период с 2011 по 2016 годы на неэродированной почве преобладали допустимые значения (56–72 %), на средне- и сильноэродированной – критические (50–94 %).

В среднем за 20-летний период выявлено около 70 % случаев допустимых значений плотности в пахотном горизонте незэродированной почвы и слое 0–10 см среднеэродированной (рис. 2). На этих же почвах отмечено от 2 до 17 % оптимальных величин.

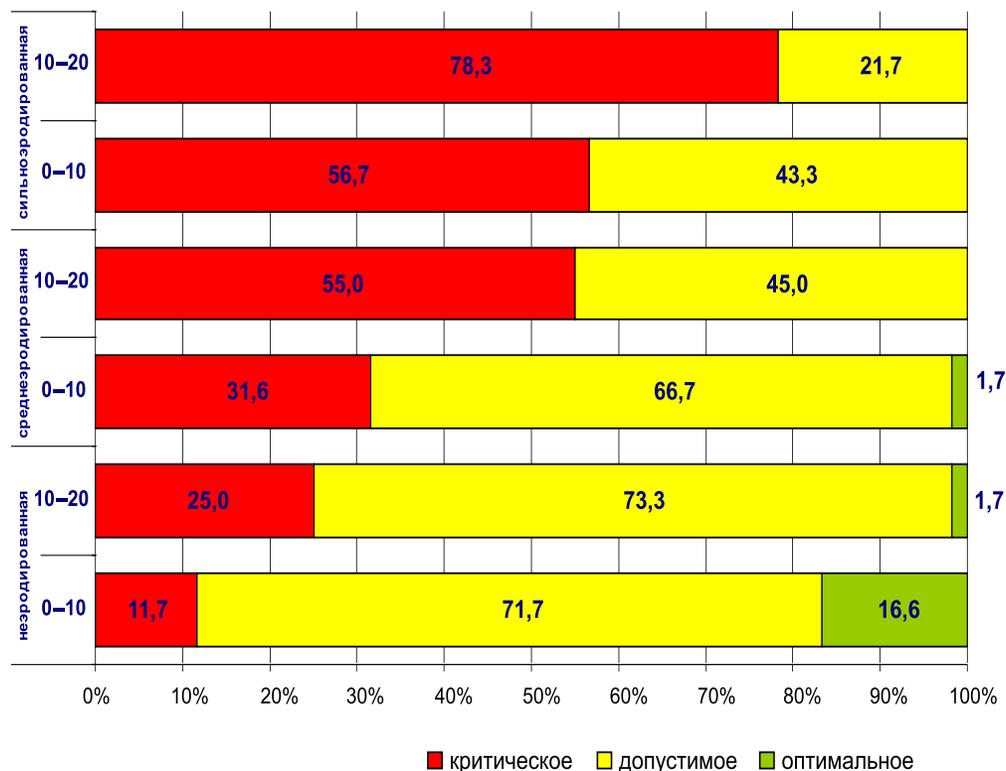


Рис. 2. Диапазон колебаний плотности пахотного горизонта дерново-подзолистых почв, сформированных на моренных суглинках, в среднем за 1996–2016 гг.

Преобладание критических значений характерно для Ап сильноэродированной и слоя 10–20 см среднеэродированной почвы – 55–78 % случаев. Количество допустимых значений плотности на данных разновидностях составляет 22–45%.

В соответствии с оценочной шкалой Н.А. Качинского во все годы исследуемые почвы независимо от степени их эродированности характеризовались неудовлетворительной для пахотных горизонтов пористостью (<50 %). Это объясняется, главным образом, высокой плотностью (рис. 3).

В первую ротацию севооборота наблюдалось незначительное снижение на 1–2 % общей пористости на почвах, подверженных эрозионной деградации. В остальные 16 лет исследований колебания по почвенно-эрозионной катене были на уровне 2–5 %.

В среднем за 20-летний период значение пористости составило 43–46 % на незэродированной почве, на средне- и сильноэродированной разновидностях – 41–43 % и 40–41 % соответственно. Другими словами, под влиянием водно-эрозионных процессов наблюдалось снижение общей пористости на 2–5 % относительно незэродированной почвы.

ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

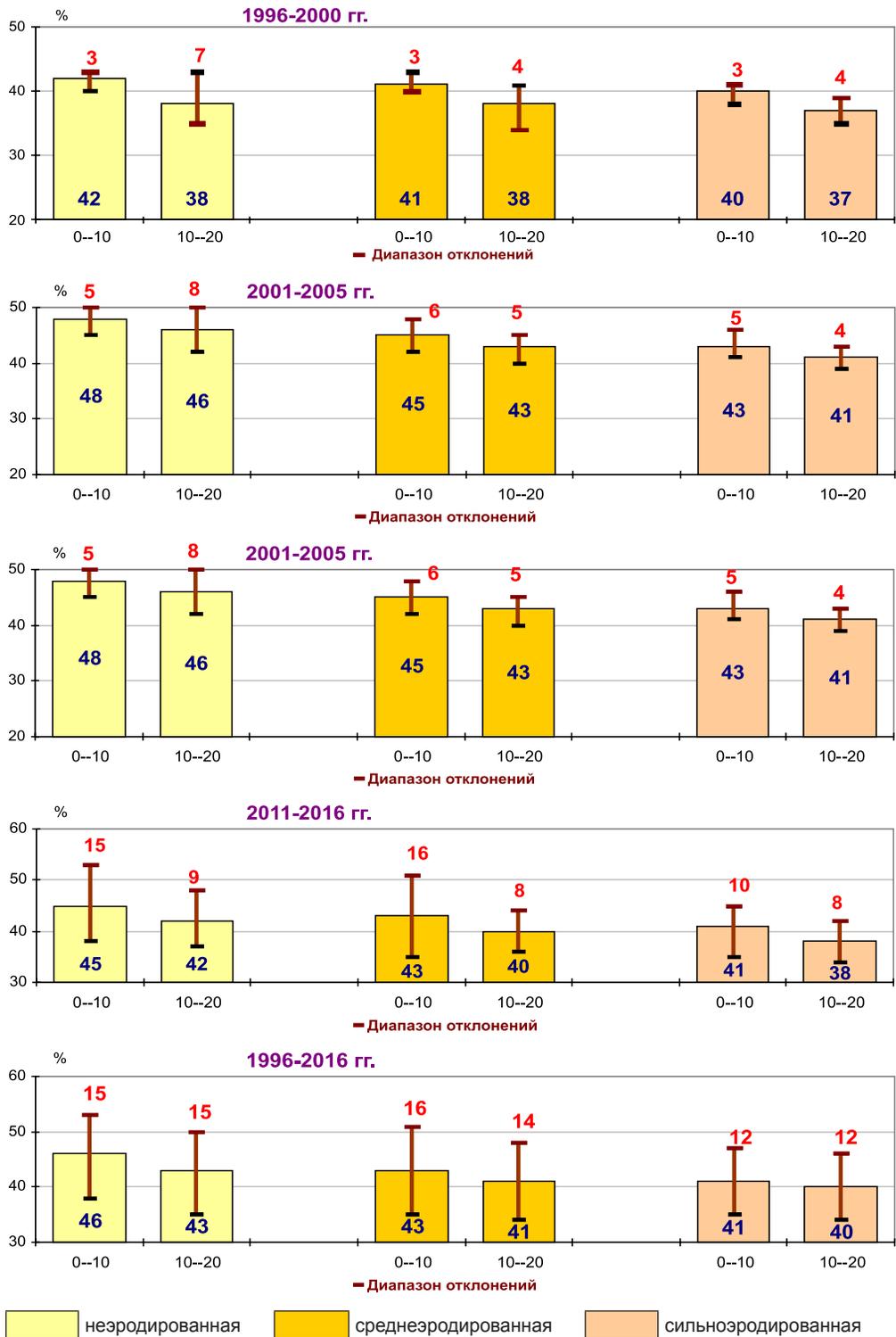


Рис. 3. Диапазон отклонений в пористости пахотного горизонта в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв на моренных суглинках, %

Анализируя диапазоны отклонений в величине пористости от средних значений, стоит отметить, что в период с 1996 по 2000 гг. и с 2001 по 2005 гг. они наименьшие и составляли 3–8 %, причем самые высокие характерны для незэродированной почвы. В третью ротацию севооборота диапазоны увеличились до 9–11 % и практически не зависели от степени эродированности почвы. Самые высокие колебания пористости относительно средних ее значений характерны для 2011–2016 гг. Диапазоны отклонений изменялись от 8–10 % на сильноэродированной до 8–16 и 9–15 % соответственно на средне- и незэродированной разновидности.

За 20-летний период (1996–2016 гг.) диапазоны отклонений значений пористости пахотного горизонта дерново-подзолистых почв на моренных суглинках составили 12–16 %. Наименьшие колебания установлены у сильноэродированной почвы – 12 %, что свидетельствует о сложности и трудности изменения ее физических свойств. На средне- и незэродированной разновидности диапазон отклонений около 15 %.

Оценка пористости по диапазонам оптимальных, допустимых и критических значений показала, что в первые 5 лет в слое 0–10 см в 92–100 % она соответствовала допустимым показателям независимо от степени эродированности (табл. 6). В слое 10–20 см средне- и незэродированной почв вероятность допустимых значений 62–69 %, критических – 31–39 %. Для сильноэродированной разновидности характерно преобладание критических значений – 77 %.

Таблица 6

**Ранжирование пористости пахотного горизонта в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв на моренных суглинках, %**

Годы	Значения	Степень эродированности					
		незэродированная		среднеэродированная		сильноэродированная	
		0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
1996–2000	Оптимальные (49–54)	–	–	–	–	–	–
	Допустимые (39–48)	100,0	61,5	100,0	69,2	92,3	23,1
	Критические (<38)	–	38,5	–	30,8	7,7	76,9
2001–2005	Оптимальные (49–54)	53,3	13,3	–	–	–	–
	Допустимые (39–48)	46,7	86,7	100,0	100,0	80,0	73,3
	Критические (<38)	–	–	–	–	13,3	20,0
2006–2010	Оптимальные (49–54)	50,0	–	–	–	–	–
	Допустимые (39–48)	50,0	100,0	100,0	92,9	100,0	100,0
	Критические (<38)	–	–	–	7,1	–	–
2011–2016	Оптимальные (49–54)	27,8	–	16,7	–	–	–
	Допустимые (39–48)	61,1	83,3	66,7	61,1	66,7	61,1
	Критические (<38)	11,1	16,7	16,7	38,9	33,3	38,9

Для периода 2001–2005 гг. также характерно преобладание допустимых значений пористости пахотного горизонта – от 88 % в слое 10–20 см незэродированной почвы до 100 % на среднеэродированной. В данной ротации севооборота выявлено 13–53 % случаев оптимальной величины пористости в Ап незэродированной почвы. В то же время от 13 до 20 % приходится на критические значения в слое 0–20 см сильноэродированной разновидности.

В третье ротации севооборота практически на всех почвах на допустимые значения приходится 100 %. Исключение составляет верхний слой незэродированной почвы, где одинаковое количество допустимых и оптимальных величин, а также слой 10–20 см среднеэродированной разновидности (7,1 % критических показателей).

В последней ротации севооборота (2011–2016 гг.) число допустимых значений пористости приблизительно одинаковая по почвенно-эрозионной катете – от 61 % до 67 %. Только в слое 10–20 см их количество увеличилось до 83 %. Также необходимо отметить 17 и 28 % оптимальных показателей в слое 0–10 см соответственно в средне- и незэродированных почвах. Для этих же почв характерно минимальное количество критических значений – 11–17 %. На сильноэродированной разновидности доля критических показателей приблизительно в 2–3 раза выше, чем на незэродированной почве – 33–39 %.

Результаты исследований за 20-летний период свидетельствуют, что наиболее часто встречаются допустимые значения пористости пахотного горизонта исследуемых почв – 63–90 % всех случаев (рис. 4).

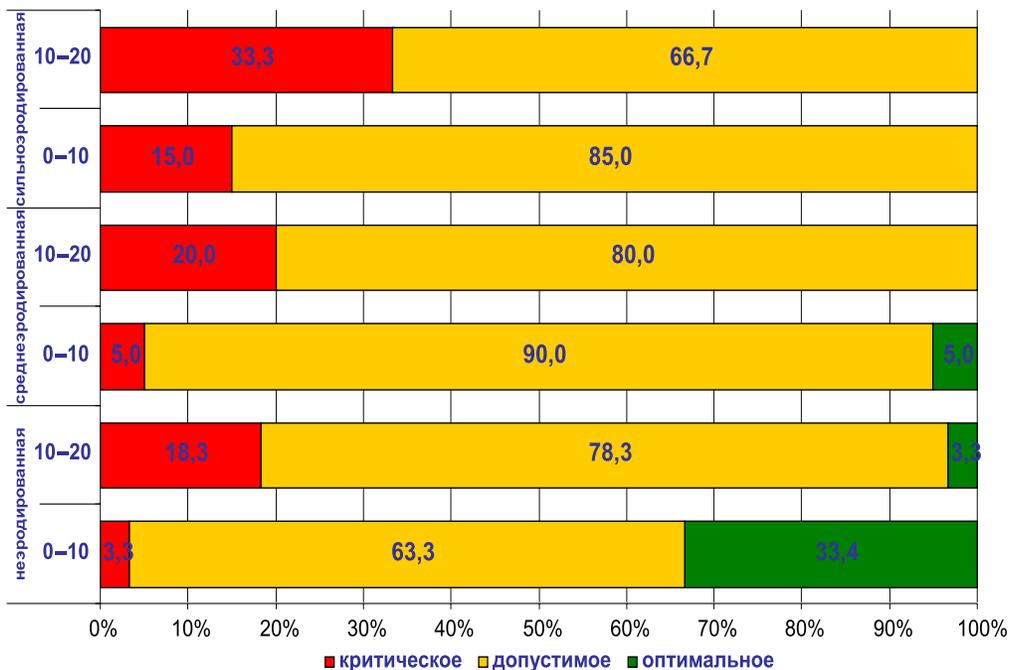


Рис. 4. Диапазон колебаний пористости пахотного горизонта в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв, сформированных на моренных суглинках, в среднем за 1996–2016 гг.

Оптимальные показатели плотности отмечены только в Ап незэродированной (3–33 %) и слое 0–10 см среднеэродированной разновидности. Снижение величины пористости до критических значений выявлено на сильноэродированной разновидности в 15–33 % случаев, в то время как на средне- и незэродированной почвах их всего 5–20 % и 3–18 % соответственно.

Оценивая значения пористости и плотности исследуемых почв, отметим, что для пахотного горизонта незэродированной и слоя 0–10 см среднеэродированной

разновидности наиболее часто встречаются допустимые значения отмеченных физических свойств. На сильноэродированной почве и в слое 10–20 см среднеэродированной наблюдаются отличия – преобладает допустимая пористость и критическая плотность.

Физическое состояние эродированных дерново-подзолистых почв, сформированных на моренных суглинках, определяют, в первую очередь, значение плотности сложения.

## ВЫВОДЫ

1. Среднее многолетнее значение плотности пахотного горизонта дерново-подзолистых почв на моренных суглинках изменялась от 1,41 г/см<sup>3</sup> до 1,62 г/см<sup>3</sup> в зависимости от степени эродированности, т.е. пашня сильно уплотнена по классификация Н.А. Качинского. Колебания по почвенно-эрозионной катене составили 0,08–0,16 г/см<sup>3</sup>, а каждая последующая степень эродированности отличалась от предыдущей приблизительно на 0,06–0,08 г/см<sup>3</sup>.

Наиболее стабильны по годам и тяжелее поддаются окультуриванию сильноэродированные, наименее – среднеэродированные почвы, так как диапазоны отклонений от средних значений составили 0,37–0,44 г/см<sup>3</sup> и 0,31–0,33 г/см<sup>3</sup> соответственно.

Плотность пахотного горизонта средне- и неэродированных почв в 45–72 % случаев соответствовала допустимым значениям, сильноэродированной – критическим (57–78 %).

2. Средние за 20-летний период показатели пористости пахотного горизонта неэродированной дерново-подзолистой почвы на моренных суглинках составляли 43–46 %. По почвенно-эрозионной катене она снизилась на 2–5 %.

Диапазоны отклонений в пористости пахотного горизонта исследуемых почв составили 12–16 %, причем наименьшие у сильноэродированной почвы. На средне- и неэродированной разновидностях диапазон отклонений около 15 %.

В 63–90 % от всех случаев установлены допустимые значения пористости пахотного горизонта исследуемых почв. Снижение величины пористости до критических значений наиболее часто встречается на сильноэродированной разновидности (15–33 %), а улучшения до оптимальных – на неэродированной (3–33 %).

3. Агрофизическое состояние эродированных дерново-подзолистых почв, сформированных на моренных суглинках, определяют, в первую очередь, плотность ее сложения. Для пахотного горизонта неэродированной и слоя 0–10 см среднеэродированной разновидности наиболее характерны допустимые значения пористости и плотности. На сильноэродированной почве и в слое 10–20 см среднеэродированной преобладает допустимая пористость и критическая плотность.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

2. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation / D.L. Karlen [ets.] // *Soil Science Society of America Journal*. – 1997. – Vol. 61. – P. 4–10.

3. *Моисеев, К.Г.* Исследование агрофизических свойств пахотных почв северо-запада Российской Федерации: метод. рук-во / К.Г. Моисеев. – СПб.: Изд. АФИ, 2011. – 52 с.
4. *Найденов, А.С.* Физические свойства почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур в полевом севообороте / А.С. Найденов, А.Ф. Бурбель // Агропромышленная газета юга России [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.agropromyug.com/tekhnologii/nauka/26-tekhnologii-zashchity-rastenij/64-fizicheskie-svoystva-pochvy-i-produktivnost-selskokhozyajstvennykh-kultur-v-polevom-sevooborote.htm>
5. *Ревут, И.Б.* Физика почвы / И.Б. Ревут. – М.: Колос, 1972. – 365 с.
6. *Жилко, В.В.* Эродированные почвы Белоруссии и их использование / В.В. Жилко. – Минск: Ураджай, 1976. – 168 с.
7. Практикум по почвоведению / под ред. И.С. Кауричева. – М.: Колос, 1973. – 279 с.
8. *Вадюнина, А.Ф.* Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
9. *Гилев, Ю.В.* Физика почв: учеб.-метод. указания по полевой практике / Ю.В. Гилев. – Пермь, 2012. – 37 с.
10. *Качинский, Н.А.* Физика почв / Н.А. Качинский. – М., 1965. – Т. 1. – С. 155–161.
11. *Кузнецова, И.В.* О некоторых критериях оценки физических свойств почв / И.В. Кузнецова // Почвоведение. – 1979. – № 3. – С. 81–88.
12. Зонально-провинциальные нормативы изменений агрохимических, физико-химических и физических показателей основных почв европейской территории России при антропогенных воздействиях / А.С. Фрид [и др.] // Рос. акад. с.-х. наук, Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. – М.: Почвенный институт, 2010. – 174 с.
13. *Цырибко, В.Б.* Определение оптимальных параметров агрофизических свойств почв и оценка современного состояния на их основе / В.Б. Цырибко // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 1(56). – С. 36–44.
14. *Кузнецова, И.В.* Оценка изменения физических свойств пахотных дерново-подзолистых суглинистых почв Нечерноземной зоны России в зависимости от характера антропогенного воздействия / И.В. Кузнецова, В.Ф. Уткаева, А.Г. Бондарев // Почвоведение. – 2009. – № 2. – С. 152–162.
15. *Юхновец, А.В.* Влияние основной обработки на физические свойства, биологическую активность и противоэрозионную стойкость дерново-подзолистых почв на моренных суглинках: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / А.В. Юхновец. – Минск, 2004. – 20 с.

## **DYNAMICS OF THE BASIC PHYSICAL PROPERTIES OF THE ARABLE HORIZON OF SOD-PODZOLIC ERODED SOILS ON MORAIN LOAMS UNDER THEIR AGRICULTURAL USE**

**A.F. Chernysh, A.M. Ustinova, V.B. Tsyrybko,  
A.V. Yukhnovets, I.I. Kas'yanenko**

### **Summary**

The results of 20-years researches of the state of the basic agrophysical properties of the arable horizon of sod-podzolic eroded soils on moraine loams are presented at

the article. Based on the findings the average long-term average density and porosity of the studied soils and ranges of their variation are determined.

The average long-term value of the density of the arable horizon of sod-podzolic soils developing on moraine loams changed from 1.41 g/cm<sup>3</sup> to 1.62 g/cm<sup>3</sup>, depending on the degree of erosion. The density of the arable horizon of medium- and non-eroded soils coincided to acceptable values in 45–72 % of cases, highly eroded – to the critical values in 57–78 %. The average porosity sizes of the investigated soils were 40–46 %. The acceptable values were set at 63–90 % of all cases. Decrease to critical values are most typical for the highly eroded variety (15–33 %), and improvements to optimal ones for non-eroded varieties (3–33 %).

*Поступила 17.04.17*

УДК 631.452:631.474

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ДЛЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОВИНЦИЯХ БЕЛАРУСИ**

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

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Рациональное использование почвенных ресурсов является основой стабильного развития агропромышленного комплекса нашей страны. Объективные знания качественного состояния почв (оценки и плодородия) позволяют не только прогнозировать направление и скорость их эволюции, но способствуют поиску наиболее целесообразных систем земледелия, оптимизации структуры посевов сельскохозяйственных культур, исходя из специфики почвенных условий конкретного региона, разработке наиболее выгодных приемов воздействия на почву, оценке эффективности мероприятий по окультуриванию почв и др. Почвообразование – это процесс постоянной трансформации энергии и вещества в системе почва–растение–окружающая среда, выражающийся в формировании главной качественной характеристики почв – плодородия. В научной литературе к настоящему времени имеется ряд публикаций по энергетической оценке почв, носящих в основном теоретический характер [1–6]. Углубленных исследований по оценке плодородия почв на энергетической основе не проведено.

В Республике Беларусь разработана методика оценки эффективного плодородия автоморфных и полугидроморфных почв, основным критерием которой выступают энергетические запасы гумуса, сосредоточенные в основном в пахотном горизонте [7–12]. Такой способ оценки более объективно учитывает степень окультуренности почв, в отношении которой почвы республики характеризуются чрезвычайной пестротой: от слабо окультуренных до высоко окультуренных [13–

14], обеспечивает возможность количественно характеризовать плодородие почв, так как используется оценочный показатель, отражающий внутреннюю энергию гумуса, являющуюся катализатором всех процессов, протекающих в почвах, что позволяет объективно произвести оценку плодородия почв пахотных земель в сельскохозяйственных предприятиях республики с учетом актуальных показателей их агрохимических и физических свойств.

К тому же для условий Беларуси характерна четкая почвенно-экологическая и климатическая дифференциация территории на северную, центральную и южную провинции, что несомненно сказывается на их почвенно-энергетическом потенциале, а, следовательно, и на степени пригодности почв под культуры и характере мелиоративных воздействий на почвы для выращивания экономически выгодной сельскохозяйственной продукции [15]. В условиях государственной экологической политики, направленной на сохранение природных ресурсов, упорядочение природопользования на основе экономического механизма и рациональной системы экологического нормирования, исследования по применению результатов энергетической оценки пахотных земель северной, центральной и южной почвенно-экологических провинций (ПЭП) Беларуси для адаптивно-ландшафтных систем земледелия являются весьма актуальным направлением [16–18].

Цель исследований – установление путей практического применения данных оценки плодородия почв пахотных земель, основанной на расчете внутренней энергии гумуса, содержащегося в пахотном горизонте, для рационального земледользования в почвенно-экологических провинциях республики.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований – все разнообразие почв пахотных земель Беларуси, дифференцированное по почвенно-экологическим провинциям, их производительная способность под различные сельскохозяйственные культуры, а также комплекс мероприятий по повышению пригодности почв для их возделывания. В основу исследований положены математические и аналитические методы, а также метод сравнительного анализа. Установление показателей для энергетической оценки (гумус, рН,  $P_2O_5$  и  $K_2O$ , плотность сложения, мощность пахотного горизонта) проводили на основе информации, полученной в ходе полевых и лабораторных исследований, материалов крупномасштабного почвенного и агрохимического картографирования земель, литературных данных, а также инвентаризированной информации по 115 почвенным разрезам о почвах республики, содержащейся в Почвенной Информационной Системе Беларуси и Банке информационно-аналитических данных для энергетической оценки плодородия почв. Для уточнения пригодности почв под различные культуры в выделяемых агрогруппах, за годы исследований были дополнительно проведены учеты урожайности сельскохозяйственных культур на 75 почвенных разновидностях.

Энергетическая оценка плодородия почв Беларуси основана на расчете внутренней энергии гумуса, заключенной в пахотном горизонте почвы, так как основная доля его запасов в автоморфных и полугидроморфных почвах, занимающих в республике 93% пахотных земель, сосредоточена именно в этом горизонте.

Запас внутренней энергии почвенного гумуса определялся по следующей формуле [1]:

$$U = S \cdot H \cdot D \cdot C \cdot 5,5 \cdot K_D, \quad (1)$$

где  $U$  – внутренняя энергия гумуса в пахотном слое почвы на площади  $1 \text{ м}^2$ , ккал/м<sup>2</sup>;  $S$  – расчетная площадь, см<sup>2</sup> ( $1 \text{ м}^2 = 100 \cdot 100 \text{ см}^2$ );  $H$  – мощность слоя (горизонта) почвы, см;  $D$  – плотность сложения слоя (горизонта) почвы, г/см<sup>3</sup>;  $C$  – содержание общего гумуса, % (доля гумуса);  $5,5$  – энергия гумуса, ккал/г;  $K_D$  – поправочный коэффициент на плотность сложения почв, превышающую оптимальную<sup>1</sup>.

Перевод энергетических запасов гумуса в условные единицы оценки – баллы ( $B_3$ ) – осуществлялся по соотношению:  $1000 \text{ ккал/м}^2 = 1 \text{ баллу}$  (или же в системе СИ  $1 \text{ балл} = 4187 \text{ кДж/м}^2$ ). Это так называемый исходный балл.

Однако реализация энергетических запасов гумуса возможна в определенных условиях температурного режима, увлажнения, агроэкологического состояния. Поэтому к полученному по этой формуле баллу, вводили корректирующие коэффициенты на факторы, лимитирующие плодородие почв. Фактический (окончательный) балл энергетической оценки эффективного плодородия почв определяли по формуле (2):

$$B = B_3 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (2)$$

где  $B$  – фактический балл плодородия почв;  $B_3$  – балл плодородия по внутренней энергии гумуса;  $K$  – поправочные коэффициенты:  $K_1$  – на степень увлажнения почв,  $K_2$  – на агрохимические свойства почв;  $K_3$  – на завалуненность;  $K_4$  – на климатические условия.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно материалам последнего тура крупномасштабного почвенного обследования [19] и новой классификации почв Беларуси [14], проведена генерализация почвенного покрова в провинциях и установлены почвенные разновидности, по которым проводилась оценка (всего по 59 почвенных разновидностей минеральных почв в каждой провинции), определены необходимые для оценки показатели. Исходя из полученных данных, по выше изложенной методике, выполнена оценка плодородия почв по всем почвенным разновидностям в провинциях. Пример расчета баллов плодородия агродерново-подзолистых слабоглееватых (временно избыточно увлажненных) почв центральной ПЭП приведен в таблице 1. Результаты оценки агродерново-подзолистых глееватых почв по всем трем провинциям представлены в таблице 2.

Данные таблицы показывают, во сколько баллов оценивается одна и та же почва в разных провинциях, в зависимости от фактического состояния критериев оценки (исходный балл), а также окончательное плодородие почв с учетом влияния лимитирующих его факторов (заболоченности, агрохимических свойств почв, завалуненности, агроклиматических условий) на их оценку (фактический балл).

<sup>1</sup>  $K_D$  – поправочный коэффициент на плотность сложения (разработан нами с учетом оптимальной плотности почв разного гранулометрического состава).

Таблица 1  
Исходные данные и расчет баллов плодородия почв пахотных земель центральной ПЭП на энергетической основе (фрагмент)

№ п/п	Почвы	Мелиоративное состояние*	Площадь		Мощность пахотного горизонта, см	Плотность сложения, г/см <sup>3</sup>	Содержание гумуса, %	Балл исходный (по формуле (1))	Агрохимические свойства				Поправочные коэффициенты на:				Балл фактический (по формуле (2))
			га	%					рН	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	индекс оккупативности	степень увлажнения	агрохимические свойства	завалунненность	климатические условия	
<b>Аэродерново-подзолистые слабогумусовые</b>																	
14	Легко- и среднесуглинистые мощные	1	38108	1,2	30	1,34	2,23	49,4	6,14	189,3	235,0	0,805	1,000	0,890	0,995	0,939	41,0
		0	213196	6,6	28	1,32	2,06	41,8	6,07	204,5	233,5	0,812	0,940	0,900	0,985	0,939	32,7
15	Легко- и среднесуглинистые подстилаемые песком	1	543	0,0	29	1,34	2,59	55,4	6,10	196,5	266,3	0,830	1,000	0,910	1,000	0,904	45,6
		0	5294	0,2	27	1,32	2,35	46,1	6,05	205,8	266,6	0,834	0,980	0,910	1,000	0,904	37,2
16	Связносуглинистые подстилаемые суглинком	1	19092	0,6	31	1,33	2,39	54,1	6,01	164,5	198,5	0,802	1,000	0,890	0,990	0,939	44,8
		0	132952	4,1	28	1,32	2,12	43,0	5,93	182,0	217,4	0,846	0,930	0,920	0,975	0,939	33,7
17	Связносуглинистые подстилаемые песком	1	10011	0,3	29	1,31	2,53	52,9	5,95	168,8	232,8	0,836	1,000	0,910	1,000	0,904	43,5
		0	86109	2,7	27	1,32	2,29	44,8	5,89	193,0	240,5	0,861	0,990	0,920	1,000	0,904	36,9
18	Рыхлосуглинистые подстилаемые суглинком	1	22040	0,7	29	1,37	2,13	46,6	5,81	147,8	169,1	0,812	1,000	0,900	0,985	0,887	36,6
		0	157605	4,9	27	1,37	2,02	41,1	5,78	172,6	174,5	0,858	0,960	0,920	0,971	0,887	31,3
19	Рыхлосуглинистые подстилаемые песком	1	14426	0,4	30	1,37	2,33	52,6	5,89	170,9	214,0	0,912	1,000	0,960	1,000	0,824	41,6
		0	138912	4,3	28	1,37	2,15	45,3	5,85	191,7	205,1	0,946	1,020	0,970	1,000	0,824	36,9
20	Песчаные мощные	1	7585	0,2	31	1,39	2,50	59,3	5,80	182,2	175,5	0,985	1,000	0,990	1,000	0,824	48,4
		0	65756	2,0	29	1,39	2,15	47,7	5,77	202,0	167,2	1,000	1,080	1,000	1,000	0,824	42,4
21	Песчаные подстилаемые суглинком	1	1571	0,0	30	1,42	2,20	51,4	5,79	161,6	150,7	0,922	1,000	0,960	1,000	0,887	43,8
		0	18756	0,6	28	1,42	2,00	43,8	5,70	196,5	148,3	0,972	1,010	0,980	1,000	0,887	38,4

\* Мелиоративное состояние: 1 – осушенные; 0 – неосушенные.

**Энергетическая оценка плодородия почв пахотных земель почвенно-экологических провинций Беларуси по почвенным разновидностям (фрагмент)**

№ п/п	Почвы	Мелиоративное состояние	Баллы энергетической оценки по провинциям					
			исходные			фактические		
			северная	центральная	южная	северная	центральная	южная
<i>Агродерново-подзолистые глееватые</i>								
23	Легко- и среднесуглинистые мощные	1	52,6	52,6	47,4	38,1	42,9	39,4
		0	45,8	41,7	44,8	17,8	18,9	21,4
24	Легко- и среднесуглинистые, подстилаемые песком	1	55,5	58,1	58,3	40,7	46,2	46,5
		0	45,1	46,1	49,0	20,9	23,7	26,4
25	Связносупесчаные, подстилаемые суглинком	1	53,2	58,0	45,4	41,0	48,2	42,2
		0	44,5	48,2	39,3	19,1	23,5	21,6
26	Связносупесчаные, подстилаемые песком	1	53,5	61,1	54,7	42,0	50,2	46,7
		0	44,6	50,9	43,9	23,8	28,8	26,3
27	Рыхлосупесчаные, подстилаемые суглинком	1	53,2	53,4	52,1	43,6	40,3	41,4
		0	43,8	44,4	45,1	22,3	22,1	23,6
28	Рыхлосупесчаные, подстилаемые песком	1	56,3	60,1	53,8	45,0	45,1	38,7
		0	43,6	49,0	42,6	24,9	26,6	21,7
29	Песчаные мощные	1	56,8	66,1	58,4	48,9	52,2	43,8
		0	43,5	53,7	49,3	30,5	36,8	32,0
30	Песчаные, подстилаемые суглинком	1	50,6	61,1	47,6	44,3	49,3	39,9
		0	38,6	45,6	39,5	23,4	26,6	24,2
<b>Средний балл по республике</b>			47,0	49,0	53,5	33,9	39,1	40,5

\* Мелиоративное состояние: 1 – осушенные; 0 – неосушенные.

В целом по республике и исходные и фактические баллы в провинциях колеблются в очень больших пределах, что обусловлено существующими различиями в исходных данных, обусловленных как природными факторами, так и хозяйственной деятельностью человека. Показатели исходного балла в северной провинции колеблются от 97,1 до 32,9 единиц, в центральной – от 98,0 до 29,1, в южной – от 79,5 до 26,5 единиц. Фактический (окончательный) балл в северной провинции изменяется от 81,9 до 11,5 единиц, в центральной – от 73 до 7,9, в южной – от 59,8 до 14,8 единиц. Максимальный фактический балл в целом по республике (81,9) имеет агродерновая остаточно-глеевая (осушенная) песчаная почва северной ПЭП, минимальный (7,9) агродерново-подзолистая глеевая тяжелосуглинистая почва центральной ПЭП.

Среди всех разновидностей более высокие баллы энергетической оценки (более 50,0) имеют агродерновые и агроаллювиальные дерновые глееватые и глеевые осушенные почвы с высоким содержанием гумуса (3,5–4,5 %), самые низкие баллы (менее 20,0) – агродерново-подзолистые глеевые неосушенные почвы разного гранулометрического состава с содержанием гумуса 2–3 %, а также

некоторые разновидности агродерново-глеевых и агроаллювиальных дерново-глеевых неосушенных почв.

Полученные данные, послужили исходным материалом для усовершенствования агропроизводственной группировки почв по их пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур и комплекса агромелиоративных мероприятий по повышению плодородия почв. В существующей агропроизводственной группировке [20] пригодность почв была установлена только по их генетическим характеристикам (типовая принадлежность, степень и характер увлажнения, гранулометрический состав, кислотность). При этом недостаточно учитывалась степень окультуренности почв и в первую очередь содержание гумуса в пахотном горизонте, в котором в условиях Беларуси сосредоточена основная доля его запасов, а также основная масса корней растений. Следовательно, и для возделывания сельскохозяйственных культур он играет определяющую роль.

По полученным показателям исходного балла была усовершенствована агропроизводственная группировка с учетом полученных результатов энергетической оценки по почвенным разновидностям, встречающимся на пахотных землях. Для этого все группы минеральных почв, выделенные по генетическим характеристикам в предыдущей группировке [20], были разбиты на три подгруппы в зависимости от их энергетической оценки: 1-я подгруппа – более 60 баллов; 2-я подгруппа – от 30 до 60 баллов; 3-я подгруппа – менее 30 баллов. Для 1-й подгруппы степень пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур увеличивается на 1 единицу, для 2-й остается без изменений, для 3-й уменьшается на 1 единицу по сравнению с группировкой 2011 г. Таким образом, чем выше энергетическая оценка плодородия почв, тем выше степень их пригодности под культуры в пределах одной группы почв, установленной по генетическим характеристикам. Полная группировка, включает 12 групп минеральных почв. Фрагмент этой агропроизводственной группировки, включающий три группы почв (3, 5 и 11), приведен в таблице 3.

Такая группировка позволяет более точно установить пригодность каждой почвенной разновидности или конкретного участка для возделывания сельскохозяйственных культур, уточнить площади пригодных для них почв, так как она учитывает не только их генетические характеристики и биологические особенности культур, но и энергетические запасы гумуса. Она является основой для правильного размещения культур по полям севооборотов, установления оптимальной структуры посевных площадей и угодий (видов земель: пахотные, луговые, лесные) в зависимости от почвенных условий в сельскохозяйственных предприятиях.

Так в **3 группу** вошли агродерново-подзолистые автоморфные и оглеенные (контактно- и глубоко-) легко- и среднесуглинистые мощные или подстилаемые песком глубже 1,0 м, а также связносупесчаные, подстилаемые суглинком до 1,0 м почвы. Такие почвы 1-й и 2-й подгрупп с энергетической оценкой > 60 и 30–60 баллов соответственно являются пригодными для возделывания всех районированных в республике культур, но предпочтение целесообразно отдавать наиболее требовательным к почвенному плодородию культурам: озимая и яровая пшеница, озимая тритикале, ячмень, горох, вика, пелюшка, люцерна, клевер, бобово-злаковые смеси, лен, сахарная свекла, рапс; эти же почвы 3-й подгруппы с энергетической оценкой <30 баллов также пригодны под все культуры, но предпочтение следует отдавать менее требовательным культурам: озимая рожь, овес, люпин, картофель, кукуруза.

Таблица 3  
**Агропроизводственная группировка почв по пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур с учетом энергетической оценки их плодородия (фрагмент)**

№ агро-группы	Названия агрогрупп почв	Мелиоративное состояние*	Энергетическая оценка (баллы)	Степень пригодности почв для возделывания сельскохозяйственных культур													Рекомендуется (вид земель)				
				озимая пшеница	озимая пшеница	озимая пшеница	яровая пшеница	ячмень	овес	кормовой люпин	горох, вика, пелюшка	лен	сахарная свекла, корнеплоды	рапс	картофель	кукуруза		клевер	люцерна	многолетние злаковые травы	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
3	Агротерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые мощные или подстилаемые песком глубже 1 м, а также связносупесчаные, подстилаемые суглинком до 1 м (автоморфные, оглеенные)		>60	3 <sup>1</sup>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Пахотные
5	Агротерново-подзолистые рыхлосупесчаные, подстилаемые песком и связнопесчаные, подстилаемые суглинком (автоморфные, оглеенные, слабogleеватые)		<30	3	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	Пахотные
11	Агротерново-подзолистые глееватые и глеевые почвы на супесях, подстилаемых песками и на песках	1	>60	3 <sup>2</sup>	2	2	2	3	3	3	2	1	2	2	3	2	2	1	3	3	Пахотные
		0	<30	2	1	2	1	2	2	2	1	0	1	0	1	2	1	1	2	2	Уп. луг.
			>60	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	2	Пахотные
			30-60	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	Ест. луг.
			<30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ест. луг.

Примечание. \* Мелиоритивное состояние: 1 – осушенные; 0 – неосушенные.

1 Степень пригодности почв: 3 – наиболее пригодные; 2 – пригодные; 1 – малопригодные; 0 – непригодные.

2 Пригодность для осушенных почв с нормально работающей осушительной сетью.

**5 группа** – агродерново-подзолистые автоморфные, контактно- и глубоко-оглеенные, а также слабogleеватые рыхлосупесчаные, подстилаемые песком и связнопесчаные, подстилаемые суглинком почвы 1-й подгруппы (>60 баллов) пригодны для возделывания всех культур; почвы 2-й подгруппы (30–60 баллов) наиболее целесообразно использовать для выращивания озимой ржи, озимой тритикале, ячменя, овса, люпина, кукурузы, картофеля; на почвах 3-й подгруппы (<30 баллов) допускается возделывание менее требовательных культур: озимой ржи, овса, люпина, картофеля.

**11 группа** – осушенные агродерново-подзолистые глееватые и глеевые почвы на супесях, подстилаемых песками и песках 1-й подгруппы (>60 баллов) являются пригодными для возделывания практически всех культур, за исключением льна и люцерны; 2-й подгруппы (30–60 баллов) – для озимой ржи, ячменя, овса, многолетних злаковых трав и однолетних бобово-злаковых смесей; 3-й подгруппы (<30 баллов) – малоприспособны и непригодны для полевых культур, поэтому их предлагается перевести в улучшенные луговые земли (так как это осушенные почвы);

– неосушенные почвы 1-й подгруппы (>60 баллов) пригодны для возделывания озимой ржи, ячменя, овса, люпина, зернобобовых, картофеля, кукурузы, многолетних злаковых трав; почвы 2-й и 3-й подгрупп (<60 баллов) – малоприспособны и непригодны для возделывания полевых культур, поэтому их рекомендуется перевести в естественные луговые земли.

Предложенная агропроизводственная группировка почв построена исходя из качественного состояния почвенного покрова пахотных земель республики в целом. Для каждого отдельно взятого региона (области, района или даже сельскохозяйственного предприятия) эта группировка почв может быть скорректирована с учетом региональной специфики почвообразования, окультуренности почв и других факторов, влияющих на сельскохозяйственное производство. Соответственно и пригодность почв для возделывания отдельных сельскохозяйственных культур и предложения по оптимизации землепользования для конкретных землепользователей могут несколько отличаться от приведенных в общей группировке почв.

Исходя из новых данных по энергетической оценке плодородия почв Беларуси, оценки факторов, влияющих на плодородие почв и их количественных параметров, установленных по результатам энергетической оценки и предыдущего тура кадастровой оценки земель, многочисленных литературных источников по характеристике почвенного покрова, условий сельскохозяйственного производства в провинциях и рациональному использованию земель, разработан комплекс мероприятий, которые необходимо провести в провинциях в первую очередь, чтобы повысить плодородие почв, а значит и их пригодность для возделывания сельскохозяйственных культур (табл. 4).

Сравнение и анализ полученных данных по провинциям показывает, что перечень рекомендуемых мероприятий и их значение для формирования плодородия почв могут быть как общими для всех провинций, так и различными.

Так общими для всех провинций являются: проведение гидротехнической мелиорации на заболоченных неосушенных землях, внесение минеральных и органических удобрений, а также известкование почв с учетом требований сельскохозяйственных культур и материалов агрохимического обследования почв, вывод из состава сельскохозяйственных и перевод в другие виды использования низкоплодородных земель (оптимизация)

Таблица 4

**Комплекс мероприятий по повышению пригодности почв под культуры  
по агрогруппам почв центральной ПЭПи энергетическая оценка их плодородия (фрагмент)**

№ п/п	Провинции, агрогруппы	Мелiorативное состояние	Исходный балл энергетической оценки	Фактический балл энергетической оценки	Мероприятия																		
					Гидромелиорация	Внесение минеральных удобрений	Внесение органических удобрений	Известкование	Противозерошные мероприятия	Уборка валунов	Ликвидация закустаренности	Укрупнение контуров	Разуплотнение почв (снижение плотности)	Увеличение мощности агроландшафтного горизонта	Агромелиоративные мероприятия	Оптимизация земель							
3	Агродерново-подзолистые легко- и средне-суглинистые мощные или подстилаемые песком глубже 1 м, а также связносупесчаные, подстилаемые суглинком до 1 м		47,1	39,6		+	+			+													
4	Агродерново-подзолистые легко- и средне-суглинистые и связносупесчаные, подстилаемые песком до 1 м, а также рыхлосупесчаные, подстилаемые суглинком до 1 м		49,4	40,8		+	+			+													
5	Агродерново-подзолистые рыхлосупесчаные, подстилаемые песком и связносупесчаные, подстилаемые суглинком		50,1	40,8		+	+			+													
6	Агродерново-подзолистые на мощных связных песках и рыхлосупесчаные мощные и подстилаемые суглинком		52,5	43,9		+	+			+													+
8	Агродерново-подзолистые слабogleеватые легко- и средне-суглинистые, а также супесчаные, подстилаемые суглинком	1	49,8	40,7		+	+			+													+
10	Агродерново-подзолистые глееватые и глеевые на легких и средних суглинках, а также супесях, подстилаемых суглинком	1	54,6	43,8		+	+			+													+
11	Агродерново-подзолистые глееватые и глеевые почвы на супесях, подстилаемых песками и на песках	0	44,3	20,9		+	+			+												+	+
		1	62,1	48,6		+	+			+													+
		0	50,7	29,6		+	+			+													+

\* Мелиоративное состояние: 1 – осушенные; 0 – неосушенные.

В северной провинции, кроме вышеперечисленных, важными мероприятиями являются: укрупнение контуров пахотных земель, противоэрозионные мероприятия, проведение культуртехнических работ по расчистке земель от древесно-кустарниковой растительности, снижению завалуненности, увеличение мощности агрогумусового горизонта, снижение плотности сложения почв.

В центральной провинции большее внимание должно уделяться внесению органических удобрений, так как содержание гумуса в почвах здесь самое низкое из всех провинций, важными являются противоэрозионные мероприятия в отдельных районах и на отдельных почвенных разновидностях, уборка валунов на завалуненных землях, снижение плотности почв и др.

В южной провинции, кроме общих мероприятий, важными являются противодефляционные мероприятия, а также укрупнение контуров пахотных земель в отдельных районах, культуртехнические работы по уменьшению закустаренности, увеличение мощности агрогумусового горизонта, а также внесение дополнительных доз органических удобрений на легких почвах.

Эти мероприятия могут быть разными даже для одних и тех же агрогрупп в разных провинциях. Все это подтверждает необходимость дифференцированного подхода к проведению мероприятий по повышению плодородия почв в разных регионах страны и формированию соответствующей почвенным условиям структуры посевных площадей. Наряду с мероприятиями в этой группировке приведены также баллы энергетической оценки по агрогруппам почв (исходные и фактические), которые показывают их фактическую оценку и возможности увеличения плодородия.

В целом эта группировка почв и комплекс мероприятий дают общее представление о качественном состоянии почвенного покрова пахотных земель в провинциях. В каждом конкретном случае (районе или хозяйстве) они могут отличаться в зависимости от фактического состояния почвенного покрова и других факторов, влияющих на плодородие почв.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований:

➤ разработана методика энергетической оценки плодородия почв Беларуси, основанная на расчете внутренней энергии гумуса, содержащегося в пахотном горизонте почв, и переводом ее (энергии гумуса) в условные единицы – баллы (исходные и фактические);

➤ по этой методике проведена оценка пахотных земель по 59 почвенным разновидностям в почвенно-экологических провинциях Беларуси: северной, центральной и южной. Установлено, что исходные и фактические баллы в провинциях колеблются в очень больших пределах, что обусловлено существующими различиями в исходных данных, обусловленными как природными факторами, так и хозяйственной деятельностью. В целом показатели исходного балла в северной провинции колеблются от 97,1 до 32,9 единиц, в центральной – от 98,0 до 29,1, в южной – от 79,5 до 26,5 единиц. Фактический (окончательный) балл в северной провинции изменяется от 81,9 до 11,5 единиц, в центральной – от 73 до 7,9, в южной – от 59,8 до 14,8 единиц;

➤ на основании результатов энергетической оценки усовершенствована агропроизводственная группировка почв республики по их пригодности для воз-

делывания сельскохозяйственных культур, в которой каждая из 12 групп почв, выделенных по генетическим характеристикам, разделена на три подгруппы в зависимости от их энергетической оценки (1-я подгруппа – более 60 баллов; 2-я подгруппа – от 30 до 60 баллов; 3-я подгруппа – менее 30 баллов). Для всех этих подгрупп установлена степень пригодности почв под основные сельскохозяйственные культуры, возделываемые в республике;

➤ для каждой из агрогрупп почв в провинциях предложен комплекс первоочередных мероприятий по повышению их плодородия, а, следовательно, и пригодности почв для возделывания сельскохозяйственных культур;

➤ полученные результаты (показатели энергетической оценки по отдельным почвенным разновидностям и провинциям, агропроизводственная группировка почв по их пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур с учетом энергетической оценки, комплекс агромелиоративных мероприятий по повышению пригодности почв под сельскохозяйственные культуры) могут использоваться для совершенствования структуры посевных площадей и угодий в хозяйствах, и в целом для оптимизации землепользования в почвенно-экологических провинциях республики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ковда, В.А.* Основы учения о почвах / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1973. – Кн. 1. – 446 с.
2. *Волобуев, В.Р.* Введение в энергетику почвообразования / В.Р. Волобуев. – М.: Наука, 1974. – 128 с.
3. Оценка продуктивности агроценозов с использованием энергетических критериев / В.Р. Волобуев [и др.] // Почвоведение. – 1982. – № 7. – С. 83–88.
4. *Володин, В.М.* Агробиоэнергетика – новое научное направление / В.М. Володин // Земледелие. – 1992. – Т. 11–12. – С. 2–5.
5. Энергетическая оценка плодородия почв / В.И. Савич [и др.]. – М.: Изд-во ВНИИА, 2007. – С. 152–182.
6. *Тихонов, С.А.* Энергетическая характеристика дерново-подзолистых почв БССР / С.А. Тихонов, Т.А. Романова // Почвоведение и агрохимия: сб. науч. тр. / БелНИИ почвоведения и агрохимии; редкол.: И.М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ураджай, 1987. – Вып. 23. – С. 9–15.
7. *Цытрон, Г.С.* Новые подходы к оценке плодородия почв / Г.С. Цытрон, С.В. Шульгина, О.В. Матыченкова // Весці НАН Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2011. – № 3. – С. 21–26.
8. *Шибут, Л.И.* Энергетический потенциал почв пахотных земель Солигорского района и их пригодность под сельскохозяйственные культуры / Л.И. Шибут, Г.С. Цытрон, О.В. Матыченкова // Воспроизводство плодородия почв и их охрана в условиях современного земледелия: материалы Междунар. науч.-практ. конф. и V съезда почвоведов и агрохимиков, Минск, 22–26 июня 2015 г., Ч. 1 / редкол.: В.В. Лапа (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – С. 322–326.
9. Способ оценки в баллах плодородия автоморфных и полугидроморфных почв пахотных земель: пат.19540 Респ. Беларусь / Г.С. Цытрон, Л.И. Шибут, С.В. Шульгина, О.В. Матыченкова, П.И. Шкуринов; заявитель Ин-т почвоведения и агрохимии. – № а 20120209; заявл. 14.02.2012; опубл. 30.10.2015.

10. Оценка плодородия почв Беларуси, выполненная разными методами / Г.С. Цытрон [и др.] // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. трудов; под ред. В.К. Пестиса. – Агрономия. – 2015. – Т. 29. – С. 172–178.

11. Почвы Белорусского Полесья и их энергетическая оценка / Л.И. Шибут [и др.] // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 14–17 сент. 2016 г., Т.2 / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: В.Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2016. – С. 77–79.

12. Оценка пригодности почв пахотных земель Беларуси на энергетической основе / Л.И. Шибут [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2016. – № 5. – С. 9–12.

13. Агроземы Беларуси и их морфологическая диагностика / Н.И. Смяян [и др.] // Международный аграрный журнал. – 1998 – № 6. – С. 17–21.

14. *Смяян, Н.И.* Классификация, диагностика и систематический список почв Беларуси / Н.И. Смяян, Г.С. Цытрон. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2007. – 220 с.

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

16. Агрэколагічная ацэнка зямель, праектаванне адаптыўна-ландшафт-ных сістэм земледзяння і агротэхналогій: метод. рук-во; под ред. В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова.– М.: Росинформагротех, 2005. – 784 с.

17. Адаптыўныя сістэмы земледзяння в Беларусі / под. ред. А.А. Попкова. – Минск, 2001. – 308 с.

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

19. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / под ред. Г.И. Кузнецова, Н.И. Смяяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.

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

## ENERGY ASSESSMENT OF SOIL FERTILITY FOR RATIONAL LAND USE IN THE SOIL-ECOLOGICAL PROVINCES OF BELARUS

L.I. Shibut, T.N. Azarenok, O.V. Matychenkova, S.V. Shulgina,  
S.V. Dydysenko, D.V. Matychenkov

### Summary

As a result of the conducted researches it was shown the possibility of practical use of the energy assessment data of arable land soil fertility for land use optimization in different regions of the republic.

The results of energy assessment calculation of soil fertility for arable land species in the northern, central and southern provinces of the republic are given in the article. Based on these results, the agro-production grouping of soils was improved on their

suitability for cultivating agricultural crops, developed a set of measures to improve the suitability of soils for crops.

The results of the research can be used to develop adaptive landscape systems of farming in the soil-ecological provinces of Belarus.

*Поступила 16.03.17*

УДК 631.4:549.905.8

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМОВ ТИПИЧНЫХ НА ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОРАЗДЕЛОВ МОЛДОВЫ И СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ**

**В.Е. Алексеев**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Основная задача исследования заключалась в том, чтобы установить, отличаются ли по составу, а также профильному распределению силикатных минералов черноземы Молдовы и Русской равнины, сформировавшиеся на покровных лессовидных отложениях водоразделов, – геоморфологической позиции, где потенциал черноземного почвообразования реализуется наиболее полно. Именно эти минералогические показатели как результат, с одной стороны, процессов выветривания и почвообразования, а, с другой, геологической истории регионов, охватываются понятием минералогическое состояние почв.

Покровные отложения водоразделов и террас чаще всего выступают в качестве почвообразующих пород черноземов. Вместе с тем их генезис до сих пор остается дискуссионным. В силу больших размеров территории Русской равнины характер почвообразующих пород на ней весьма разнообразен. Осадочный материал поступал из самых разных источников: пород морен, местного материала древних комплексов пород, пород горного обрамления (Урал, Кавказ, Карпаты), древних (дочетвертичных) пород центральных фаций равнины [1]. Наряду с этим можно найти сведения, что минералогический, гранулометрический и химический состав покровных отложений Русской равнины достаточно однообразен. Основная причина, как считается, заключается в том, что «в осадках центральных фаций равнины принимали участие поставки вещества с разных направлений и разного типа: ледового, горного (карпатского и уральского) и древних комплексов Южно-Русского моря и Кавказа» [1]. Важную роль в однообразии состава пород равнины сыграл глубокий врез современной речной системы, доходящий местами до 50–100 м, в результате чего в речной сток, осадки и отложения террас поступал материал пород по меньшей мере всего кайнозоя [2]. Аналогичные представления о выдержанности состава мелкозема покровных отложений равнины находим

и у другого исследователя, что явилось важным фактором формирования ясно выраженной мегаструктуры почвенного покрова региона [3].

Определенные представления сложились и в отношении покровных лессовидных отложений Молдовы. Здесь черноземы также сформировались в основном на этих породах, и их происхождение до настоящего времени также остается дискуссионным [4]. Имеются указания, что химизм и минералогия лессовидных пород свидетельствует о том, что его источником является не привнесенный извне материал, а местные коренные алевроитовые и глинистые породы позднего миоцена и плиоценовые субаэральные образования [4]. С поднятием территории в четвертичное время они подверглись интенсивному эрозионному и денудационному воздействию и золотому развеванию. В то же время наличие в Молдове лессовых отложений чисто золотого происхождения не находит подтверждения [4–7]. Более того, высказываются соображения, что на верхах водоразделов облессованию могли подвергнуться и коренные несмещенные породы [4]. На карте почвообразующих пород европейской части СССР, составленной под редакцией В.А. Ковды [8], поверхностные отложения практически всей Молдовы обозначены под одним названием – делювий коренных пород.

Поскольку история четвертичной геологии Русской равнины и молдавского Предкарпатья не складывалась идентично, можно ожидать различия в составе их покровных отложений. Территория Молдовы не подвергалась непосредственному воздействию оледенений четвертичного периода, и ее почвенный покров не уничтожался, в отличие от того, что происходило на Русской равнине. Этот фактор также мог сказаться на минералогии пород и почв рассматриваемых территорий. Таким образом, отмеченные выше факторы могли оказать влияние на минералогический состав покровных отложений и сформированных на них черноземов. В какой степени это случилось, должно показать данное исследование.

Предпринятое исследование имело и другую задачу – установить насколько методика минералогического анализа и методика оценки минералогического состояния почв, разработанные для черноземов Молдовы, применимы для черноземов Русской равнины.

Минералогических исследований черноземов к настоящему времени проведено немало [9–35 и др.]. В основном они относятся к территориям России, Украины и Молдовы. Доминируют исследования глинистых минералов. Работ по изучению первичных минералов совсем немного [9, 11, 12, 18, 32, 34, 35]. Сопряженных исследований первичных и глинистых минералов в черноземах методом количественной рентгеновской дифракции еще меньше [9]. По этой причине отсутствуют разработки по оценке минералогического состояния черноземов, подобные примененной в этой работе, когда диагностические показатели включают данные по содержанию как первичных, так и глинистых минералов [37]. Уместно заметить, что проведенные исследования не ставят перед собой задачу ответить на вопрос о происхождении покровных лессовидных отложений Русской равнины и Молдовы, но они будут полезны для решения этой проблемы в будущем.

Итак, задачей исследования являлась сравнительная характеристика минералогического состояния силикатной части представителей черноземов Русской равнины и Молдовы, сформировавшихся на аналогичных покровных отложениях водоразделов. Наряду с этим преследовалась цель проверить на черноземе Русской равнины работоспособность методик минералогического анализа и оценки

минералогического состояния черноземов, используемых при изучении почв Молдовы. Надо сказать, что подобные исследования с аналогичным, в частности, методическим инструментарием нам неизвестны.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сравнительные минералогические исследования проведены на одном подтипе типичных черноземов одного и того же тяжелосуглинистого гранулометрического состава, сформированных на покровных лессовидных отложениях водораздельных пространств Русской равнины и Молдовы. Выбор почв одинакового гранулометрического состава принципиален, поскольку при сравнительном исследовании снимает проблему влияния гранулометрии на их минералогию с ее количественной стороны.

Объектом исследования на Русской равнине стал разрез 26, заложенный в окрестностях центральной усадьбы Государственного Центрально-Черноземного биосферного заповедника (Курская область, многолетняя залежь, в дальнейшем для краткости чернозем будем называть курским), в свою очередь географически расположенного в юго-западной части Среднерусской возвышенности в пределах Воронежского кристаллического щита. Абсолютная отметка разреза 240 м. Почвообразующая порода представлена лёссовидным тяжелым суглинком днепровского оледенения. На карте почвообразующих пород В.А. Ковды [8] поверхностные четвертичные отложения данной территории обозначены как лёсс и карбонатные лёссовидные породы. Во время днепровского оледенения ледником была занята лишь западная часть Курской области (к западу от ст. Коренево) и самый крайний участок области восточнее реки Олым. Остальная территория, где расположен и заповедник, представляла лишенный покровного льда полуостров между Днепровским и Донским языками ледника. По отсутствию непосредственного влияния ледника исследуемые территории на Среднерусской возвышенности и в Молдове идентичны. Важно отметить, что особенностью залежного чернозема заповедника является исключительно высокая степень агрегированности и пористости, наличие сильно выраженной трещиноватости, что, в конечном счете, выразилось в его низкой плотности сложения, представленной значениями, близкими к единице. В Молдове объектом сравнительного исследования стал разрез 50 на платообразном водоразделе (пахотные земли) близ села Гринауцы Рышканского района (северная часть республики), абсолютная высота 236 м.

По современным климатическим показателям регионы исследования существенно не различаются. Среднегодовое количество осадков находится в пределах 500–570 мм.

В обоих черноземах изучен состав минералов грубодисперсной ( $>1$  мкм) и тонкодисперсной ( $<1$  мкм) силикатных частей. Во фракции  $>1$  мкм изучены первичные минералы, во фракции  $<1$  мкм – глинистые. Во фракции  $>1$  мкм присутствует глинистый минерал каолинит. Его количественная оценка проведена в этой же фракции наряду с первичными минералами, для чего в калибровочные смеси минералов включался и каолинит. Фракция  $<1$  мкм, наряду с глинистыми минералами, содержит незначительную примесь кварца и полевых шпатов, которая из-за низкого содержания не могла быть учтена. Фракционное разделение образцов проведено способом центрифугирования по методике [38]. Карбонаты и органическое вещество перед

фракционированием образцов удаляли. Состав первичных и глинистых минералов определен методом рентгеновской дифрактометрии по известным рекомендациям [39, 40]. Количественный анализ минералов проведен по методикам [41, 42]. Некоторые детали к методикам приведены в [37]. 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 (отн. %): 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 <1 мкм по 3 раза): группа смектита – 2,5–3,0; иллит – 2,2–2,6; хлорит (ил) – 12–25; каолинит (ил) – 15–25, каолинит (фракции >1 мкм) – 20–30. При анализе первичных и глинистых минералов конечным результатом являлось среднее значение из 4-х измерений (две съемки двух препаратов). Все расчеты произведены на воздушно-сухую минеральную и бескарбонатную часть фракции и почвы, т.е. на их силикатную основу.

Оценка минералогического состояния черноземов проведена с помощью 10 показателей (K1, K2, K3, K4, ПИИС, ПНИС, ПИКС, ПНКС, ПИКИ, ПНКИ), которые дают возможность сделать это интегрально, компактно, многоаспектно и наглядно [37, 43]. Особенно важно, что они унифицируют и повышают объективность оценки минералогического состояния почвы, совершенствуют сравнимость свойств объектов исследования. 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. Поведение иллита также оценивалось по отношению к кварцу. Помимо высокой устойчивости к выветриванию, кварц и диоктаэдрический иллит, образованный по мусковиту, характеризуются в черноземах высоким содержанием: кварц – в крупном материале размера >1 мкм, диоктаэдрический иллит – в тонком размера <1 мкм. Это обстоятельство имеет существенное значение для повышения точности анализа, а также «чувствительности» оценочных показателей. Следует иметь в виду, что на интенсивность диагностического рефлекса иллита (10-Å) могло влиять присутствие иллитоподобных структур, образованных по высокозарядному смектиту при поглощении им свободного почвенного калия. Приводим содержание показателей.

**Соотношения K1, K2, K3** характеризуют степень выветривания полевых шпатов (суммарно плагиоклазов и калиевых полевых шпатов, K1), слоистых силикатов (суммарно слюд, хлорита и каолинита, K2), тех и других вместе (K3). 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 неспособность, как известно, неустойчивых минералов вулканического происхождения при нормальных температурах и давлениях к воспроизводству. Их содержание в почвах по отношению к кварцу может только уменьшаться.

**K4** представляет собой отношение содержания в процентах кварца к содержанию безгумусного бескарбонатного ила (фракции <1 мкм или фракции глинистых минералов) по профилю, деленное на такое же отношение в породе. Сочетание

K4 менее 1 с K3 более 1 будет указывать на наличие процесса оглинивания, поскольку свидетельствует о новообразовании глинистых минералов за счет материала первичных минералов. Возможны другие комбинации значений K4 и K3 по профилю черноземов в зависимости от характера преобразования силикатной части почвы под влиянием процессов выветривания и почвообразования или проявлений неоднородности породы.

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

**Показатель напряженности выветривания, иллит-сметитовый (ПНИС)** характеризует одной цифрой напряженность минеральных преобразований в ряду изменения отношения иллит/сметит по всему профилю и представляет разницу в ПИИС между верхним горизонтом и породой. Такой подход оказался возможным в связи с тем, что, например, в черноземах закономерно содержание вниз по профилю иллита уменьшается, а сметита увеличивается.

**Показатель интенсивности выветривания, кварц-сметитовый (ПИКС)** представляет собой отношение содержания в процентах кварца к содержанию сметита в каждом горизонте.

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

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

Исследуемые черноземы весьма различаются по мощности генетических горизонтов. Если в молдавском черноземе нижняя граница горизонта B2 находится на глубине 80 см и на этой глубине почти исчезают признаки выветривания минералов, то в курском черноземе на этой же глубине расположен еще только переходный горизонта A<sub>1</sub>B<sub>k</sub>, который продолжается до глубины 115 см. И на этой глубине процессы выветривания еще выражены. Глубже 115 см, кроме материнской породы, курский чернозем не исследовался. Приведенные выше особенности курского чернозема объясняются исключительно высокой его рыхлостью и пористостью. К

сожалению, для исследования в нашем распоряжении оказался такой материал, но это обстоятельство, как будет видно в дальнейшем, не повлияло на достижение поставленных целей и основные выводы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исходными данными для последующих расчетов послужили результаты определения содержания минералов во фракциях  $>1$  мкм (первичные) и  $<1$  мкм (глинистые), представленные в таблицах 1 и 2. Остановимся на наиболее существенных аспектах этих данных. Содержание фракции  $>1$  мкм (первичные минералы) в курском черноземе заметно выше (63–68 %), чем в молдавском (62–64 %). Ее количество в курском черноземе вверх по профилю закономерно увеличивается (табл. 1). Эти данные указывают, что курский чернозем по гранулометрическому составу несколько легче молдавского чернозема и его облегчение происходит постепенно от породы к верхним горизонтам. В молдавском черноземе фракция  $>1$  мкм распределена по профилю достаточно равномерно. Исходные породы, представленные горизонтом С, по содержанию характеризуемых фракций в обоих черноземах практически идентичны. Состав первичных минералов в обоих черноземах одинаковый: кварц, плагиоклазы, калиевые полевые шпаты, слюды и хлорит. Их сопровождает глинистый минерал каолинит. Показатели по содержанию перечисленных минералов во фракции  $>1$  мкм близки, за исключением слюд, содержание которых в молдавском черноземе заметно выше (11–14 против 8–12 % в курском черноземе).

В обоих черноземах количественно преобладает кварц (52–63 %), на втором месте – полевые шпаты и слюды (8–13%), меньше всего – хлорита и каолинита (2–7 %). Наиболее выраженные изменения в содержании минералов по профилю относятся к кварцу (увеличивается вверх по профилю), хлориту и каолиниту (содержание обоих уменьшается вверх по профилю). В пересчете на почву отмеченные закономерности сохраняются. Заметим, что в курском черноземе накопление кварца вверх по профилю выражено сильнее, что в дальнейшем окажет влияние на результаты балансовых расчетов, которые будут представлены в следующей статье.

На этом этапе можем констатировать, что по составу первичных минералов исследуемые черноземы идентичны, и по их содержанию весьма близки. Черноземы идентичны по направленности изменения содержания первичных минералов по профилю.

Содержание фракции  $<1$  мкм (глинистые минералы) в курском черноземе в пределах 31–37 % и увеличивается с глубиной, в молдавском заметно выше – 36–38 % и по профилю она распределяется сравнительно равномерно (табл. 2). Эти различия также отразятся на балансовых расчетах. Представлена фракция  $<1$  мкм в обоих черноземах одной ассоциацией глинистых минералов: смектитом, иллитом, хлоритом и каолинитом. В обоих черноземах количественно преобладает смектит (46–59 %), меньше иллита (23–35 %), хлорит – 5–8 %, каолинита – 11–16 %. Курский чернозем отличается повышенным содержанием каолинита. Поведение минералов по профилю однотипно: содержание смектита увеличивается с глубиной, иллита – увеличивается к верхним горизонтам, хлорита – снижается к верхним горизонтам. Поведение каолинита менее определено. В пересчете на почву данная картина распределения минералов по профилю в целом сохраняется.

Таблица 1

## Содержание первичных минералов в черноземах типичных тяжелосуглинистых

Горизонт	Глубина, см	Фракция >1 мкм, %	Фракция >1 мкм						Почва					
			кварц	плагио-клазы	кали-шлаты	слюды	хлорит	каоли-нит	кварц	плагио-клазы	кали-шлаты	слюды	хлорит	каоли-нит
<i>Молдова, чернозем типичный, разрез 50, плато, абс. выс. 236 м</i>														
Ап	0-30	61,4	61,5	11,1	10,3	12,2	1,9	3,0	37,8	6,3	7,5	1,1	1,8	
А <sub>1</sub>	30-55	63,5	59,0	11,4	11,4	12,3	2,3	3,1	37,5	7,3	7,8	1,5	2,0	
В <sub>1</sub>	55-65	61,6	59,3	11,9	11,6	11,3	2,6	3,2	36,5	7,4	6,9	1,6	2,0	
В <sub>2к</sub>	65-80	62,2	53,5	11,4	11,7	13,5	3,8	6,1	33,3	7,1	8,4	2,3	3,8	
С <sub>к</sub>	190-200	61,7	51,8	11,4	10,8	13,6	5,7	6,7	32,0	6,7	8,4	3,5	4,1	
<i>Среднерусская возвышенность, чернозем типичный, разрез 26, водораздел, абс. выс. 240 м</i>														
А <sub>д</sub>	0-28	68,5	61,8	11,9	12,1	9,3	1,7	3,2	42,3	8,2	6,4	1,2	2,2	
А <sub>1</sub>	28-40	66,4	62,5	12,8	12,4	8,1	2,0	2,2	41,5	8,5	5,4	1,3	1,5	
А <sub>1к</sub>	40-70	68,6	58,7	13,9	12,7	9,3	2,5	3,0	40,3	9,5	6,4	1,7	2,0	
А <sub>1В<sub>к</sub></sub>	70-115	66,4	60,9	12,5	12,1	8,0	2,1	4,4	40,5	8,3	5,3	1,4	2,9	
С <sub>к</sub>	210-235	63,1	52,8	13,5	11,4	11,7	4,0	6,6	33,3	8,5	7,4	2,6	4,2	

Таблица 2

## Содержание глинистых минералов в черноземах типичных тяжелосуглинистых

Горизонт	Глубина, см	Фракция <1 мкм, %	Фракция <1 мкм				Почва				
			смектит	иллит	хлорит	каолинит	смектит	иллит	хлорит	каолинит	
<i>Молдова, чернозем типичный, разрез 50, плато, абс. выс. 236 м</i>											
Ап	0-30	38,6	47,9	35,1	6,0	10,9	18,5	13,5	2,3	4,2	
А <sub>1</sub>	30-55	36,5	48,2	34,8	6,3	10,7	17,6	12,7	2,3	3,9	
В <sub>1</sub>	45-55	38,4	50,9	32,0	6,1	11,0	19,6	12,3	2,3	4,2	
В <sub>2к</sub>	65-80	37,8	53,5	29,0	6,2	11,3	20,2	11,0	2,3	4,3	
С <sub>к</sub>	190-200	38,3	58,6	23,1	6,9	11,3	22,5	8,9	2,7	4,3	
<i>Среднерусская возвышенность, чернозем типичный, разрез 26, водораздел, абс. выс. 240 м</i>											
А <sub>д</sub>	0-14	31,5	50,0	32,2	5,3	12,5	15,8	10,1	1,7	4,0	
А <sub>1</sub>	28-40	33,6	47,4	31,7	5,8	15,1	15,9	10,7	1,9	5,1	
А <sub>1к</sub>	40-70	31,4	45,9	30,4	7,6	16,1	14,4	9,5	2,4	5,1	
А <sub>1В<sub>к</sub></sub>	70-115	33,6	51,0	28,0	8,1	12,9	17,1	9,4	2,7	4,3	
С <sub>к</sub>	210-235	36,9	52,4	26,9	6,8	13,8	19,3	9,9	2,5	5,1	

Таким образом, курский и молдавский черноземы по составу первичных и глинистых минералов идентичны, а по их содержанию весьма близки. В обоих черноземах поведение минералов однотипно: содержание одних минералов (слюды, хлорит, смектит) вверх снижается по профилю, а других – увеличивается (кварц, иллит), что свидетельствует о наличии дифференцированности минералогических профилей этих почв как результат, прежде всего, воздействия процессов выветривания и почвообразования. Важно отметить в исследуемых черноземах различия в содержании и поведении по профилю фракций крупнее и менее 1 мкм.

Высокоинформативными в оценке воздействия на минералогию почв процессов выветривания и почвообразования выступают показатели минералогического состояния черноземов (табл. 3). Прежде всего обратим внимание, что значения K1–K4 в почвенной части профиля обоих черноземов превышают единицу, что указывает на то, что в них идет разрушение полевых шпатов (K1), слоистых силикатов (K2), тех и других вместе (K3) и илистой фракции (фракции <1 мкм, K4), представленной глинистыми минералами. Значения этих показателей увеличиваются от породы к верхним горизонтам почв, что свидетельствует об увеличении объема разрушения глинистых минералов вверх по профилю. По абсолютным значениям показателей видно, что потери слоистых силикатов в обоих черноземах намного выше, чем потери полевых шпатов (значения K2 в верхних горизонтах 1,8–1,84, значения K1 в пределах 1,2–1,24). Видно также, что значения K1–K3, характеризующие состояние первичных минералов в верхних горизонтах, в обоих черноземах близки между собою, что свидетельствует о примерно одинаковой степени выветренности этих групп минералов. В молдавском черноземе значения K1–K4 на больших глубинах ниже, чем в курском черноземе, что указывает на распространение процессов выветривания во втором на большую глубину, чем в первом. Надо при этом помнить о высокой степени рыхлости курского чернозема. Заслуживает внимания также то, что в курском черноземе потери фракции глинистых минералов по профилю намного выше, чем в молдавском (K4 в первом в пределах 1,2–1,48, во втором – 1,06–1,23). В этом сыграло роль сразу два обстоятельства: повышенное содержание кварца и сниженное содержание илистой фракции в почвенной части профиля курского чернозема. Соотношение между иллитом и смектитом (ПИИС) во фракции <1 мкм складывается таким образом, что в молдавском черноземе более «иллитизированными» выступают верхние горизонты (7,33–7,22 против 6,69–6,43 в курском), в курском – нижние (5,50–5,14 против 5,42–3,94 в молдавском). Эти данные указывают на более интенсивное накопление иллита в молдавском черноземе, но на коротком промежутке верхней части профиля, в отличие от курского, где этот процесс распространяется глубже, в том числе из-за его высокой рыхлости. В молдавском черноземе ПНИС (показатель напряженности выветривания) по профилю в целом составил 3,39. В курском этот показатель рассчитан для каждого горизонта, т.к. в нем нет строго последовательного уменьшения ПНИС с глубиной, как в молдавском черноземе. Последнее можно объяснить некоторыми нарушениями однородности почвообразующей породы в курском черноземе. Значения ПНИС (соотношение кварц/смектит) в курском черноземе значительно выше, чем в молдавском (1,72–2,68 против 1,42–2,04), и указывают, во-первых, на вынос смектита в обеих почвах, во-вторых, на то, что этот процесс в курском черноземе развит будто бы сильнее, чем

в молдавском. Причина таких показателей в более высоком содержании кварца в верхней части профиля курского чернозема, по отношению к которому производились расчеты. ПНКС (показатель напряженности выветривания) в молдавском черноземе равен 0,62. Если бы в курском черноземе не присутствовала некоторая неоднородность породы, то тот же показатель в нем составил бы величину 0,96 (табл. 3), что свидетельствовало бы о более интенсивном выносе из этого чернозема смектита.

Причина все та же: более высокое содержание кварца в курском черноземе. ПИКИ контролирует состояние иллита по отношению к тому же кварцу. В молдавском черноземе значения этого показателя вверх по профилю уменьшаются. Эти данные указывают, что накопление в нем иллита опережает относительное накопление кварца как следствие, скорее всего, преимущественно физической дисперсации грубообломочных слюд [2]. В курском черноземе картина иная.

Таблица 3

**Параметры минералогического состояния силикатной части черноземов  
типичных тяжелосуглинистых**

Горизонт	K1	K2	K3	K4	ПИИС	ПНИС	ПИКС	ПНКС	ПИКИ	ПНКИ
<i>Молдова, чернозем типичный, разрез 50, плато, абс. выс. 236 м</i>										
Ап	1,24	1,82	1,49	1,18	7,33	3,39	2,04	0,62	2,80	-0,80
А <sub>1</sub>	1,08	1,66	1,33	1,23	7,22		2,13	0,71	2,95	
В <sub>1</sub>	1,07	1,74	1,35	1,14	6,29		1,86	0,44	2,97	
В <sub>2к</sub>	0,99	1,15	1,07	1,06	5,42		1,65	0,23	3,03	
С <sub>к</sub>	1,00	1,00	1,00	1,00	3,94		1,42	0,00	3,60	
<i>Среднерусская возвышенность, чернозем типичный, разрез 26, водораздел, абс. выс. 240 м</i>										
А <sub>д</sub>	1,21	1,84	1,44	1,48	6,43	1,29	2,68	0,96	4,17	0,82
А <sub>1</sub>	1,17	1,99	1,46	1,34	6,69	1,55	2,57	0,85	3,84	0,49
А <sub>1к</sub>	1,16	1,69	1,36	1,45	6,62	1,48	2,87	1,15	4,33	0,98
А <sub>1</sub> В <sub>к</sub>	1,14	1,48	1,28	1,29	5,50	0,36	2,28	0,56	4,14	0,79
С <sub>к</sub>	1,00	1,00	1,00	1,00	5,14	0,00	1,72	0,00	3,35	0,00

Здесь ПИКИ в почвенной части профиля выше, чем в породе, что должно было бы свидетельствовать о разрушении наряду со смектитом и иллита, но этот аспект подробнее будет рассмотрен в следующей статье, посвященной балансовым расчетам. Отрицательное значение ПНКИ в молдавском черноземе (-0,80) – результат опять того же обстоятельства, что последовательное накопление иллита вверх по профилю в этом черноземе опережает последовательное накопление кварца. В курском черноземе этого не наблюдается, что, во-первых, не позволяет ПНКИ выразить одной цифрой для всего профиля, как в молдавском черноземе, во-вторых, данный показатель имеет положительные значения, поскольку соотношения кварц/иллит вверх по профилю, напротив, изменяются в пользу кварца. Такие данные могли бы рассматриваться под тем углом, что облегчение гранулометрического состава курского чернозема вверх по профилю является следствием настолько интенсивного выветривания, что в результате разрушению подвергся и устойчивый диоктаэдрический иллит. Но этот вопрос

также детальнее будет рассмотрен в следующей статье, посвященной балансовым расчетам.

На основании проведенных исследований молдавского и курского черноземов и полученных результатов важно констатировать, что методика минералогического анализа и способ оценки минералогического состояния почв с помощью ряда показателей, используемые нами в Молдове, применимы и на черноземах Русской равнины.

## ВЫВОДЫ

1. Сравнительное исследование минералогического состояния силикатной части черноземов типичных тяжелосуглинистых на покровных лессовидных отложениях водоразделов Молдовы и Среднерусской возвышенности позволило установить, что эти две почвы по составу породообразующих первичных и глинистых минералов идентичны, а по их содержанию по профилю весьма близки.

2. По представленным результатам исследования черноземы близки также по происходящим в них изменениям, связанным с процессами выветривания и почвообразования. В обоих черноземах трансформация минералогического состава развивается по элювиальному типу, т.е. сопровождается разрушением практически всех минералов и относительным накоплением устойчивого к выветриванию кварца. В молдавском черноземе, наряду с кварцем, наблюдается относительное накопление диоктаэдрического иллита, чего не происходит в курском черноземе. Важно также отметить в исследуемых черноземах некоторые различия в содержании и распределении по профилю фракций крупнее и менее 1 мкм.

3. Параметры минералогического состояния силикатной части свидетельствуют о примерно равной степени выветренности в исследуемых черноземах первичных минералов и более выраженном, казалось бы, выветривании в курском черноземе глинистых минералов. В молдавском черноземе имеет место «сверхкварцевое» накопление иллита, а в курском черноземе – проявления неоднородности породы и, в связи с его рыхлостью и низкой плотностью, распространение процессов выветривания на более глубокие горизонты.

4. Исследования также показали возможность применения методики минералогического анализа и способа оценки минералогического состояния почв, используемые в Молдове, на черноземах Русской равнины. Однако требуются дальнейшие исследования в этой области.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Градусов, Б.П.* Закономерности генезиса и географии минералогического состава почвообразующих пород Русской равнины / Б.П. Градусов // Грунтознание. – 2010. – Т. 11. – № 3–4. – С. 13–26.
2. *Холодов, В.Н.* Об эволюции питающих провинций в истории Земли / В.Н. Холодов // Проблемы литологии и геохимии осадочных пород и руд. К 75-летию Н.М. Страхова. – М.: Наука, 1975. – С. 191–209.
3. *Добровольский, В.В.* Состав мелкозема рыхлых почвообразующих пород Восточно-Европейской равнины / В.В. Добровольский // Почвоведение. – 2005. – № 5. – С. 345–354.

4. Четвертичная палеогеография экосистемы Нижнего и Среднего Прута / О.М. Адаменко [и др.]. – Киев, 1997. – 233 с.
5. *Бондарчук, В.Г.* Строение четвертичных (антропогенных) отложений и проблемы геологии квартера Украины / В.Г. Бондарчук // Четвертичный период, вып. 13, 14, 15. – Киев: Изд-во АН УССР, 1961.
6. *Покатилов, В.П.* Геолого-литологические структурно-геологические факторы, определяющие инженерно-геологические условия Северной Молдавии / В.П. Покатилов // Геология четвертичных отложений Молдавии. – Кишинев: Штиинца, 1983. – С. 89–100.
7. *Хубка, А.Н.* Литология покровных отложений / А.Н. Хубка // Палеонтологические исследования верхнего кайнозоя Молдавии. – Кишинев: РИО АН МССР, 1970. – С. 21–44.
8. *Ковда, В.А.* Основы учения о почвах / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1973. – Т. 1. – 447 с.
9. *Алексеев, В.Е.* Минералогия почвообразования в степной и лесостепной зонах Молдовы: диагностика, параметры, факторы, процессы / В.Е. Алексеев. – Кишинев, 1999. – 241 с.
10. *Алексеев, В.Е.* Минералогический состав и эволюция глинистой части черноземов Молдавии / В.Е. Алексеев // Почвоведение. – 1977. – № 2. – С. 126–136.
11. *Алексеев, В.Е.* Состав, содержание и распределение по гранулометрическим фракциям обломочных минералов крупнее 0.001 мм в черноземах Молдавии / В.Е. Алексеев // Генезис, география и классификация почв Молдавии. – Кишинев: Штиинца, 1973. – С. 119–136.
12. *Алексеев, В.Е.* Выветривание первичных минералов в почвах геоморфологического профиля южной Молдавии / В.Е. Алексеев, К.Г. Арапу, Т.Н. Гончарова // Картография, оценка, использование и охрана почв. – Кишинев: Штиинца, 1982. – С. 101–135.
13. *Алексеев, В.Е.* Происхождение и возраст минералогических профилей черноземов Молдавии / В.Е. Алексеев, А.Н. Бургеля, Е.Б. Варламов // Почвоведение. – 2008. – № 4. – С. 454–466.
14. Изменение глинистых минералов при образовании южного и слитого черноземов, лиманной солоди и солонца / Э. А. Корнблум [и др.] // Почвоведение. – 1972. – № 1. – С. 107–114.
15. Некоторые особенности процессов передвижения и преобразования глинистых минералов при образовании южного и слитого черноземов, лиманной солоди и солонца / Э.А. Корнблум [и др.] // Почвоведение. – 1972. – № 5. – С. 107–120.
16. *Крыщенко, В.С.* Изменение минеральной части предкавказских террасовых черноземов при орошении / В.С. Крыщенко, А.Я. Вигутова, Э.Ф. Рязанова // Почвоведение. – 1983. – № 8. – С. 90–99.
17. *Носко, Б.С.* Минералогический состав чернозема типичного (Харьковской области) при систематическом внесении удобрений и орошении / Б.С. Носко, И.И. Филон // Почвоведение. – 1988. – № 6. – С. 71–76.
18. *Пономарев, Г.М.* Почвы степных типов почвообразования на изверженных кристаллических породах / Г.М. Пономарев, И.Н. Антипов-Каратаев // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. – 1947. – Т. 25. – С. 29–59.

19. *Приходько, В.Е.* Влияние орошения на глинистые минералы черноземов Поволжья / В.Е. Приходько, Т.А. Соколова, Т.Я. Дронова // Вестник МГУ. Сер. 17; Почвоведение. – 1998. – № 3. – С. 3–8.
20. *Симонов, Г.А.* Содержание и минералогический состав коллоидных и предколлоидной фракций в зональном ряду почв Европейской России / Г.А. Симонов // Почвоведение. – 2003. – № 6. – С. 722–732.
21. *Симонов, Г.А.* Состояние и эволюция минеральной массы почв / Г.А. Симонов. – СПб.: Наука, 1993. – 202 с.
22. *Симонов, Г.А.* Минералогический состав илистой фракции обыкновенных черноземов Минусинской котловины / Г.А. Симонов, В.З. Спирина // Почвоведение. – 1991. – № 12. – С. 72–88.
23. *Соколова, Т.А.* Минералогический состав илистых фракций черноземов Краснодарского края и некоторые вопросы количественного определения глинистых минералов / Т.А. Соколова, Г.М. Соляник // Вестник МГУ. Сер. 17; Почвоведение. – 1984. – № 1. – С. 21–29.
24. *Султанбаев, Е.А.* Минералогия черноземов Северного Казахстана / Е.А. Султанбаев. – Алма-Ата: Наука, 1987. – 216 с.
25. Химико-минералогическая характеристика подфракций ила черноземов Молдовы / И.И. Толпешта [и др.] // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17; Почвоведение. – 1994. – № 2. – С. 63–74.
26. *Чижикова, Н.П.* Изменение минералогического состава черноземов типичных при орошении / Н.П. Чижикова // Почвоведение. – 1991. – № 2. – С. 65–81.
27. *Чижикова, Н.П.* Минералогический состав высокодисперсной части черноземов Центральной фации / Н.П. Чижикова // Научн. докл. высш. шк. биол. наук. – 1968. – № 6.
28. *Чижикова, Н.П.* Химико-минералогический состав южных черноземов Кустанайской области / Н.П. Чижикова // Почвоведение. – 1965. – № 10. – С. 88–98.
29. *Чижикова, Н.П.* Распределение глинистых минералов фракции <0.001 мм по профилю черноземов Ямской степи / Н.П. Чижикова, Е.К. Дайнеко // Почвоведение. – 1978. – № 2. – С. 78–88.
30. Преобразование минералогического состава черноземов южных юго–запада Украины при орошении / Н.П. Чижикова [и др.] // Почвоведение. – 1992. – № 8. – С. 77–87.
31. *Чижикова, Н.П.* Минералогический состав фракции менее 0,001 мм серых лесных почв и черноземов центральной части Среднерусской возвышенности / Н.П. Чижикова, Н.П. Романова, Б.П. Градусов // Почвоведение. – 1982. – № 3. – С. 72–80.
32. *Ярилова, Е.А.* Минералогический состав чернозема Каменной степи и влияние на него искусственного насаждения и травопольных севооборотов / Е.А. Ярилова // Вопросы травопольной системы земледелия. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – Т. 2.
33. *Arnaud, R.I.* Characteristics of the clay fractions in a chernozemic to podsollic sequence of soil profiles of Saskatchewan / R.I. Arnaud, M.M. Mortland // Can. J. of Soil Sci. – 1963. – V. 43, № 2. – P. 336–349.
34. *Arnaud, R.I.* Mineral distribution and Weathering in Chernozemic and Luvisolic soils from central Saskatchewan / R.I. Arnaud, M.D. Sudom // Can. J. of Soil Sci. – 1981. – V. 61, № 1. – P. 79–89.

35. *Bronger, A.* Argillic Horizons in Modern Loess Soils in an Ustic Soil Moisture Regime: Comparative Studies in Forest–Steppe and Steppe Areas from Eastern Europe and the United States / A. Bronger // *Advances in Soil Science*. – 1991. – V. 15. – P. 41–90.

36. *Dudas, M.L.* Chernozem soils of Alberta Parklands / M.L. Dudas, S. Pawluk // *Geoderma*. – 1969. – V. 3, №1. – P. 19–36.

37. *Алексеев, В.Е.* Способ оценки минералогического состояния силикатной части черноземов / В.Е. Алексеев // *Почвоведение*. – 2012. – № 2. – С. 189–199.

38. *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.

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

40. Рентгенография основных типов породообразующих минералов / под ред. В.С. Власова. – Л.: Недра, 1983. – 359 с.

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

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

43. *Алексеев, В.Е.* Минералогический анализ в диагностике оподзоливания, лессиважа и оглинивания / В.Е. Алексеев // *Почвоведение*. – 1983. – № 10. – С. 12–18.

## **COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE MINERALOGICAL STATUS OF CHERNOZEMS TYPICAL ON THE COVERING SEDIMENTS OF THE WATERSHEDS OF MOLDOVA AND THE CENTRAL RUSSIAN UPLAND**

**V.E. Alekseev**

### **Summary**

Comparative study of the mineralogical status of silicate part of the typical chernozems on the covering sediments of the watersheds of Moldova and the Central Russian upland showed that both the soil in composition and the content of primary and clay minerals are very close. They are also close according to the changes occurring in them processes of weathering and soil formation. Changes develop in the eluvial type. A significant excess loss of clay minerals in the Kursk chernozem over the loss of the Moldova's chernozem is due to the gradual relief of the soil-forming rocks in Kursk chernozem up on the profile. The study showed that the method of mineralogical analysis and the method of assessment of the mineralogical status of soils used in Moldova are also applicable on the chernozems of the Russian plain.

*Поступила 16.03.17*

## ЧЕРНОЗЕМЫ ТИПИЧНЫЕ НА ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОРАЗДЕЛОВ МОЛДОВЫ И СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ: БАЛАНС МИНЕРАЛОВ

**В.Е. Алексеев**

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

### ВВЕДЕНИЕ

Задача исследования – сравнительная характеристика минералогического состояния силикатной части черноземов Русской равнины и Молдовы, сформировавшихся на покровных отложениях водоразделов, посредством определения в них баланса минералов. Исследованием в этом направлении будет решаться и другая задача – установлено, применим ли данный прием анализа, используемый на черноземах Молдовы, к черноземам Русской равнины.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования остаются те же два чернозема, охарактеризованные в предыдущей статье. Напомним, что сравнительные минералогические исследования проведены на черноземах одного и того же тяжелосуглинистого гранулометрического состава, что снимало проблему влияния гранулометрии на их минералогию и обеспечивало сравнимость объектов. В балансовых расчетах использованы результаты определения содержания первичных минералов во фракции  $>1$  мкм и глинистых минералов во фракции  $<1$  мкм в пересчете их содержания на почву в целом.

Методика исследования почв освещена также в предыдущей статье. В настоящей статье приведены расчеты двух этапов анализа результатов. На первом этапе показана динамика содержания минералов по отношению к силикатной части почвы после приведения по кварцу их содержания в горизонтах к содержанию в породе. Выражена она в кг/100 кг силикатной части породы, для чего использовано численное равенство весового процента содержания минерала его содержанию в кг/100 кг (табл. 1, 2). На втором этапе, используя полученные результаты, произведен расчет динамики масс минералов по горизонтам по отношению к силикатной части породы (табл. 3, 4). Такой прием и такая последовательность таблиц позволяют наглядно проследить, как складывается конечная картина по объемам трансформации минералогии исследуемых черноземов под влиянием процессов выветривания и почвообразования, но также в результате возможных геологических проявлений.

Расчеты произведены из допущения изначальной однородности пород. Результаты расчетов, не укладывающиеся в логику естественного развития процессов выветривания и почвообразования на однородной породе, относили к проявлениям ее неоднородности. Практически абсолютно однородные осадочные породы в природе вообще вряд ли существуют. К этому следует добавить, что также не

существует критерия, с какого момента породу следует считать однородной. В статье используется термин «баланс минералов», когда потери и прибавки минералов в конкретном горизонте выражены в кг/100 кг породы (табл. 1, 2), и термин «баланс масс минералов», когда потери и прибавки минералов выражены в т/га с учетом мощности и массы силикатов всего горизонта (табл. 3, 4). Способ расчета названных балансов минералов впервые описан и использован нами в [1, 2].

Для ориентации в представленных таблицах заметим, что таблицы 1 и 2 состоят из трех частей. В первой приведены исходные данные по содержанию минералов (первичных или глинистых) в силикатной части горизонтов почв в весовых процентах. Во второй (средней) – данные по содержанию этих минералов в кг/100 кг (численно равные процентам), приведенные к содержанию кварца в породе. В третьей – данные по разнице содержания в горизонте и породе отдельных минералов и их сумм, полученных во второй части таблиц. В конце таблицы 2 подведен общий баланс минералов. Другим способом оценки минералогического состояния исследуемых черноземов является расчет баланса масс минералов, выраженного в т/га (табл. 3, 4). Исходными данными для расчетов послужили установленные потери/прибавки первичных и глинистых минералов по горизонтам, определенные ранее в кг/100 кг силикатов породы (табл. 1, 2), мощности генетических горизонтов, их плотность и масса силикатной части в т/га. В таблицах 3 и 4 показаны два вида баланса. Первый подводит окончательный баланс минерала по профилю, второй – баланс между минералами одного горизонта. Оба баланса выполняют дополнительную полезную диагностическую функцию, поскольку дают возможность видеть, за счет каких статей (минералов и горизонтов) формируется общий баланс масс минералов в черноземах. Конечные результаты обоих балансов сходятся в одной ячейке таблицы, т.е. они совпадают.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По содержанию кварца, первичных и глинистых минералов в почвообразующей породе молдавский и курский черноземы практически идентичны, что создает благоприятные условия для сравнительного анализа (чернозем на Среднерусской возвышенности в Курской области для краткости будем именовать курским). Расчеты показали, что в обоих черноземах баланс первичных минералов отрицательный по всем группам, что указывает на одинаковое в них течение процесса выветривания этой категории силикатов (табл. 1). Он нарастает от породы к верхним горизонтам, где до глубины 65–70 см сверху в обоих черноземах достигает близких величин в пределах 7,4–9,9 кг/100 кг силикатов породы. Различия заключаются в том, что в молдавском черноземе потери первичных минералов уже на глубине 80 см приближаются к минимуму (1,9 кг/100 кг), в то время как в курском черноземе они и на глубине 115 см достаточно велики (6,4 кг/100 кг). При этом следует помнить о рыхлом состоянии курского чернозема. В обоих черноземах основные потери первичных минералов связаны со слоистыми силикатами (слюдами, хлоритом и глинистым минералом каолинитом). В отношении глинистых минералов складывается похожая картина, но с некоторыми отличиями. Здесь основные потери прежде всего относятся к смектиту (до 6,8–6,9 кг/100 кг) и в значительно меньшей степени – к

хлориту и каолиниту (табл. 2). По-разному в исследуемых черноземах ведет себя иллит. В молдавском черноземе, как обычно для данного региона, наблюдается положительный его баланс в верхней части профиля [1]. В курском черноземе, как и в молдавском, первичные данные слабо демонстрируют некоторый рост содержания иллита к верхним горизонтам, но в конечном счете его баланс по отношению к кварцу оказывается отрицательным. Поскольку положительный баланс иллита в молдавском черноземе снижает суммарный отрицательный баланс глинистых минералов, различие в суммарных отрицательных балансах по этой группе минералов между черноземами резко возрастает. В верхних горизонтах они составили соответственно 5,8 и 12,1 кг/100 кг силикатов породы. Прежде отметим, что в обоих черноземах наряду с первичными идет выветривание глинистых минералов. Общий отрицательный баланс по первичным и глинистым минералам в верхней части профиля в молдавском черноземе выразился в 15,6, в курском черноземе – в 21,3 кг/100 кг силикатов породы (табл. 2). Таким образом, общий отрицательный баланс минералов в курском черноземе в сравнении с молдавским оказался примерно в полтора раза выше, и эта разница образовалась за счет глинистых минералов и, главным образом, в связи с необычным поведением иллита в курском черноземе.

В исследуемых черноземах отрицательные балансы масс первичных минералов (вместе с каолинитом) оказались соизмеримыми: в молдавском – 740, в курском – 815 т/га (табл. 3). В обоих черноземах основные потери первичных минералов (70–80 %) связаны со слоистыми силикатами. Размеры отрицательного баланса минералов по профилю в большой степени определяются мощностью горизонтов, что особенно наглядно можно видеть на примере курского чернозема. К тому же в этом черноземе даже на глубине 115 см потери первичных минералов остаются значительными и глубже они вообще остались не учтенными. Так что в целом потери первичных минералов в курском черноземе должны быть выше, чем в молдавском черноземе. В этом свою роль сыграло более высокое содержание кварца в почвенной части курского чернозема.

Баланс масс глинистых минералов в обоих черноземах отрицательный (табл. 4). Принципиально различается, как показано ранее, поведение в этих почвах иллита. В молдавском черноземе его положительный баланс составил 212 т/га. В курском черноземе, напротив, баланс иллита отрицательный, и достиг 202 т/га.

Наибольшие потери глинистых минералов связаны с утратой смектита – более 600 т/га в каждом из черноземов. При близких потерях хлорита, в курском черноземе вдвое выше потери каолинита. В связи с разной направленностью поведения иллита суммарные потери глинистых минералов в курском черноземе (1072 т/га) вдвое превышают таковые в молдавском черноземе (556 т/га). По этой же причине общие потери минералов силикатной частью в курском черноземе (1887 т/га) оказались в полтора раза выше потерь в молдавском черноземе (1296 т/га). Принимая во внимание, что отрицательный баланс глинистых минералов на глубине 115 см остается еще высоким и глубже не учтен, общие потери силикатных минералов в курском черноземе на самом деле будут еще выше. Вместе с тем понятно, что различия в потерях минералов возникли в результате более высокого содержания в почвенной части курского чернозема кварца, по отношению к которому велись все расчеты.

Таблица 1

## Баланс первичных минералов силикатной части черноземов типичных тяжелосуглинистых

Горизонт	Весовой % в силикатной части почвы										Мгп*, кг/100 кг силикатной части породы										Мд, кг/100 кг силикатной части породы					баланс первичных минералов
	кварц	плагноклазы	кальцевые полевые шпаты	слюда	хлорит	каолинит	фракция > 1 мкм	кварц	плагноклазы	кальцевые полевые шпаты	слюда	хлорит	каолинит	сумма	кварц	плагноклазы	кальцевые полевые шпаты	слюда	хлорит	каолинит						
<i>Молдова, чернозем типичный, разрез 50, плато, абс. выс. 236 м</i>																										
Ап	37,8	6,8	6,3	7,5	1,1	1,8	61,3	32,0	5,8	5,3	6,3	0,9	1,5	51,9	0,0	-1,2	-1,4	-2,1	-2,6	-2,6	-9,9					
А <sub>1</sub>	37,5	7,5	7,3	7,8	1,5	2,0	63,6	32,0	6,4	6,2	6,7	1,3	1,7	54,3	0,0	-0,6	-0,5	-1,7	-2,2	-2,4	-7,4					
В <sub>1</sub>	36,5	7,4	7,2	6,9	1,6	2,0	61,6	32,0	6,5	6,3	6,0	1,4	1,8	54,0	0,0	-0,5	-0,4	-2,4	-2,1	-2,3	-7,7					
В <sub>2к</sub>	33,3	7,1	7,3	8,4	2,3	3,8	62,2	32,0	6,8	7,0	8,1	2,2	3,7	59,8	0,0	-0,2	0,3	-0,3	-1,3	-0,4	-1,9					
С <sub>к</sub>	32,0	7,0	6,7	8,4	3,5	4,1	61,7	32,0	7,0	6,7	8,4	3,5	4,1	61,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
<i>Среднерусская возвышенность, чернозем типичный, разрез 26, водораздел, абс. выс. 240 м</i>																										
А <sub>д</sub>	42,3	8,2	8,3	6,4	1,2	2,2	68,5	33,3	6,4	6,5	5,0	0,9	1,7	53,9	0,0	-2,1	-0,7	-2,4	-1,6	-2,4	-9,2					
А <sub>1</sub>	41,0	8,4	8,1	6,0	1,3	1,5	66,4	33,3	6,8	6,6	4,9	1,1	1,2	53,9	0,0	-1,7	-0,6	-2,5	-1,5	-3,0	-9,2					
А <sub>1к</sub>	41,3	8,7	8,1	6,6	1,7	2,1	68,6	33,3	7,0	6,6	5,3	1,4	1,7	55,3	0,0	-1,5	-0,6	-2,1	-1,2	-2,5	-7,8					
А <sub>1В<sub>к</sub></sub>	39,0	8,4	7,8	6,6	1,8	2,8	66,4	33,3	7,2	6,6	5,7	1,5	2,4	56,7	0,0	-1,3	-0,5	-1,7	-1,0	-1,8	-6,4					
С <sub>к</sub>	33,3	8,5	7,2	7,4	2,6	4,2	63,1	33,3	8,5	7,2	7,4	2,6	4,2	63,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					

\* Мгп – содержание минерала в горизонте, приведенное к содержанию кварца в породе; Мд – убыль (прибавка) минерала в сравнении с породой.

Таблица 2

**Баланс глинистых и общий баланс минералов силикатной части черноземов типичных тяжелосуглинистых**

Горизонт	Глубина, см	Весовой % в силикатной части почвы				Мгп*, кг/100кг силикатной части породы				Мд, кг/100кг силикатной части породы				Баланс минералов					
		СМКТИТ	ИЛЛИТ	ХЛОРИТ	КАОЛИНИТ	СМКТИТ	ИЛЛИТ	ХЛОРИТ	КАОЛИНИТ	СМКТИТ	ИЛЛИТ	ХЛОРИТ	КАОЛИНИТ	Баланс глинистых минералов	Баланс первичных минералов	Баланс глинистых минералов	общий баланс минералов		
<i>Молдова, чернозем типичный, разрез 50, плато, абс. выс. 236 м</i>																			
Ап	0-30	18,5	13,5	2,3	4,2	38,5	15,7	11,4	1,9	3,6	32,6	-6,8	2,5	-0,8	-0,7	-5,8	-9,8	5,8	-15,6
А <sub>1</sub>	30-55	17,6	12,7	2,3	3,9	36,5	15,0	10,8	2,0	3,3	31,1	-7,5	1,9	-0,7	-1,0	-7,3	-7,4	-7,3	-14,7
В <sub>1</sub>	55-65	19,6	12,3	2,3	4,2	38,4	17,2	10,8	2,0	3,7	33,7	-5,3	1,9	-0,7	-0,6	-4,7	-7,7	-4,7	-12,4
В <sub>2к</sub>	65-80	20,2	11,0	2,3	4,3	37,8	19,4	10,6	2,2	4,1	36,3	-3,1	1,7	-0,5	-0,2	-2,1	-1,9	-2,1	-4,0
С <sub>к</sub>	190-200	22,5	8,9	2,7	4,3	38,4	22,5	8,9	2,7	4,3	38,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Среднерусская возвышенность, чернозем типичный, разрез 26, водораздел, абс. выс. 240 м</i>																			
А <sub>д</sub>	0-28	15,8	10,1	1,7	4,0	31,5	12,4	8,0	1,3	3,1	24,8	-6,9	-2,0	-1,2	-2,0	-12,1	-9,2	-12,1	-21,3
А <sub>1</sub>	28-40	16,1	10,8	2,0	4,8	33,6	13,1	8,7	1,6	3,9	27,3	-6,3	-1,2	-0,9	-1,2	-9,6	-9,2	-9,6	-18,8
А <sub>1к</sub>	40-70	14,4	9,5	2,4	5,1	31,4	11,6	7,7	1,9	4,1	25,3	-7,7	-2,3	-0,6	-1,0	-11,6	-7,8	-11,6	-19,4
А <sub>1</sub> В <sub>к</sub>	70-115	17,1	9,4	2,7	4,3	33,6	14,6	8,0	2,3	3,7	28,7	-4,7	-1,9	-0,2	-1,4	-8,2	-6,4	-8,2	-14,6
С <sub>к</sub>	210-235	19,3	9,9	2,5	5,1	36,9	19,3	9,9	2,5	5,1	36,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

\* Мгп – содержание минерала в горизонте, приведенное к содержанию кварца в породе; Мд – убыль (прибавка) минерала в сравнении с породой.

Таблица 3

**Баланс масс первичных минералов силикатной части черноземов типичных тяжелосуглинистых**

Горизонт	Глубина, см	Мощность, см	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Масса, т/га	* Масса силикатной части, т/га	Плагиоклазы		Калиевые полевые шпаты		Слюда		Хлорит		Каолинит		Баланс погоризонный	
						потеря/прибавка, вес, %	потеря/прибавка, т/га										
<i>Молдова, чернозем типичный, разрез 50, плато, абс. выс. 236 м</i>																	
Ап	0–30	30	1,22	3660	3499	-1,2	-42	-1,4	-49	-2,1	-73	-2,6	-91	-2,6	-91	-9,9	-346
А <sub>1</sub>	30–55	25	1,40	3500	3371	-0,6	-20	-0,5	-17	-1,7	-57	-2,2	-74	-2,4	-81	-7,4	-249
В <sub>1</sub>	55–65	10	1,40	1400	1366	-0,5	-7	-0,4	-5	-2,4	-33	-2,1	-29	-2,3	-31	-7,7	-105
В <sub>2к</sub>	65–80	15	1,40	2100	2052	-0,2	-4	0,3	6	-0,3	-6	-1,3	-27	-0,4	-8	-1,9	-39
С <sub>к</sub>	190–200	–	–	–	–	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
Баланс профильных потерь/прибавок минералов, т/га							-73		-65		-170		-220		-212		-740
<i>Среднерусская возвышенность, чернозем типичный, разрез 26, водораздел, абс. выс. 240 м</i>																	
А <sub>д</sub>	0–28	28	1,00	2800	2567	-2,1	-54	-0,7	-18	-2,4	-62	-1,6	-41	-2,4	-62	-9,2	-236
А <sub>1</sub>	28–40	12	1,09	1308	1196	-1,7	-20	-0,6	-7	-2,5	-30	-1,5	-18	-3	-36	-9,2	-110
А <sub>1к</sub>	40–70	30	1,06	3180	2857	-1,5	-43	-0,6	-17	-2,1	-60	-1,2	-34	-2,5	-71	-7,8	-223
А <sub>1</sub> В <sub>к</sub>	70–115	45	1,01	4545	3841	-1,3	-50	-0,5	-19	-1,7	-65	-1	-38	-1,8	-69	-6,4	-246
С <sub>к</sub>	210–235	–	–	–	–	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
Баланс профильных потерь/прибавок минералов, т/га							-167		-61		-217		-132		-238		-815

Таблица 4  
Баланс масс глинистых и общий баланс масс минералов силикатной части черноземов типичных тяжелосуглинистых

Горизонт	Глубина, см	Мощность, см	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Масса, т/га	* Масса силикатной части, т/га	Смектит		Иллит		Хлорит		Каолинит		Баланс погоризонтный		Общий баланс масс минералов		
						потеря/прибавка, вес, %	потеря/прибавка, т/га	Бпм	Бгм	Бо								
<i>Молдова, чернозем типичный, разрез 50, плато, абс. выс. 236 м</i>																		
Ап	0-30	30	1,22	3660	3499	-6,8	-238	2,5	87	-0,8	-28	-0,7	-24	-5,8	-203	-740	-556	-1296
А <sub>1</sub>	30-55	25	1,40	3500	3371	-7,5	-253	1,9	64	-0,7	-24	-1,0	-34	-7,3	-246			
В <sub>1</sub>	55-65	10	1,40	1400	1366	-5,3	-72	1,9	26	-0,7	-10	-0,6	-8	-4,7	-64			
В <sub>2к</sub>	65-80	15	1,40	2100	2052	-3,1	-64	1,7	35	-0,5	-10	-0,2	-4	-2,1	-43			
С <sub>к</sub>	190-200	-	-	-	-	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0			
Баланс профильных потерь/прибавок минералов, т/га																		
						-	-627	-	212	-	-72	-	-70	-	-556	-	-	-
<i>Среднерусская возвышенность, чернозем типичный, разрез 26, водораздел, абс. выс. 240 м</i>																		
А <sub>д</sub>	0-28	28	1,00	2800	2567	-6,9	-178	-2,0	-50	-1,2	-31	-2,0	-51	-12,1	-310	-815	-1072	-1887
А <sub>1</sub>	28-40	12	1,09	1308	1196	-6,3	-75	-1,2	-14	-0,9	-11	-1,2	-14	-9,6	-115			
А <sub>1к</sub>	40-70	30	1,06	3180	2857	-7,7	-221	-2,3	-64	-0,6	-17	-1,0	-29	-11,6	-332			
А <sub>1В<sub>к</sub></sub>	70-115	45	1,01	4545	3841	-4,7	-181	-1,9	-73	-0,2	-8	-1,4	-53	-8,2	-315			
С <sub>к</sub>	210-235	-	-	-	-	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0			
Баланс профильных потерь/прибавок минералов, т/га																		
						-	-656		-202		-68		-146		-1072	-	-	-

\* Масса силикатной части почвы после вычета содержания гумуса и карбонатов.

По совокупности приведенных данных можно, казалось бы, заключить, что в курском черноземе процессы выветривания минералов продвинуты намного дальше, чем в молдавском черноземе. Настолько дальше, что они вызвали облегчение гранулометрического состава верхней части почвенного профиля и, как следствие, увеличение содержания кварца. Но имеются ли для такого заключения достаточные основания? Почвы принадлежат к одному типу – чернозем. По классическим представлениям их история полностью ограничивается голоценом. Нельзя руководствоваться в объяснении полученных результатов и ранее выдвинутой гипотезой [3], что черноземы на водораздельных поверхностях выравнивания могут наследовать минералогические профили от других эпох почвообразования в предшествующие голоцену межледниковья. Для этого нет оснований. Во-первых, на исследуемой территории Курской области, как и в Молдове, ледника не было. В этом отношении условия почвообразования молдавского и курского черноземов одинаковы. Во-вторых, вряд ли история четвертичного периода после Днепровского оледенения да и в голоцене на этих территориях в палеогеографическом отношении принципиально различалась. Поэтому курский чернозем, как представляется, не должен иметь настолько более выветренный минералогический профиль, чем молдавский чернозем.

Однако вернемся к некоторым данным баланса минералов. Прежде всего отметим, что примерно одинаковые потери первичных минералов в исследуемых черноземах вступают в противоречие с большими различиями в потере глинистых минералов. В курском черноземе они вдвое выше, чем в молдавском. При одинаковой минералогии почвообразующих пород такой эффект не может возникнуть даже при разных по интенсивности условиях выветривания и почвообразования, поскольку выветривание, как показывает молдавский опыт, в более или менее равной степени затрагивает как первичные, так и глинистые минералы. Привлекает внимание также необычное поведение иллита в курском черноземе, в котором обнаружилась потеря этого минерала в верхней части профиля, чего в молдавских черноземах никогда не отмечалось. При анализе расчетов становится понятным, что оба указанных необычных эффекта возникают только вследствие облегчения гранулометрии курского чернозема вверх по профилю. Но какова природа этого облегчения: процессы выветривания и почвообразования или особенности геологии почвообразующей породы? Такие случаи постепенного облегчения породы при движении к поверхности почвы трудно диагностируемы, т.к. минералогические признаки очень похожи на продукт интенсивных выветривания и почвообразования, которые также сопровождаются потерей способных к выветриванию минералов, изменениями в гранулометрии почв и относительным накоплением в них устойчивого кварца. Дело в том, что в лессовидных породах с укрупнением размера минеральных частиц силикатов количественное соотношение между кварцем, полевыми шпатами, грубодисперсными слоистыми силикатами и, особенно, глинистыми минералами изменяется в пользу кварца [1]. В данном случае противоречивость в балансе первичных и глинистых минералов, в поведении иллита, а также ранее отмеченные другие проявления неоднородности породы в курском черноземе в совокупности с палеогеографическими соображениями дают основание утверждать, что большие различия в общем балансе минералов в курском и молдавском черноземах не являются результатом процессов выветривания и почвообразования. Они являются следствием неоднородности почвообразующей породы в курском

черноземе, выражающейся в постепенном облегчении ее гранулометрического состава вверх по профилю. В результате вверх по профилю увеличивается содержание фракции  $>1\text{ мкм}$  и, соответственно, увеличивается содержание кварца и уменьшается содержание фракции  $<1\text{ мкм}$ , а эффекты с балансом и иллитом являются следствием пересчета на возникшую новую ситуацию. В этом случае об объемах истинных изменений в минералогии исследуемых черноземов под воздействием выветривания и почвообразования правильнее судить по данным, относящимся к молдавскому чернозему. В курском черноземе скорее всего произошли соизмеримые процессы, на что указывают показатели трансформации первичных минералов, однако наложенные на неоднородную породу они, особенно в связи со снижением вверх по профилю содержания глинистой фракции, по общему балансу минералов приобрели утрированно большие размеры.

В заключение отметим, что детальный разбор полученных результатов сравнительного исследования молдавского и курского черноземов позволяет придти еще к одному выводу. Пример с курским черноземом убедительно демонстрирует эффективность примененной методики минералогической диагностики происходящих в почве процессов, позволяющей даже в трудных случаях различать изменения в ее минеральной части почвенного и геологического происхождения, что, конечно же, совершенно недоступно химическому анализу.

## ВЫВОДЫ

1. Исследования показали, что состав и характер распределения первичных и глинистых минералов в молдавском и курском черноземах практически идентичны, балансы масс минералов одинаково отрицательные. В обоих черноземах основные потери первичных минералов (до 80 %) связаны со слоистыми силикатами, потери глинистых минералов – со смектитом. Наблюдаемая картина во многом указывает на однотипное в них течение процесса выветривания и почвообразования.

2. Отрицательные балансы масс первичных минералов в обоих черноземах соизмеримы: в молдавском – 740, в курском – 815 т/га. В связи с отклонением поведения иллита по профилю суммарные потери глинистых минералов в курском черноземе (1072 т/га) вдвое превышают таковые в молдавском черноземе (556 т/га). По этой же причине общие потери минералов в курском черноземе (1887 т/га) оказались в полтора раза выше потерь в молдавском черноземе (1296 т/га).

3. Различия в балансах масс, отчасти по первичным, но главным образом по глинистым минералам, а также в поведении иллита в курском черноземе в сравнении с молдавским являются следствием неоднородности почвообразующей породы в курском черноземе, выраженной в постепенном облегчении ее гранулометрического состава вверх по профилю и, как следствие, в увеличении содержания кварца в том же направлении. При отсутствии неоднородности почвообразующей породы курский чернозем по минералогическому состоянию оказался бы близким к молдавскому чернозему.

4. Проведенные исследования также показали возможность применения методики минералогического анализа и способа оценки минералогического состояния почв, используемые в Молдове, на черноземах Русской равнины. Однако требуются дальнейшие исследования в этой области.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев, В.Е.* Минералогия почвообразования в степной и лесостепной зонах Молдовы: диагностика, параметры, факторы, процессы / В.Е. Алексеев. – Кишинев, 1999. – 241 с.
2. *Алексеев, В.Е.* Элювиальный процесс и баланс масс породообразующих силикатных минералов в покровных отложениях водоразделов Молдовы / В.Е. Алексеев [и др.] // Buletinul Institutului de geologie și seismologie al AȘM. – 2009. – № 2. – P. 99–108.
3. *Алексеев, В.Е.* Происхождение и возраст минералогических профилей черноземов Молдавии / В.Е. Алексеев // Почвоведение. – 2008. – № 4. – С. 454–466.

### CHERNOZEMS TYPICAL ON THE COVERING SEDIMENTS OF THE WATERSHEDS OF MOLDOVA AND THE CENTRAL RUSSIAN UPLAND: BALANCE OF MINERALS

V.E. Alekseev

#### Summary

It is established that the composition and nature of distribution of primary and clay minerals along the profile of Moldovan and Kursk chernozems are almost identical. Mass balances of minerals in chernozems both negative. The loss of the primary minerals in the Moldovan and Kursk chernozems and close were, respectively, 740 and 815 t/ha, the loss of clay minerals, respectively 1072 and 556 t/ha. The difference in the losses of clay minerals is a result of heterogeneity of parent rocks in the Kursk chernozem, which is expressed in the gradual relief of her granulometry up the profile and the abnormal in connection with the distribution of illite in the soil profile.

*Поступила 16.03.17*

УДК 631.4:631.6

### ТРАНСФОРМАЦИЯ СВОЙСТВ ТЕМНО-КАШТАНОВОЙ ПОЧВЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОРОШЕНИЯ

**Л.И. Воротынцева**

*Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского,  
г. Харьков, Украина*

#### ВВЕДЕНИЕ

Почва – один из ключевых базовых ресурсов, который имеет важное значение для создания огромного количества товаров и услуг, являющихся неотъемлемым элементом экосистем и благосостояния человека. Поэтому сохранение или приумножение почвенных ресурсов необходимо для удовлетворения первоочеред-

ной потребности человечества в продовольственной, водной и энергетической безопасности [1].

Хозяйственная деятельность человека как фактор почвообразования еще в прошлом веке имела локальное значение, а в настоящее время масштабы ее изменяются до глобальных. Воздействие на почву и почвообразовательные процессы осуществляется как прямо, так и опосредованно через влияние на биосферу, атмосферу и гидросферу.

Влияние человека на биоту и биологический круговорот веществ заключается в вырубке лесов, распаивании значительных площадей и выращивании сельскохозяйственных культур, оказывающих различное воздействие на свойства почв, в отчуждении с урожаем значительного количества элементов питания, в применении органических и минеральных удобрений, пестицидов и др. В зависимости от степени воздействия изменения свойств почв могут носить деградационный характер. Различные виды деградации почв угрожают продовольственной безопасности и экологическому равновесию.

Деградация почв определяется как изменение состояния («здоровья») почвы, приводящее к уменьшению способности экосистемы предоставлять товары и услуги для своих бенефициаров. Деградированные почвы характеризуются таким качественным состоянием, при котором они не могут на должном уровне выполнять экосистемные услуги и обеспечивать нормальными товарами (например, давать урожай высокого качества) [2].

Деградация почв и ухудшение их качественного состава является серьезной глобальной экологической проблемой, которая может усилиться в условиях изменения климата и угрожать глобальной продовольственной и энергетической безопасности Украины, доступности воды для потребностей людей, возможностей адаптации к изменению климата и смягчению его последствий [1, 2]. Актуальными являются вопросы почвоохранной политики, борьбы с деградацией и национальной безопасности. В связи с этим на конференции ФАО (Рим, 39 сессия) в июне 2015 г. была утверждена новая редакция Всемирной хартии почв, в которой определено, что «первостепенной задачей для всех сторон является обеспечение устойчивого землепользования и оздоровление или восстановление подвергшихся деградации почв» [1].

Одной из стратегических целей ФАО (продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН) и Евразийского почвенного партнерства является устойчивое управление земельными ресурсами, пропаганда знаний о том, что здоровые почвы и устойчивое землепользование являются предпосылкой для экономического благосостояния страны и населения, и, следовательно, играют ключевую роль в устойчивом развитии. Одним из факторов смягчения негативных последствий изменений климата и адаптации к ним является устойчивое управление водными и земельными ресурсами [3].

Для рационального использования, охраны и снижения развития деградации земель в Украине разработан и утвержден Кабинетом Министров (распоряжение от 30.03.2016 г. № 271-р) Национальный план действий по борьбе с деградацией земель и опустыниванием, который является вкладом страны в реализацию решений Конференции ООН по устойчивому развитию «Рио+ 20» (2012 г.), достигением утвержденных в 2015 г. Генеральной ассамблеей ООН новых целей устойчивого развития на период до 2030 года и выполнение Конвенции ООН по

борьбе с опустыниванием, в частности, стремление достичь нейтрального уровня деградации земель в мире.

В результате сельскохозяйственного освоения почв и использования их в пашне изменяется направленность процессов почвообразования и их свойства. Масштабы трансформаций зависят от степени воздействия человека на почву. При экстенсивном использовании земель почвенные процессы, как правило, имеют ту же направленность, что и в естественных условиях, а при проведении мелиоративных мероприятий (орошение, осушение, известкование и др.) они меняются [4–6]. Поэтому во избежание развития деградационных процессов и негативных экологических последствий для обеспечения устойчивого развития сельскохозяйственного производства степень воздействия человека на почвы должна быть не чрезмерной, а минимальной и направлена на улучшение, окультуривание и повышение плодородия почв.

Главная проблема мирового земельного фонда – деградация сельскохозяйственных земель. Под этим термином понимают истощение почвенного плодородия, эрозию почв, их загрязнение, снижение биологической продуктивности естественных пастбищных угодий, засоление и заболачивание орошаемых площадей, отчуждение земель для нужд жилищного, промышленного и транспортного строительства. В научной литературе имеются различные подходы к определению деградации земель [7]: крупномасштабная и локальная экспертная оценка, определение производительности сельскохозяйственного производства, дистанционное зондирование, определение возможных рисков и т.д. При этом конечной целью мониторинга и оценки деградации земель является повышение устойчивости в управлении земельными ресурсами. В Украине также большое внимание уделяется изучению вопросов деградации почв (физической, химической, биологической): ее основных причин, диагностических признаков, изменению свойств почв, а также разработке приемов по предупреждению и устранению развития деградационных процессов [8–11], введены в действие государственные стандарты [12, 13].

Для оценки изменения состояния темно-каштановой почвы под влиянием сельскохозяйственного использования и орошения нами использован интегрированный метод, базирующийся на системном подходе – определении качества оросительной воды, свойств почвы (на целинном, орошаемом и неорошаемом участках) и экосистемных услуг почвы на основании ее качественного состояния. Для изучения направленности изменения свойств и качества почвы использовали перечень определенных индикаторов: солевой состав почвы, катионный состав поглощающего комплекса, содержание карбонатов кальция, гумуса, агрофизические показатели.

Поэтому в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой на почвы вследствие интенсивного сельскохозяйственного использования, необходимости развития и расширения площадей орошения в условиях засушливости климата и низкой влагообеспеченности, актуальными являются исследования по изучению почвенных процессов и режимов, направленности эволюции почв, использующихся в сельскохозяйственном производстве, для обеспечения сбалансированного землепользования. На основании оценки плодородия почв, современного эколого-агромелиоративного их состояния, возможным является принятие управленческих решений о направлении рационального использования почв, возможности восста-

новления орошения, о разработке противодеградационных приемов и повышении плодородия почв.

Цель исследований – изучение трансформации свойств темно-каштановой почвы под влиянием сельскохозяйственного использования и длительного орошения.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2014–2016 гг. на стационарных мониторинговых площадках, заложенных на целинном (природный биосферный заповедник «Аскания-Нова»), орошаемом и неорошаемом участках в Южной Степи (Херсонская область). Орошение в данном районе проводится из Каховского магистрального канала с использованием сети межхозяйственных и внутрихозяйственных каналов. Почвенный покров объектов исследований представлен темно-каштановой слабосолонцеватой среднеглинистой почвой на лессе и лессовидном суглинке. Почвенный покров объектов исследований представлен темно-каштановой природно слабосолонцеватой среднеглинистой почвой на лессовидном суглинке – целинный участок и используется в сельскохозяйственном производстве – орошаемый и неорошаемый участки. По уровню залегания грунтовых вод (УГВ) земли характеризуются автоморфными условиями (УГВ более 10 м от поверхности).

Орошаемый и неорошаемый участки используются в сельскохозяйственном производстве – в полевом севообороте. На протяжении проведения исследований изучали ротацию севооборотов: на орошаемом участке – сорго – озимая пшеница – соя, на неорошаемом – озимая пшеница – ячмень – сорго.

На стационарных площадках были заложены почвенные разрезы и скважины для изучения морфологии почв и свойств. Образцы почвы отбирали в период максимального солепроявления – в августе-сентябре.

Методы исследования – полевые мониторинговые исследования на стационарных площадках; методы системного анализа, статистической обработки, аналитических исследований.

В почве определяли солевой состав методом водной вытяжки (ГСТУ 7908–7909:2015, 7909:2015, 7943-7945:2015), катионный состав поглощающего комплекса – методом Тюринга (ГСТУ 7604:20140); содержание карбонатов кальция – по методу Соколовича в модификации ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского» (МВВ 31-497058-021), углерод органического вещества (ГСТУ 4289:2004), гранулометрический и микроагрегатный состав – методом пипетки в модификации Н.А. Качинского (ГСТУ 4730:2007, ГСТУ 4728:2007).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что освоение и распашка целинной почвы приводит к изменению природных фитоценозов, преобразованию верхней части профиля в качественно новый культурный горизонт с измененными показателями и свойствами (табл. 1–3). Изменение ландшафтно-экологических условий приводит к развитию новых по сути и интенсивности элементарных почвообразующих процессов, под влиянием которых трансформируются исходные почвы. Орошение дополнительно усиливает изменения направленности природных почвенных про-

цессов и режимов, трансформацию показателей состава и свойств почв, которые определяются химическим составом поливной воды, исходными свойствами почвы, ландшафтно-геохимическими условиями [5, 7].

Освоение целинных почв и их сельскохозяйственное использование привели к морфологическим изменениям в почвенном профиле и мощности генетических горизонтов, о чем свидетельствуют приведенные ниже морфологические описания почв. Номенклатура исследуемых почв приводится согласно действующей в Украине классификации, системе символов А.Н. Соколовского [14, 15].

**Разрез № 1** заложен на целинном участке природного биосферного заповедника «Аскания-Нова» (географические координаты: 46°50350 с.ш., 34°03416 в.д.). Территория покрыта типчаково-ковыльной растительностью.

Таблица 1

**Морфологическое описание профиля целинной темно-каштановой слабосолонцеватой почвы**

Генетический горизонт, мощность	Морфологические признаки
H(e)d 0–10 см	Темно-серый, рыхлый, сверху покрыт дерниной
H(e) 10–30 см	Гумусово-элювиальный, слабо элювиированный, темно-серый, сухой, плотный, комковато-зернистый, обильно пронизан корнями растений. При высыхании почва растрескивается на вертикальные призмовидные отдельности. Переход постепенный по плотности и цвету
Hp <sub>i</sub> /k 30–50 см	Переходный, буровато-серый, сухой, более плотный, чем предыдущий, комковато-ореховатая структура, вскипание от 10 % HCl с 40 см, слабая коллоидная лакировка, встречаются корни растений. Переход постепенный по цвету
Ph <sub>ik</sub> 50–66 см	Переходный, серо-коричневый, плотный, сухой, отмечаются вертикальные призматические отдельности, комковато-ореховатая структура, слабоструктурный, встречаются корни растений. Переход постепенный по цвету
P(h)k 66–95 см	Лесс, темно-палевый, свежий, встречается кротовина с гумусированным материалом, горизонт белоглазки, бесструктурный с призмовидными отдельностями. Переход постепенный по цвету
PK > 95 см	Палевый карбонатный лесс, свежий плотный

**Разрез № 2** заложен на неорошаемом участке (географические координаты: 46°51230 с.ш., 34°06033 в.д.). Поле после уборки озимой пшеницы, стерня.

Таблица 2

**Морфологическое описание профиля неорошаемой темно-каштановой слабосолонцеватой почвы**

Генетический горизонт, мощность	Морфологические признаки
H(e) пах. 0–10 см	Пахотный, темно-серый, влажный, рыхлый, пороховато-зернистый. Переход резкий по плотности и структуре
H(e) 1–32 см	Подпахотный, гумусово-элювиальный, серый, свежий, плотный, слабо выраженная комковато-зернистая структура, встречаются корни растений. Переход ясный по цвету

Окончание табл. 2

Генетический горизонт, мощность	Морфологические признаки
Hp1/k 32–54 см	Переходный, серо-коричневый, свежий, плотный, зернисто-ореховатый, вскипание от 10 % HCl с глубины 44 см, слабая коллоидная лакировка. Переход ясный по цвет
Ph1k 54–92 см	Переходный, палево-бурый, свежий, видны затеки гумуса по корням растений, плотный, комковато-ореховатая структура, слабоструктурный, обильная белоглазка. Переход постепенный по цвет
PK > 92 см	Лессовидный суглинок, желто-палевый, карбонатный, свежий

**Разрез № 3** заложен на орошаемом участке (географические координаты: 46°51404 с.ш., 34°06180 в.д.). Поле после уборки сорго, стерня.

Таблица 3

**Морфологическое описание профиля орошаемой темно-каштановой слабосолонцеватой почвы**

Генетический горизонт, мощность	Морфологические признаки
H(e) пах. 0–13 см	Пахотный, гумусово-элювиальный, темно-серый, влажный, рыхлый, пороховато-зернистая структура, встречаются корни растений. Переход резкий по плотности и структуре
He(i) 13–54 см	Гумусово-элювиальный, серый, свежий, плотный, комковато-зернисто-ореховатая структура, встречаются корни растений, коллоидная лакировка по структурным отдельностям. Переход постепенный по цвету
Hp1/k 54–69 см	Переходный, серо-коричневый, свежий, плотный, комковато-ореховатый, вскипание от 10 % HCl с глубины 69 см, слабая коллоидная лакировка. Переход постепенный по цвету
Phk 69–102 см	Переходный, палево-бурый, свежий, видны затеки гумуса по корням растений, плотный, комковато-ореховатая структура, обильная белоглазка. Переход постепенный по цвету
PK > 102 см	Лессовидный суглинок, желто-палевый, карбонатный, свежий

Профиль орошаемой темно-каштановой почвы по сравнению с неорошаемой характеризовался большей мощностью почвенного профиля (более 102 см) благодаря улучшению водного режима, промывке почвенной массы нисходящими потоками воды вглубь и созданию благоприятных условий для развития растений. Отмечается уменьшение текстурной дифференциации профиля, увеличение мощности гумусово-аккумулятивного горизонта соответственно с 92 см (в неорошаемой почве) до 102 см (в орошаемой), размывание горизонта аккумуляции белоглазки с аккумуляцией на глубине 69–102 см.

Изменение типа использования угодий и усиление антропогенного влияния на почву приводит к преобразованию природных фитоценозов, нарушению направленности почвенных процессов и режимов, что влияет на свойства почвы и показатели ее плодородия. Так, изучение солевого режима исследуемых почв показало, что по содержанию водорастворимых солей они характеризуются как незасоленные в соответствии с действующей классификацией [8]. В автоморфных

условиях отмечается элювирувание солей из верхних горизонтов с постепенным увеличением их количества в нижних, что определяется водным режимом почвы и климатическими характеристиками региона (рис. 1).

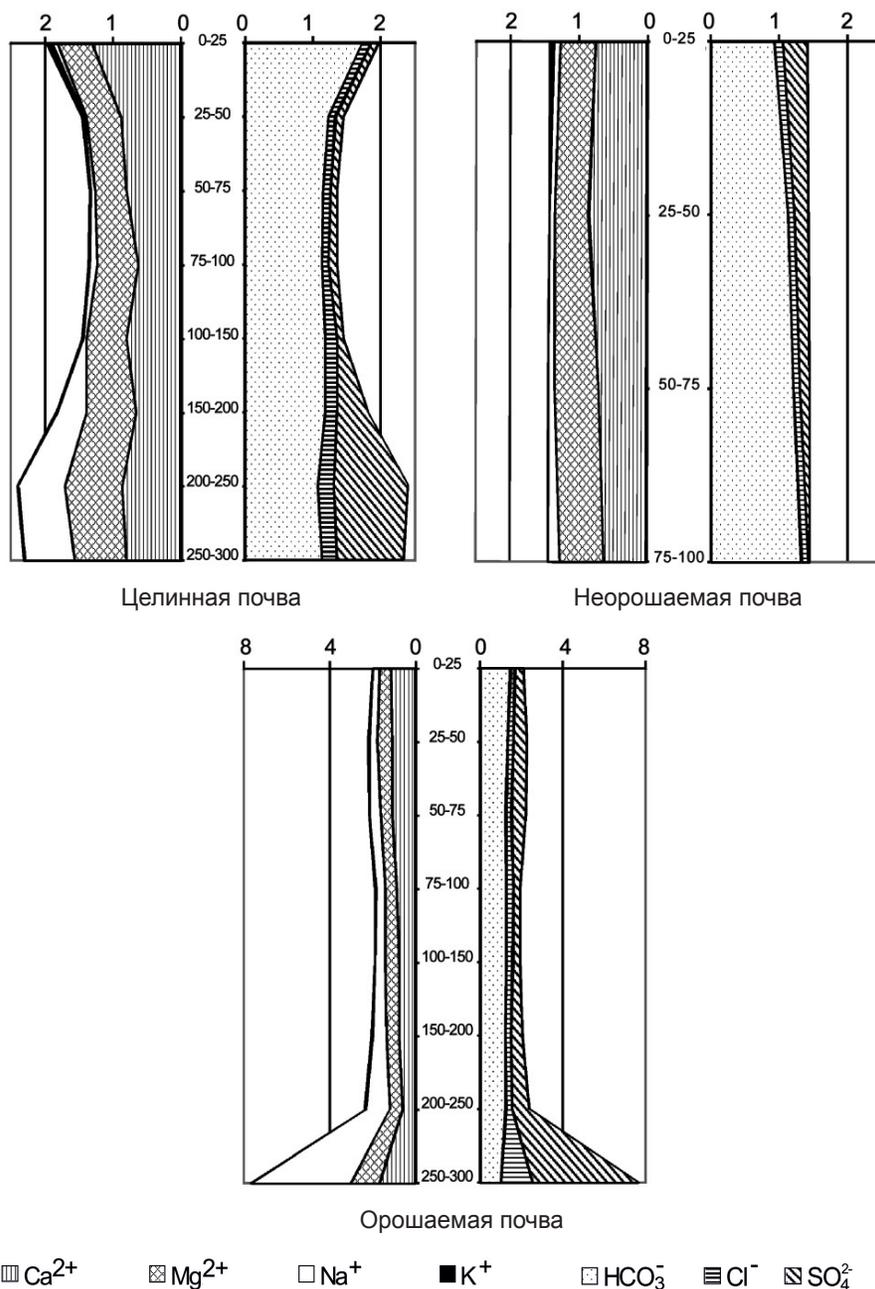


Рис. 1. Солевые профили темно-каштановой солонцеватой почвы при различном ее использовании

Так, в целинной почве общее количество солей варьировало в пределах профиля почвы от 0,08–0,11 % (слой 0–100 см) до 0,11–0,35 % (слой 100–300 см),

а токсичных солей соответственно 0,03–0,04 % в верхних горизонтах и 0,05–0,10 % в нижних. Формирование горизонта аккумуляции солей отмечается на глубине 200–250 см (см. рис. 1). По составу водорастворимых солей темно-каштановая почва характеризовалась гидрокарбонатным магниево-кальциевым типом. Полученные данные свидетельствуют о более высоком содержании водорастворимого кальция в верхнем 0–25 см слое темно-каштановой почвы. Следует отметить высокое содержание водорастворимых солей магния в водной вытяжке, что влияет на солонцеватость почвы и ее агрофизические свойства [16]. рН водный в верхнем 0–50 слое составлял 7,2–7,5, что характеризует реакцию среды как нейтральную, а с глубиной увеличивался до 7,8–8,1 (щелочная реакция). Соотношение Ca/Na в верхнем 0–50 см слое составляет 15–17, на глубине 50–100 см – 5–10, а в нижних горизонтах сужается до 1–2, что свидетельствует об усилении развития процесса осолонцевания почвы.

Неорошаемая почва, которая использовалась в сельскохозяйственном производстве, по содержанию водорастворимых и токсичных солей существенно не отличалась от целинной почвы. Следует отметить некоторое снижение значений соотношения Ca/Na до 8–13 в верхнем 0–50 см слое и 4–8 – в слое 50–100 см, что связано с изменением водного и воздушного режима почвы, выщелачиванием водорастворимых соединений вглубь почвы.

Вследствие освоения целинной почвы (сельскохозяйственного использования, орошения) произошли изменения направленности элементарных процессов и эволюции почв, изменение исходных генетических признаков и свойств. Для орошения в данном регионе используется вода из Каховского магистрального канала, которая характеризовалась как пригодная для орошения по агрономическим (ГСТУ 2730:2015) и экологическим (ГСТУ 7286:2012) критериям (табл. 4). Минерализация поливной воды составляла 0,35–0,39 мекв/дм<sup>3</sup>, рН – 7,5–7,8 (щелочная реакция), состав солей – гидрокарбонатно-кальциевый.

Таблица 4

**Химический состав и ирригационная оценка воды  
из Каховского магистрального канала (усредненные данные)**

Сумма солей, г/дм <sup>3</sup>	рН	Содержание ионов, мекв/дм <sup>3</sup>						Ирригационная оценка воды по опасности		
		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	засоления	осолонцевания	ощелачивания
0,36	7,8	3,5	1,14	0,31	2,6	1,13	1,20	1 класс	1 класс	1 класс
Содержание тяжелых металлов, мг/дм <sup>3</sup>									Ирригационная оценка воды по экологическим критериям	
Zn	Mn	Fe	Cu	Ni	Co	Pb	Cd	Cr		
0,009	0,010	0,27	0,030	0,006	0,007	0,011	0,0004	0,006	1 класс	

Анализ состава водорастворимых солей темно-каштановой орошаемой почвы свидетельствует о некоторой тенденции увеличения в слое 0–100 см общего количества водорастворимых солей до 0,14–0,16 % и токсичных солей – до 0,06–0,07 %. Вследствие промывного водного режима повышается растворимость солей и происходит выщелачивание их в нижние горизонты с аккумуляцией в слое 250–300 см. В составе водорастворимых солей увеличилась концентрация катионов натрия и сульфат-, хлорид анионов в результате дополнительного

приноса их с оросительной водой. Об изменении качественного состава солей свидетельствует снижение значений показателя Ca/Na до 2,6–3,2 в слое 0–50 см и 1,2–2,0 – в слое 50–200 см. В горизонте аккумуляции солей соотношение сужается до 0,4–0,5, что свидетельствует об усилении процесса осолонцевания почвы.

Для карбонатов кальция характерным является дифференцированное распределение в почвенном профиле: в верхнем пахотном слое содержание их составляло 1,1–1,3 %, а с глубиной увеличивалось до 14–19 % (слой 75–100 см). Следует отметить, что в условиях орошения подвижность и миграционная способность карбонатов несколько возростала.

Нашими предыдущими исследованиями на темно-каштановой почве, орошаемой минерализованной водой из Ингулецкой оросительной системы, установлены несколько низкие значения соотношения Ca/Na по сравнению с орошением пресной водой – 0,6–0,9, что свидетельствует об усилении развития процесса осолонцевания почвы при ухудшении качества воды [17].

В ходе многолетних исследований установлена годовая сезонно-обратимая миграция-аккумуляция водорастворимых солей, что определяется условиями увлажнения и количеством осадков в осенне-зимний период. В поливной вегетационный период отмечается некоторая тенденция к увеличению их концентрации, а в зимне-весенний период за счет промывки почвы осадками.

Изменение ландшафтно-экологических условий вследствие освоения целинной почвы, изменение факторов среды и интенсивное ее использование повлияло на состав почвенного поглощающего комплекса, который определяет свойства и уровень плодородия темно-каштановой почвы. Исследуемые почвы (слои 0–25, 25–50 см) характеризовались слабой степенью природной солонцеватости, при этом наиболее высокой она была на площадке с целинной почвой – соответственно в среднем 4,3 и 3,6 % Na + K от суммы поглощенных катионов (рис. 2). При этом хотелось бы указать на роль калия в солонцеватости целинной почвы, абсолютные значения содержания данного катиона были выше, чем натрия.

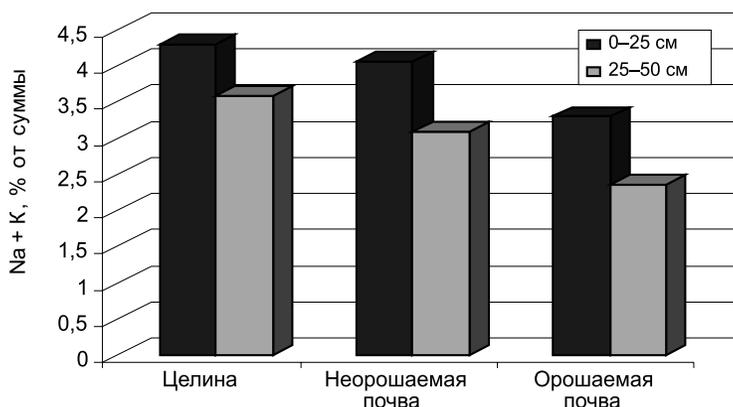


Рис. 2. Степень солонцеватости темно-каштановой почвы при различном ее использовании

В неорошаемой почве в результате механической обработки и изменения условий почвообразования отмечается некоторое уменьшение концентрации

солонцюющих почву катионов до 4,1 % и 3,1 % Na + K от суммы поглощенных катионов. Вследствие орошения водой 1 класса, гидрокарбонатного состава произошло достоверное уменьшение количества натрия и калия соответственно до 3,3 и 2,4 %, что свидетельствует о рассолонцевании темно-каштановой почвы под действием воды и положительно влияет на свойства почвы. Аналогичная закономерность была установлена исследованиями на каштановых почвах в зоне ирригации пресной водой 1 класса (пригодной) из Краснознаменной оросительной системы. При этом следует отметить, что более подвижным был калий, концентрация которого уменьшилась в почвенном комплексе вследствие промывного водного режима.

В составе поглощенных катионов исследуемых почв преобладает кальций, содержание которого в целинной почве в слое 0–25 см составляет 65–65 % от суммы всех катионов. Вследствие сельскохозяйственного использования темно-каштановой почвы и трансформации ее водного, воздушного, биологического режимов произошли количественные изменения в катионном составе поглощенных катионов: в неорошаемой почве содержание поглощенного кальция уменьшилось до 56–60 %, а в условиях орошения – до 54–56 %. Но при этом возросла концентрация поглощенного магния с 31–35 % на целине до 40–44 % на пашне и в условиях орошения. Поэтому мы можем предположить, что поглощенный магний может влиять на солонцеватость почвы, что находит свое выражение прежде всего в морфологии и агрофизических показателях (глыбистости, слитости, вязкости). О солонцюющей способности магния указывается в работах П.М. Брешковского, С.И. Соколова, И.Н. Антипова-Каратаева [16, 18].

Распашка темно-каштановой солонцеватой почвы повлияла на ее агрофизические показатели. По данным В.В. Медведева [8, 9], почвы пашни характеризуются значительной потенциальной склонностью к переуплотнению, что в конечном итоге влияет на всхожесть семян, изреженность посевов, развитие растений в течение вегетации. Механическая обработка является наиболее существенным фактором, способным вызвать негативные и устойчивые изменения физического статуса почв.

Так, определение плотности сложения темно-каштановой почвы при разном типе ее использования свидетельствует о существенных различиях по данному показателю между слоями 0–10, 10–20, 20–30 см. В целинной темно-каштановой почве равновесная плотность в верхнем 0–10 см слое составляла 1,0 г/см<sup>3</sup>, а с глубиной увеличивалась до 1,22 г/см<sup>3</sup> (слой 20–30 см) и 1,37 г/см<sup>3</sup> (слой 30–40 см). Сравнительная характеристика исследуемых почв свидетельствует (рис. 3), что вследствие использования темно-каштановой почвы в пашне в слое 0–10 см происходит достоверное увеличение данного показателя до 1,14 г/см<sup>3</sup> (неорошаемая почва) и 1,23 г/см<sup>3</sup> (орошаемая почва) – наименьшая существенная разница (НИР) – 0,08. В пахотных почвах на глубине 10–30 см формируется плужная подошва вследствие разной глубины обработки почвы, а плотность сложения при этом достоверно возрастает до 1,30–1,47 (НСР для слоя 10–20 см – 0,08; 20–30 см – 0,14). На наш взгляд, снижение плотности в слое 20–30 см орошаемой почвы связано с выращиванием в севообороте сои, которая характеризуется фитомелиоративным эффектом. В целинной почве данный показатель составлял соответственно 1,10–1,21 г/см<sup>3</sup>. Таким образом, в пахотных почвах в результате механической обработки, образования плужной почвы, а также изменения состава

ва почвенного поглощающего комплекса происходит ее уплотнение. Во многом плотность сложения почвы также зависит от культуры земледелия.

Исследуемые темно-каштановые почвы характеризуются среднеглинистым пыловато-илистым гранулометрическим составом с содержанием физической глины 59–64 % в слое 0–50 см. Для профильного распределения характерным является увеличение содержания физической глины в горизонте вымывания коллоидов – Н<sub>1</sub> за счет возрастания количества илистой фракции. В условиях орошения это повышение несколько выше по сравнению с целинной почвой. Под действием воды происходит более интенсивное разрушение песчаной и пыловатой фракций гранулометрического состава.

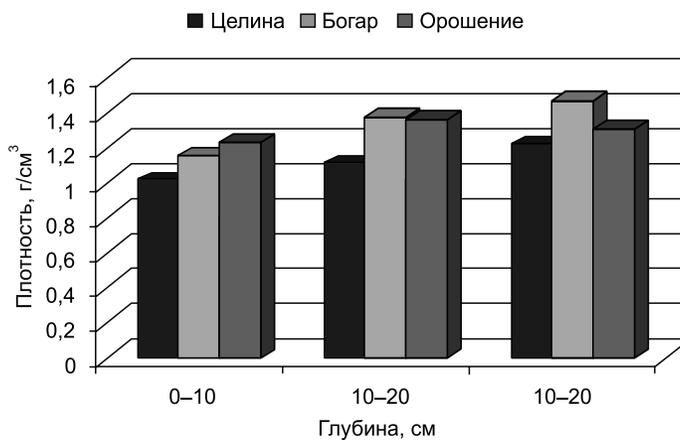


Рис. 3. Плотность сложения исследуемых почв

Фактор дисперсности по Н.А. Качинскому, который характеризует степень разрушения микроагрегатов в воде и является показателем прочности микроструктуры, в результате сельскохозяйственного использования почвы и применения орошения увеличивается, устойчивость микроструктуры соответственно снижается. Фактор структурности, который характеризует водостойчивость агрегатов, соответственно при орошении и сельскохозяйственном использовании снижается.

Важным показателем почвы является ее структурно-агрегатный состав. Результаты исследований свидетельствуют, что под влиянием орошения и сельскохозяйственного использования происходит снижения коэффициента структурности. Так, в целинной почве данный показатель в слоях 0–10 см и 15–25 см составлял 2,4–2,5, а в орошаемой снизился до 1,2–1,4, что свидетельствует об ухудшении структуры почвы в результате разрушения и уменьшения количества агрономически ценных агрегатов размером 0,25–10 мм, и увеличения количества глыбистой фракции размером больше 10 мм.

Изменение ландшафтно-экологических условий вследствие освоения целины и вовлечения ее в сельскохозяйственное использование привело к изменению гумусного состояния темно-каштановой почвы. Так, в целинной почве отмечается дифференциация профиля по содержанию общего гумуса: в элювиальном горизонте оно составляло 5,5 %, а в иллювиальном – уменьшилось до 3,3%, что в соответствии с ГОСТУ 4362 соответствует очень высокому содержанию (рис. 4). В результате распашки и сельскохозяйственного использования произошло усоре-

ние процессов минерализации органического вещества, вследствие чего уменьшилось количество гумуса соответственно до 3,0–3,2 % (слой He) и 1,9–2,2% (слой Hi) – повышенное и среднее содержание.

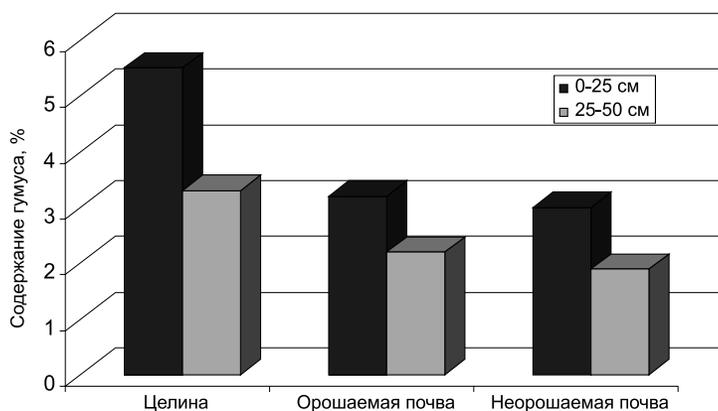


Рис. 4. Содержание гумуса в темно-каштановой почве при различном ее использовании

## ВЫВОДЫ

1. В результате сельскохозяйственного освоения почв и использования их в пашне изменяется направленность процессов почвообразования, что влияет на свойства темно-каштановой почвы и экосистемные услуги, которые она оказывает. Верхняя часть профиля преобразуется в качественно новый культурный горизонт с измененными показателями и свойствами. Орошение является дополнительным фактором трансформации почв, которые определяются химическим составом поливной воды, исходными свойствами почвы и ландшафтно-геохимическими условиями.

2. Изменение типа использования повлияло на морфологию темно-каштановой почвы, мощность генетических горизонтов, агрофизические и физико-химические показатели. Орошение пригодной водой положительно повлияло на состав поглощенных катионов: способствовало рассолонцеванию природно солонцеватой целинной почвы (снижению содержания Na + K от суммы поглощенных катионов с 4,3 % (слой 0–25 см) и 3,6 % (слой 25–50 см) соответственно до 3,3 и 2,4 %).

3. За счет использования в сельскохозяйственном производстве, обработки машинами и орудиями, а также орошения дождеванием произошли изменения агрофизических показателей целинной почвы, которые носят деградационный характер. Вследствие использования темно-каштановой почвы в пашне в слое 0–10 см происходит достоверное увеличение плотности сложения данного показателя с 1,0 г/см<sup>3</sup> (целинная почва) до 1,14 г/см<sup>3</sup> (неорошаемая почва) и 1,23 г/см<sup>3</sup> (орошаемая почва). В пахотных почвах на глубине 10–30 см формируется плужная подошва (вследствие разной глубины обработки почвы), а плотность сложения при этом достоверно возрастает до 1,30–1,47 г/см<sup>3</sup>.

Отмечается также ухудшение структуры почвы в результате разрушения и уменьшения количества агрономически ценных агрегатов размером 0,25–10 мм

и увеличения количества глыбистой фракции размером больше 10 мм. Снижается прочность микроструктуры и водоустойчивость агрегатов в результате сельскохозяйственного использования и орошения.

4. В результате распашки и сельскохозяйственного использования произошло уменьшение количества гумуса: в элювиальном горизонте соответственно с 5,5 % до 3,0–3,2 %, в иллювиальном – с 3,3% до 1,9–2,2 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пересмотренная Всемирная хартия почв. – ФАО, 2015. – 8 с. – Режим доступа: <http://www.fao.org/3/b-i4965r.pdf>
2. Soil degradation. – Режим доступа: <http://www.environment.nsw.gov.au/soil-degradation>.
3. Состояние мировых земельных и водных ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. – ФАО, 2012. – 285 с.
4. Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України / за наук. ред. С.А. Балюка, М.І. Ромащенко, В.А. Сташука. – Київ: Аграрна наука, 2009. – 624 с.
5. *Воротинцева, Л.І.* Трансформація властивостей чорнозему звичайного за зрошення водами різної якості / Л.І. Воротинцева // Вісник аграрної науки. – 2016. – № 1. – С. 56–60.
6. *Балюк, С.А.* Наукові аспекти сталого розвитку зрошення земель в Україні / С.А. Балюк, М.І. Ромащенко. – Київ, 2006. – 32 с.
7. *Reed, M.S.* Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: a methodological framework for knowledge management / M.S. Reed, M. Buenemann, J. Athlopheng // Copyright. – 2011. – P. 261–271. – Режим доступа: <https://ru.scribd.com/document/55090591/Evel-2011-Cross-scale-Monitoring-and-Assessment-of-Land-Degradation>
8. *Медведев, В.В.* Фізична деградація орних ґрунтів: висновки з досліджень і актуальні завдання / В.В. Медведев, І.В. Пліско // Вісник аграрної науки. – 2016. – № 10. – С. 17–30.
9. *Медведев, В.В.* Физическая деградация черноземов. Диагностика. Причины. Следствия. Предупреждение / В.В. Медведев. – Харьков, 2013. – 324 с.
10. *Балюк, С.А.* Сучасні проблеми біологічної деградації чорноземів і способи збереження їх родючості / С.А. Балюк, Б.С. Носко, Є.В. Скрильник // Вісник аграрної науки. – 2016. – № 1.
11. *Baliuk, S.* Biological degradation of chernozems under irrigation / S. Baliuk, O. Naudyonova // Eurasian Journal of Soil Science. – 2014. – Vol. 3. – P. 267–273.
12. ГСТУ 7874:2015 Охрана почв. Деградация почв. Основные положения. – 7 с.
13. ГСТУ 7872:2015 Охрана почв. Деградация почв. Оценивание химической и физической деградации почв. – 9 с.
14. ДСТУ 7844:2015 Якість ґрунту. Діагностування еколого-генетичного статусу ґрунту. Загальні вимоги. – Київ, 2015. – 6с.
15. Визначний еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України / М.І. Полупан [та ін.]. – Київ, 2005. – 303 с.
16. *Соколов, С.И.* О магниевой солонцеватости почв / С.И. Соколов // Исследования в области генезиса почв. – М., 1963. – С. 203–2016.

17. *Воротинцева, Л.І.* Моніторинг еколого-агроекологічного стану земель Інгулецької зрошувальної системи / Л.І. Воротинцева // Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Зрошуване землеробство». – 2015. – № 65. – С. 122–126.

18. *Брешковский, П.М.* К вопросу о роли обменного магния в явлениях солонцеватости почв / П.М. Брешковский. – Ученые записки Казанского государственного университета. – 1937. – Т. 97. – Кн. 1.

## **TRANSFORMATION OF THE PROPERTIES OF THE DARK-CHESTNUT SOIL UNDER INFLUENCE OF AGRICULTURAL USE AND IRRIGATION**

**L.I. Vorotyntseva**

### **Summary**

The results of the transformation of virgin dark chestnut solonchak soil properties under the influence of agricultural use and prolonged irrigation are presented. Under influence of agricultural development of soils and irrigation the direction of processes is changed, which affects on its properties and ecosystem services that it provides. Changes in the morphological profile of the soil, agrophysical and physicochemical properties have been established. The irrigation by fresh water decreases the content of Na + K from the sum of the absorbed cations to 3,3 % and 2,4 % in the 0–25 and 25–50 cm layers.

*Поступила 12.04.17*

УДК 631.445

## **ВЛИЯНИЕ ОРОГРАФИИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМООБРАЗОВАНИЯ В ЗОНЕ СЕВЕРНОЙ СТЕПИ УКРАИНЫ**

**Н.В. Тютюнник**

*Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского,  
г. Харьков, Украина*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Крупнейшей по величине природной зоной Украины является Северная Степь. Целесообразность выделения этого региона как специфического природного комплекса по тепловому режиму, увлажнению, растительному и почвенному покровам никогда не подлежало сомнению. Северная Степь всегда выделялась как самостоятельная зональная единица при различных районированиях. Если Украина характеризуется значительным разнообразием почвенно-климатических условий, то на территории данной зоны размах колебаний агроклиматических показателей достигает 4–10 раз, что находит адекватное отражение в количестве почв за генетическим статусом. Кроме того, свою долю привносит пестрота почвообразующих пород по литологии и гранулометрии.

Фоновый почвенный покров Северной Степи представлен одним типом почвы – черноземы обыкновенные. Согласно «Методики крупномасштабного исследования почв колхозов и совхозов Украинской ССР» [1], предполагалось его разделение на виды по двум показателям – содержанию гумуса и мощностью профиля. Черноземы обыкновенные Северной Степи занимают значительную площадь – около 11 млн га. Большая протяженность с запада на восток до 1300 км, с севера на юг – 200–300 км обуславливает наличие неоднородной морфоскульптуры, чередование возвышенностей и равнин. На территории Северной Степи распространены отроги Приднепровской и Среднерусской возвышенностей, Приазовская и Донецкая возвышенности, Донецкий кряж, Запорожская равнина и многочисленные террасы. Все это усложняет рельеф местности и его гипсометрический уровень. Необходимо отметить, что абсолютные высоты на территории черноземов обыкновенных колеблются от 60–80 м до 200–350 м над уровнем моря. Значительный перепад высот местности зоны черноземов обыкновенных обуславливает широкий спектр экологических условий почвообразования, а соответственно и качества данных почв.

Рациональное использование земельных ресурсов предполагает наличие информации о качественной оценке почв. Она является приоритетной в современный период реформирования аграрного сектора экономики, перехода на рыночные отношения. Без ее решения невозможно объективно оценить ресурсный потенциал земель, усовершенствовать специализацию сельскохозяйственных производств, установить стоимость земли как товара.

На сегодняшний день вопрос влияния орографического фактора на гидротермические условия в зоне черноземов обыкновенных и качественные параметры морфологических свойств не решен, что определяет актуальность и новизну исследований в данном направлении.

Цель исследований – установление закономерностей влияния гипсометрического уровня местности на параметры морфолого-генетических свойств и плодородие черноземов обычных Северной Степи Украины.

## **МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Методика исследований базируется на принципе адекватности почвенных тел и их свойств к условиям окружающей среды, которая включает сбор и обобщение литературных и фондовых экспериментальных материалов о факторах почвообразования в ее пределах по данным крупномасштабных исследований почв 1957–1961 гг. Оценка увлажненности данного региона осуществлялась по многолетним данным метеопостов и метеостанций. Характеристика черноземов обыкновенных по свойствам проводилась на основании обобщения материалов крупномасштабных и собственных полевых исследований.

Привязку разрезов во время полевых исследований осуществляли прибором глобального позиционирования (GPS) Garmin-12. Показатели свойств почв определяли по общепринятым методам: гранулометрический состав почвы – методом Н.А. Качинского (ГОСТ 4730:2007), содержание органического вещества – ДСТУ 4289:2004, рН солевой и водный – потенциометрическим (ДСТУ ISO 10390-2001), обменную кислотность – ГОСТ 26484-85, гидролитическую кислотность – ГОСТ 26212-91.

Агроклиматические параметры определяли по агроклиматическим справочникам Гидрометеослужбы Украины через климатические критерии: гидротермический коэффициент Селянинова за май – сентябрь ( $ГТК_{V-IX}$ ), сумма осадков за холодный период года (с ноября по март – XI–III месяцы) и их усвоение, – как нормативные показатели увлажненности территории, географии почв, формирования типов почвообразования, интенсивности гумусонакопления [2].

Объектом является почвенный покров территории Северной Степи со специфическими условиями окружающей среды и их географии, согласно парадигмы генетического почвоведения В.В. Докучаева. Общеизвестно о снижении температуры воздуха с высотой в среднем на  $0,6^\circ$  на каждые 100 м, что приводит к улучшению гидротермических условий. Кроме того, высота местности косвенным образом влияет на количество осадков в теплый и холодный периоды.

Также, имеет значение направление господствующих ветров, экспозиция склона поверхности, удаленность от моря, наличие естественных барьеров на пути воздушных масс и т.п. Поэтому, проведен поиск закономерностей связи между высотой местности и увлажнением через ГТК, количеством осадков за холодный период и морфогенетическими свойствами почв, прежде всего параметрами относительного гумусонакопления. Обобщены фондовые материалы и проведены экспериментальные полевые исследования с закладкой почвенных разрезов на разных высотах. Высота местности определена с помощью топографических карт, а в полевых условиях – с помощью прибора GPS. В качестве картографической основы для совершенствования почвенно-экологического районирования использовалась топографическая карта масштаба 1:100000. Проведено усовершенствование границы зоны Северной Степи по высотным данным.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для подтверждения качества и достоверности данных по влиянию орографии на интенсивность черноземообразования в зоне Северной Степи установлена закономерность связи между высотой местности, гидротермическими условиями и параметрами гумусонакопления в черноземах обыкновенных различного гранулометрического состава. Отражены в параметрах гидротермики теплого периода и соответствующих значениях интенсивности гумусонакопления через коэффициент относительной аккумуляции гумуса (соотношение содержания гумуса к 10 % физической глины в слое 0–30 см). Установлена закономерность и пространственная география связи между абсолютными высотами местности, гидротермическими условиями и количеством осадков, определено их влияние на морфологическо-генетические параметры черноземов обычных. Также, выявлена четкая связь между количеством осадков холодного периода (120–210 мм) с гипсометрическим уровнем. Обоснованно параметричность мощности профиля черноземов обыкновенных количеством осадков за холодный период, их усвоения и гранулометрией. Доказано параметричность интенсивности гумусонакопления в черноземах обыкновенных от влагообеспечения в теплый период года через соответствующие значения  $ГТК_{V-IX}$  и их гранулометрического состава.

Северная Степь является равнинной природной зоной, но характеризуется значительным диапазоном абсолютных высот над уровнем моря – от 20–40 м на побережье Азовского моря до 367 м на Донецком кряже. Поэтому она значитель-

но дифференцируется по гидротермическим условиям, что находит отражение в особенностях почвенного покрова. Наличие различных гипсометрических уровней функционально влияет на гидротермический режим территории из-за снижения температуры воздуха с высотой и изменения количества осадков в результате орографически детерминированной циркуляции воздушных масс. В связи с наличием ряда возвышенностей происходит определенное нивелирование влияния широтной зональности, особенно на Левобережье.

Согласно В.В. Докучаеву «грунт» является функцией 5 факторов, каждый из которых равноценен. Среди них важная роль принадлежит климату через фактор увлажнения. В послеэспедиционных работах Докучаев писал: «Замечена тесная связь между рельефом и качеством чернозема – с общим повышением местности увеличивается содержание гумуса в черноземах» [3].

Сегодня высотная дифференциация почв равнинных природных зон установлена для многих регионов, признается существование общего принципа заполнения типами и подтипами почв единицы высоты [4]. При этом вопрос влияния местности непосредственно на свойства почв оставался неизученным.

Согласно литературным источникам приоритетная роль в формировании морфолого-генетических особенностей черноземов близкого гранулометрического состава принадлежит параметрам гидротермических условий в теплый период ( $ГТК_{V-IX}$ ), количеству осадков и их усвоению в холодный период [5].

Обеспеченность влагой и теплом также являются решающими факторами в определении плодородия почвы. Еще агроклиматолог В.П. Дмитренко с соавторами отмечали, что оценка плодородия без учета увлажнения и других климатических особенностей формирования почв мертва. Черноземы обыкновенные Северной Степи формируются в регионах с  $ГТК_{V-IX} = 0,68-0,89$ , где его параметры изменяются от 0,68 на границе с Южной Степью до 0,89 на границе с Лесостепью. Этот широкий диапазон гидротермических условий определяет различную интенсивность почвообразования и непосредственно отражается на свойствах почв и их плодородии. На исследуемой территории выявлены параметры увлажнения и представлены в таблице 1.

Таблица 1

#### Параметры увлажнения зоны Северной Степи

Индекс увлажнения	$ГТК_{V-VII}/ГТК_{VIII-IX}$	Осадки XI-III	Усвояемость осадков XI-III, %	Коэффициент относительной аккумуляции гумуса (КОАГ)
5,3	0,74–0,80/0,57–0,64	120–200	58	0,68±0,01
6,2	0,81–0,90/0,50–0,57	120–140	80	0,69±0,01
6,3	0,77–0,86/0,57–0,64	120–140	65	0,72±0,02
6,3	0,81–0,90/0,57–0,64	120–140	58, 65, 72	0,76±0,03
6,4	0,81–0,90/0,64–0,73	120–200	47, 52, 58, 65, 72	0,85±0,04
7,4	0,91–1,00/0,64–0,73	160–190	72	0,94±0,03
7,4	0,91–0,95/0,64–0,73	120–170	52, 58, 65, 72	0,92±0,02
7,4	0,96–1,00/0,64–0,73	120–160	52, 58, 65	0,97±0,01
7,4	0,98–1,00/0,64–0,73	140–160	52	0,95±0,01
7,5	0,91–1,00/0,74–0,80	160–180	47	0,96±0,01
$У_{гтк} = 0,510 + 1,692x$ (КОАГ)				

Примечание. V–VII – май–июль, VIII–IX – август–сентябрь, XI–III – ноябрь–март.

Приведенные данные свидетельствуют об относительно значительных пространственных параметрических неоднородностях по увлажнению теплого периода. В пределах 10 групп по параметрам увлажнения за этот период оно усложняется количеством осадков в холодный период и их усвоением от 120 до 200 мм, или 47–80 %.

Левобережная часть зоны Северной Степи характеризуется сложной дифференциацией по увлажнению в зависимости от гипсометрического уровня. От нижнего предела зоны в западной части с высотами 70 (80) м, восточной – от 20–60 м до высоты 100 (110) м на побережье Азовского моря и до 140–150 м на южной окраине Запорожской равнины увлажнение 5,3. Севернее этой полосы распространенное увлажнение 6,3 до высот 180–200 м на склонах Приазовской возвышенности и Запорожской равнины до высоты 150–160 м. Данные показатели увлажнения характерны для территориальной равнины Северского Донца с высотами 100–140 м.

Значение ГТК 6,3 свойственно крайней северо-восточной части Луганской области с высотами 100–140 м. Связано это с повышением термического режима вследствие низкого гидротермического уровня, меньшим количеством осадков на 15–20 м при наличии орографических барьеров Среднерусской возвышенности и удаленностью от движения северо-западного циклона.

Увлажнение 6,4 свойственно гипсометрическому уровню 150–170 м Запорожской равнины и юго-восточным отрогам Среднерусской и Донецкой возвышенностям с высотами 180–240 (250) м.

Повышенное увлажнение 7,4 присуще юго-восточным отрогам Среднерусской возвышенности с высотами 170–230 м, а 7,4 – южной части Полтавской равнины с высотами 7,4, а также Донецкому кряжу – 250–350 м.

К востоку от междуречья Днестра до Днепра, указанные выше пределы увлажнения гипсометрически увеличиваются на 10–20 м, отсутствует полоса с показателями увлажнения 7,4, однако в южной части данной территории от границы Северной Степи 75–80 м до высоты 90–100 м очень низкие значения увлажнения (5,3).

Эта местность находится в своеобразной дождевой тени Приднепровской возвышенности, вследствие этого количество осадков за май–сентябрь уменьшается на 20–30 мм. Этот эффект прослеживается на Левобережье, южнее Запорожья в направлении р. Молочная (рис. 1) [6].

Самые высокие параметры увлажнения 7,5 характерны для южных отрогов Среднерусской возвышенности с высотами 140–250 м (повышенное количество осадков при благоприятных условиях поступления атмосферной влаги с северо-западными циклонами).

Отражение неоднородности параметрического увлажнения на просторах Северной Степи – есть профиль чернозема обыкновенного по интенсивности гумусонакопления в нем и его мощность. При этом гумусонакопление обуславливается, главным образом, за счет увлажнения в теплый период. Показателем интенсивности формирования гумуса является КОАГ – коэффициент относительной аккумуляции гумуса, он колеблется от 0,68 при увлажнении 5,3 до 0,99 при 7,4.

Ранее по содержанию гумуса выделялись среднегумусные (более 6 % гумуса, фактически более 5,5 %) и малогумусные (гумуса 4,5–5,5 %), однако в расчет не брался гранулометрический состав.

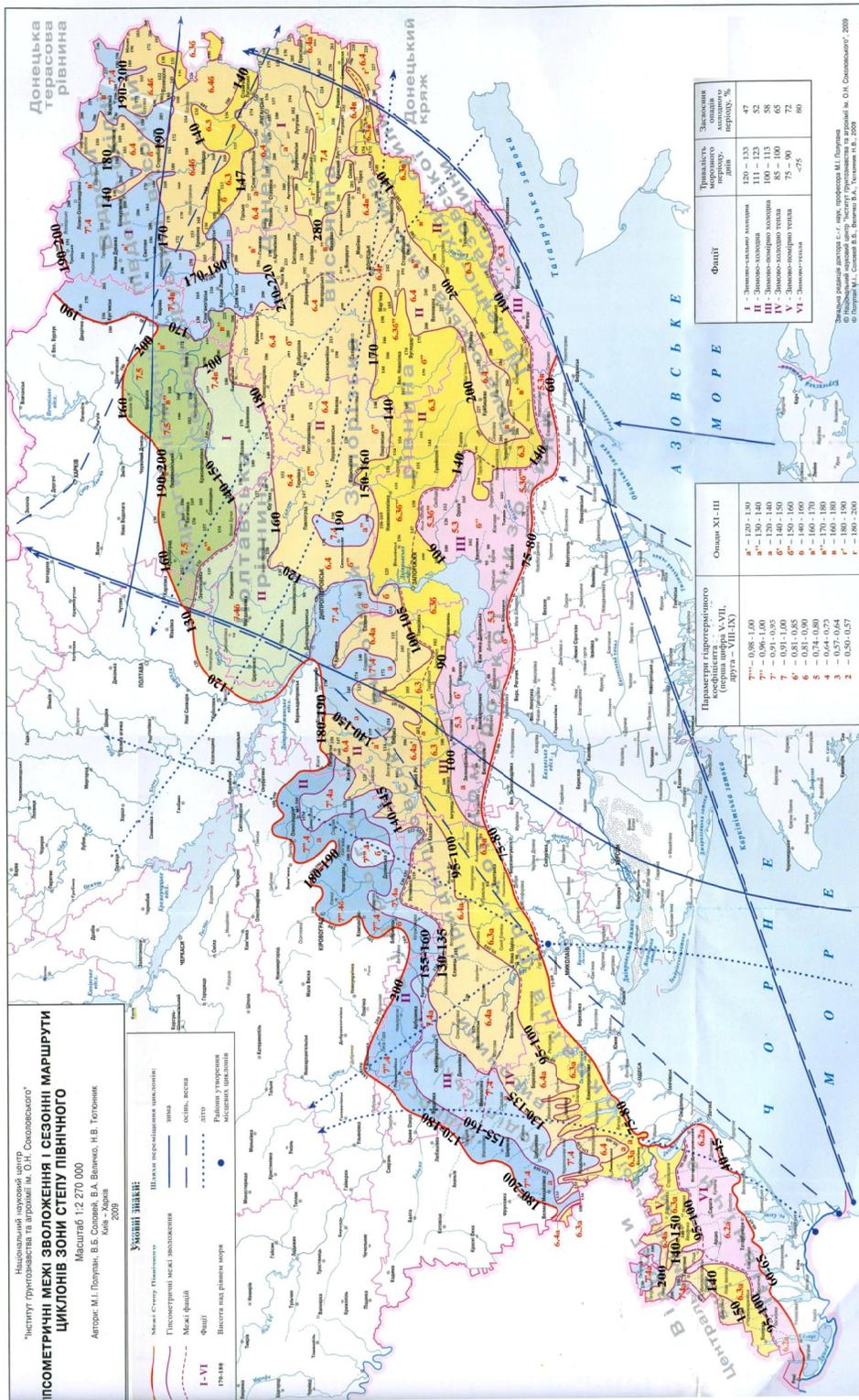


Рис 1. Карта гісометричних границь зони Северній Степи

Черноземы обыкновенные с содержанием физической глины 66–75 %, пространенные в различных подзонах с  $ГТК_{V-IX} = 0,76–0,82$  и  $0,83–0,89$ , автоматически выделялись как среднегумусные глубокие. Разделили их на умеренно хорошогумусоаккумулятивные (КОАГ  $0,90–0,97$ ) северной подзоны и среднегумусоаккумулятивные ( $0,80–0,89$ ), северо-центральной подзоны возможно только с использованием почвенно-экологических гипсометрических границ в зависимости от региона распространения. Только для черноземов обыкновенных среднегумусовых глубоких с содержанием физической глины 61–65 % и 56–60 % однозначно возможно утверждать их аналогичность с черноземами обыкновенными умеренно хорошогумусоаккумулятивными, распространенными в наиболее увлажненной, северной подзоне [5].

Мощность профиля чернозема обыкновенного, как важного показателя энергетики почвообразования и агрономического его потенциала через формирование запасов влаги в холодный период, связана с количеством осадков в данное время и их усвоением. При этом на его параметры влияет гранулометрический состав. В зависимости от комбинации этих трех составляющих выявлено 5 групп экологически детерминированных мощностей профиля черноземов обыкновенных: неглубокий (45–65 см), среднеглубокий (65–85 см), умеренноглубокий (85–105 см), глубокий (105–125 см), повышенноглубокий (125–145 см). Эти фоновые значения характерны для плато.

Черноземы обыкновенные среднегумусные, модальные с глубиной профиля (75–85 см), могут быть умеренно хорошогумусоаккумулятивными или среднегумусоаккумулятивными с содержанием физической глины 66–75 %. Следует отметить, что при содержании физической глины менее 55 % черноземы обыкновенные среднегумусные вообще не выделялись. В связи с этим в рамках одной подзоны по увлажнению отражены различные виды черноземов вследствие различий по гранулометрии, что требует обязательной проверки их подтиповой принадлежности по параметрам коэффициента относительной аккумуляции гумуса.

Черноземы обыкновенные малогумусные глубокие, при содержании физической глины 66–70 %, могут быть только умеренно слабогумусоаккумулятивными и встречаются они преимущественно в приморской части Приазовской возвышенности, где в холодный период выпадает 180–200 мм осадков при усвояемости 58 %, что обуславливает глубокое промокания профиля и формирует соответствующую его мощность. В то же время засушливость теплого периода ( $ГТК_{V-IX} = 0,68–0,75$ ) определяет слабую интенсивность аккумуляции гумуса ( $0,68–0,79$ ). При содержании физической глины 56–65 % черноземы обыкновенные малогумусные глубокие могут быть как умеренно слабогумусоаккумулятивными, так и среднегумусоаккумулятивными.

Особого внимания заслуживает интерпретация черноземов обыкновенных малогумусных глубоких. На первый взгляд, их аналогом должны быть черноземы обыкновенные умеренно слабогумусоаккумулятивные. Однако коррективы вносит гранулометрический состав. При содержании физической глины 61–70 % этот прежний вид черноземов обыкновенных объединяет как умеренно слабогумусоаккумулятивные ( $0,68–0,79$ ), так и среднегумусоаккумулятивные ( $0,80–0,89$ ) подтипы.

Таким образом, установлена тесная функциональная взаимосвязь между показателем КОАГ и  $ГТК_{V-IX}$  ( $R = 0,98$ ). Наличие тесной связи показателя КОАГ и

ГТК дает возможность использовать его для определения  $ГТК_{V-Ix}$  согласно приведенной модели:  $y = -0,510 + 1,692x$ , где  $y$  – КОАГ,  $x$  – количество гумуса в 0–30 см слое почвы. Для этого необходимо рассчитать КОАГ по экспериментальным данным содержания гумуса и физической глины в слое 0–30 см и подставить полученные данные в модель.

На основе параметров связи между орографическими особенностями территории, параметрами гидротермических условий и значениями коэффициента относительной аккумуляции гумуса осуществлена дифференциация Северной Степи на 3 подзоны – южно-центральную засушливую (0,68–0,75), северо-центральную умеренно засушливую (0,76–0,82) и северную недостаточно увлажненную (0,83–0,89). Каждая подзона характеризуется определенной интенсивностью гумусонакопления через параметры коэффициента относительной аккумуляции гумуса каждого спектра структуры почвообразования и соответствующих критериев  $ГТК_{V-Ix}$ . Согласно этих подзональных значений увлажнения осуществлена дифференциация черноземов обыкновенных на 3 подтипа по интенсивности гумусонакопления – умеренно слабогумусоаккумулятивный (0,68–0,79), среднегумусоаккумулятивный (0,80–0,89) и умеренно хорошогумусоаккумулятивный (0,90–0,99) (табл. 2).

Таблица 2

**Подзоны Северной Степи и подтипы черноземов обыкновенных**

Подзона ( $ГТК_{V-Ix}$ )	Индекс увлажнения	Подтипы (КОАГ)
Южно-центральная засушливая (0,68–0,75)	5,3	Умеренно слабогумусоаккумулятивный (0,68–0,79)
	6,2	
	6,3	
Северо-центральная умеренно засушливая (0,76–0,82)	6,4	Среднегумусоаккумулятивный (0,80–0,89)
	7,3	
Северная недостаточно увлажненная (0,83–0,89)	7,5	Умеренно хорошогумусоаккумулятивный (0,90–0,99)
	7,4	

Рельеф, как приоритетный фактор распределения гидротермических условий, влияет также на количество осадков и температурный режим в холодный период. Возвышенности и их отроги являются барьерами на пути циркуляции воздушных масс, обуславливают разную увлажненность черноземов обыкновенных. Как известно Северная Степь тянется на юг от большой оси Воейкова-Броунова. В теплый период года, когда циклоническая деятельность ослабевает, влияние орографии на гидротермику приобретает приоритетное значение, что и определяет характер атмосферной циркуляции воздуха, который проявляется через изменение температурного режима с высотой или через количество осадков.

Снижение температуры в теплый период года происходит пропорционально гипсометрическим уровням. Однако вертикальный градиент ее изменения имеет собственное количественное значение для каждого геоморфологического региона. Его параметры растут от 0,5° на Приазовской возвышенности до 0,8°–0,9° на Донецком кряже, южных отрогах Приднепровской и Среднерусской возвышенностей и до 1,1° на 100 м – на южных отрогах Центрально-молдавской и Подольской

возвышенностей. В свою очередь, значение вертикального градиента – увеличение количества осадков с высотой растут от 0–5 мм на отрогах Центрально-молдавской и Подольской возвышенностей до 15 мм на Приазовской возвышенности, до 15–20 мм – на Левобережье в долине Днепра и Полтавской равнине, до 20 мм в каждые 100 м – на Донецком кряже и отрогах Приднепровской возвышенности.

Для энергетики почвообразования и экономического потенциала земель важное значение имеет влагообеспеченность в зимний период, которое определяется количеством осадков и их усвоением почвой. Отражением этой закономерности является мощность профиля. Ее параметры имеют обратно пропорциональный характер от продолжительности морозного периода.

За холодный период в зоне Северной Степи увлажнение не имеет хорошо выраженной пространственной закономерности относительно высоты местности, однако на Левобережье некоторая тенденция наблюдается. Такое положение вещей обусловлено особенностями циклонической деятельности в данный период [4]. В связи с этим на Правобережной части зоны количество осадков за XI–III месяца составляет 120–140 мм, а на Левобережье такое количество на незначительной площади и приурочена к Донецкой террасной низменности. На востоке Полтавской равнины, Запорожской, на западе Причерноморской низменности, и восточной части юго-восточных отрогов Среднерусской возвышенности выпадает 140–160 мм, а на востоке Причерноморской низменности и Донецкого кряжа – 180–200 мм. На остальной территории восточной части Северной Степи – 160–180 мм. Усвоение осадков почвой, на исследуемой территории, составляет в восточной части 47 %, западной – 80 %. Это находит адекватное отражение в толще профиля черноземов обыкновенных в соответствии глубине ранневесеннего промокания почвы.

Специфической особенностью зоны Северной Степи является наличие большого количества склоновых земель (до 50 %), что обусловлено большим и глубоким расчленением поверхности долинно-балочной системой, вследствие значительного перепада высот.

По данным исследований на склонах выявлено 5 групп черноземов обыкновенных:

1) фоновые – аналогичные плато, незначительное количество, либо отсутствуют;

2) повышено увлажненные, мощность профиля относительно фоновых – 110–130 %, содержание гумуса и параметры КОАГ – 105–115 %;

3) слабоксероморфные – мощность профиля относительно фоновых 75–90 %, гумус и КОАГ – 75–90 %, занимают 65–70 % в структуре почвенного покрова;

4) среднесероморфные – 50–75 %, гумус и КОАГ – 65–75 %, занимают 15–20 %;

5) сильноксероморфные – 30–50 %, гумус и КОАГ – 50–65 %, занимают 5–10 %.

Данные группы не имеют четкой приуроченности к элементу склона. Это связано с тем, что на их формирование влияет экспозиция склона, его форма и крутизна. Осложняется склоновое почвообразование наличием папилляр стока. Согласно литературным источникам – обязательный атрибут склона, как формы формирования и сброса поверхностного стока [8].

В процессе исследования выявлено, что и производительная способность склоновых почв определяется степенью ксероморфности (аридности, засушли-

востии) места их формирования. Установлено, что естественный потенциал по содержанию гумуса в тоннах на гектар уменьшается относительно полнопрофильных почв на слабоксероморфных почвах на 15–25 %, среднесероморфных – на 45–50%, сильноксероморфных – на 65–70 %. Это происходит преимущественно за счет ухудшения увлажнения в местах залегания данных почв.

Таким образом, почвообразование в результате такой неоднородности развиваются по различным факторам, обуславливая формирование различных типов почв по характеру строения профиля и генетических горизонтов и их свойств.

Полученные результаты исследований дают полное представление о ресурсах черноземных почв Северной Степи, как основы их эффективного использования, оценки агроинвестиционной привлекательности, ресурсных возможностей.

## ВЫВОДЫ

Для качественной оценки почвенного покрова и плодородия черноземов обычных зоны Северной Степи Украины изложена оценка влияния гипсометрического уровня местности на параметры увлажнения и через него на свойства данных почв и их плодородие:

1. Почвенный покров Северной Степи в основном представлен одним типом почв – черноземом обыкновенным, который сформировался в широком диапазоне условий увлажнения – ГТК Селянинова за теплый период составляет 0,68–0,89, количество осадков за холодный период – 120–210 мм. В связи с пестротой экологических условий почвообразования черноземы обыкновенные характеризуются соответствующим спектром почвенных свойств, поэтому почвенно-экологические связи являются методологической основой картографирования почвенного покрова зоны.

2. В орографическом аспекте зона Северной Степи характеризуется значительным диапазоном высот местности – от 20–60 м до 367 м над уровнем моря. Закономерное снижение температуры с высотой является приоритетным фактором изменения гидротермических условий и соответственно фактором при подзональном разграничении черноземов обыкновенных. В связи с этим гипсометрический уровень является индикатором подзональных особенностей увлажнения и территориального распространения подтипов этих черноземов.

3. Установлены гипсометрические пределы территориального распространения 3 подтипов черноземов обыкновенных – умеренно хорошогумусоаккумулятивного, среднегумусоаккумулятивного и умеренно слабогумусоаккумулятивного.

4. Доказана зависимость интенсивности гумусонакопления в черноземах обыкновенных от орографически обусловленного влагообеспечения в теплый период года через соответствующие значения ГТК<sub>V-X</sub>. Коэффициент относительной аккумуляции гумуса (КОАГ) отражает увлажнение определенной территории формирования почвы, так как он функционально связан с определенными параметрами ГТК<sub>V-X</sub>. Разработана модель связи между КОАГ (y) и ГТК (x):  $y = -0,510 + 1,692x$ , которая позволяет определить климатические критерии влагообеспечения при отсутствии показателя ГТК.

5. Определено количество ксероморфных почв в составе структуры почвенного покрова склоновых территорий по степени ксероморфности: слабоксероморфные – 65–75 %, среднесероморфные – 15–20 %, сильноксероморфные – 5–10 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика крупномасштабного дослідження ґрунтів і радгоспів Української РСР: методичні рекомендації – Харків: Держсільгоспвидав УРСР, 1958. – 483 с.
2. Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України / М.І. Полупан [та інш.]. – Київ: Колоб'іг, 2005. – 303 с.
3. Звонар, А.М. Діяльність В.В. Докучаєва на Полтавщині / А.М. Звонар // Міжнародна науково-практична конференція «Російський чорнозем». – Київ: 2013. – С. 57–59 (двомовне видання).
4. Крыщенко, В.С. Матричная закономерность в топографии почв / В.С. Крыщенко, А.П. Самохин. – Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального университета, 2008. – 320 с.
5. Полупан, М.І. Класифікація ґрунтів України / М.І. Полупан, В.Б. Соловей, В.А. Величко; під. ред. М.І. Полупана. – Київ: Аграрна наука, 2005. – 300 с.
6. Полупан, М.І. Ресурсний потенціал продуктивності ґрунтового покриву Степу Північного / М.І. Полупан [та інш.] // Вісник аграрної науки. – 2009. – № 12. – С. 12–18.
7. Просторова диференціація зволоження Степу Північного залежно від гіпсометричного рівня місцевості / М.І. Полупан [та інш.] // Вісник аграрної науки. – 2009. – № 5. – С. 33–40.
8. Природний механізм захисту схилів ґрунтів від ерозії / М.І. Полупан [та інш.]. – Київ: Фенікс, 2011. – 144 с.

**OROGRAPHICALLY INFLUENCE  
ON THE INTENSITY OF CHERNOZEM FORMATION  
IN THE ZONE NORTHERN BARRENS OF THE UKRAINE**

**N.V. Tyutyunnik**

**Summary**

The relationship between the set pattern altitude terrain, conditions and parameters of electrothermal humus accumulation in ordinary chernozems of different particle size distribution. Reflected in the parameters of hydrothermal warm period and the corresponding values of the intensity of humus accumulation in using the coefficient of relative accumulation of humus (the ratio of humus to 10 % of physical clay in the layer 0–30 cm). The regularities of geography and spatial relationship between the altitudes of areas, hydrothermal conditions and rainfall, to determine their impact on the parameters of ordinary black morfologogeneticheskie Northern Barrens. A clear relationship between the amount of precipitation of the cold period (120–210 mm) and hypsometric levels. Grounded power profile of the parame – chernozems ordinary rainfall during the cold period, their absorption and particle size. It proved the parame – intensity gumusanakopleniya ordinary in the chernozems of the moisture in the warm season through the respective values  $GTK_{V-IX}$  and their size distribution.

*Поступила 11.04.17*

## **ВЛИЯНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА ДИНАМИКУ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФОРА В ПОЧВАХ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ УВЛАЖНЕНИЯ**

**Ю.Л. Цапко, В.В. Зубковская, А.И. Огородняя**

*Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского,  
г. Харьков, Украина*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Фосфор относится к элементам, которые хорошо поглощаются и удерживаются почвой. Процессы аккумуляции-мобилизации фосфатов тесно связаны с воздействием различных факторов, прежде всего, кислотно-основного режима почвы, содержания и качества органического вещества, гранулометрического состава, наличия подвижных форм поливалентных металлов, количества влаги и температуры почвы, а также доз и способов внесения удобрений и мелиорантов [1].

В Украине большинству разновидностей почв с повышенной кислотностью присущ определенный уровень гидроморфизма. Этот процесс проявляется, как известно, в виде поверхностного или внутрипочвенного переувлажнения (глееватые и глеевые почвы). К настоящему времени о влиянии уровня кислотности почвы (поддающегося точному измерению) на поведение фосфатных ионов в почвенной среде имеется много работ [2–5]. Глееобразование рассматривают как биогеохимический процесс, в котором основным фактором воздействия на минеральный субстрат есть органические соединения кислой природы, образующиеся при ферментации в анаэробных условиях, одно-, двух- и трехосновных высокомолекулярных органических кислот, фульвокислот, аминокислот, фенолов и полифенолов [6, 7].

Ход почвообразовательного процесса в условиях развития гидроморфизма во многом определяется характером и интенсивностью окислительно-восстановительных процессов. Окислительно-восстановительные процессы в почвах влияют на различные режимы и явления в почве, а именно динамику химических элементов, образование и разрушение структурных агрегатов почвы, трансформацию минералогического состава, формирование новообразований (конкреций, псевдофибр т. д), образование специфических горизонтов, разложение и накопление органического вещества, продуктивность естественных ценозов [8].

В научной литературе преобладающее количество работ посвящено проблеме формирования фосфатного режима в кислых почвах автоморфного ряда, вместе с этим, влияние процессов переувлажнения на фосфатный режим почв является недостаточно изученным.

Цель работы – изучение влияния окислительно-восстановительных условий на динамику фосфора в почвах различного генезиса в зависимости от уровня увлажнения.

## МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследований отобрано почвенные образцы с пахотного горизонта почв разного генезиса и лессовая почвообразующая порода на территории Волынской и Львовской областей в границах Западной провинции зоны Полесья.

Имитацию течения глеевых процессов осуществляли путем проведения лабораторного модельного опыта. Для этого были использованы колонки диаметром 8,5 см и высотой 27,5 см, которые заполняли воздушно-сухой почвой в количестве 0,5 кг на одну колонку. Для активизации микробиологической деятельности и глеевого процесса в почвенную массу добавляли глюкозу.

Схема опыта следующая:

1. Оптимальное увлажнение (контроль, без фосфорной добавки);
2. Оптимальное увлажнение (добавка фосфора 5 мг/100 г почвы);
3. Переувлажнение (контроль, без фосфорной добавки);
4. Переувлажнение (добавка фосфора 5 мг/100 г почвы).

Фосфор вносили в виде хорошо растворимой соли дигидрофосфата калия ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ). Почвенная масса компостировалась в течение девяти месяцев при  $t_{\text{const}}$  28 С. В полученных, после компостирования, образцах почвы определяли подвижные формы фосфатов и железа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Процессы восстановления и окисления в почве находятся в постоянном динамическом равновесии в зависимости от изменения факторов почвообразования – при усилении одного ослабляется другой. Эти процессы являются антагонистически направленными друг против друга. В почвах поверхностного гидроморфизма контрастность и уровень окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) слишком выражены, что существенно влияет на формирование и функционирование фосфатного режима.

Следует отметить, что весомым критерием степени развития глеевых процессов является именно окислительно-восстановительный потенциал, который зависит от условий аэрации и химических свойств почвы. Моделирование глеевого процесса позволило установить характер развития восстановительных процессов в условиях переувлажнения светло-серой лесной поверхностно оглеенной, дерново-подзолистой легкосуглинистой, дерново-подзолистой глеевой легкосуглинистой почв и лессовой почвообразовательной породы (рис.).

Установлено снижение показателя ОВП, что указывает на усиление восстановительных процессов под влиянием переувлажнения (100 % от ПВ) на всех исследованных вариантах опыта. При оптимальном увлажнении (65 % от ПВ) наблюдаются высокие значения ОВП, что свидетельствует о преобладании окислительных процессов в почве. Так, например, окислительно-восстановительный потенциал на варианте без внесения удобрений в условиях переувлажнения светло-серой лесной поверхностно оглеенной почвы составляет 142 мВ, тогда как на таком же варианте с оптимальным увлажнением, значение ОВП повысилось до уровня 594 мВ. Аналогичная закономерность имеет место и на других исследованных почвенных разновидностях, в частности: от 171 до 512 мВ на переувлажненной и

оптимально увлажненной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (залежь); от 168 до 520 мВ в пахотном слое дерново-подзолистой глеевой легкосуглинистой почвы; от 126 до 378 мВ в лессовой почвообразующей породе.

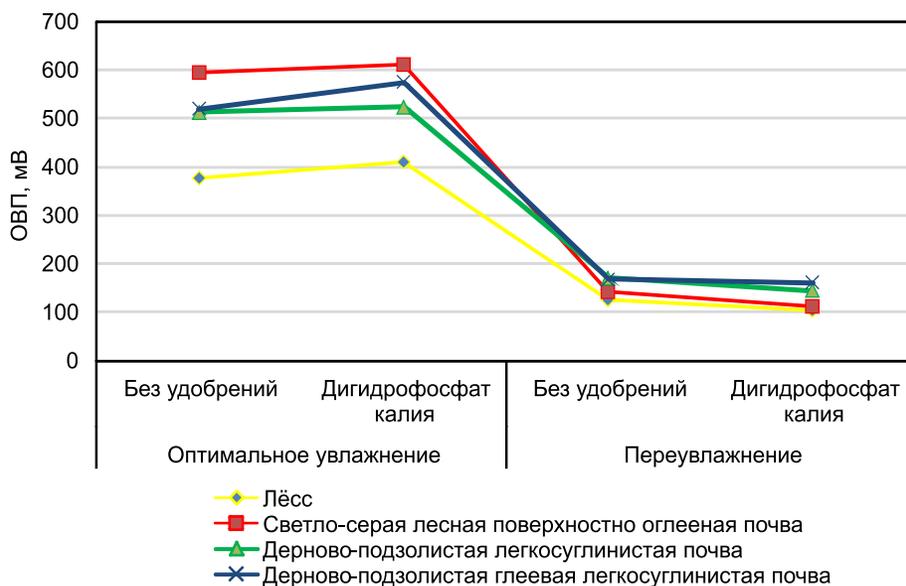


Рис. Влияние увлажнения на окислительно-восстановительный потенциал (ОВП)

Вместе с этим, внесение фосфора в виде дигидрофосфата калия ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ), а также изменение кислотно-основного равновесия почвы не повлияли на показатель окислительно-восстановительного потенциала. Однако в условиях переувлажнения отмечается резкое снижение показателя ОВП, в варианте с оптимальным увлажнением светло-серой лесной поверхностно оглеенной почвы он составил 612 мВ, а в варианте с переувлажнением – 112 мВ. Таким образом, в процессе исследования установлена значительная разница показателей окислительно-восстановительного потенциала при различных условиях увлажнения.

Одновременно с изучением показателя окислительно-восстановительных процессов мы проводили наблюдение за поведением закисных соединений железа, которые также характеризуют окислительно-восстановительное состояние почв. В работах Ф.Г. Зайдельмана [9] было предложено использовать именно количественную величину доли закисного железа в суммарном содержании железа ( $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

В результате изучения влияния увлажнения на количество подвижных (закисных) форм железа нами установлено, что в условиях переувлажнения почвы происходит перегруппировка пула железа в пользу его закисных форм (табл. 1).

Исследования показали, что в условиях переувлажнения (100 % от ПВ) наблюдается увеличение суммарного содержания свободных (не силикатных) форм железистых соединений во всех исследованных почвах. Синхронно с повышением свободных форм, при переувлажнении, установлено и значительное увеличение реакционно-активных закисных форм железа –  $\text{Fe}^{2+}$ , количество которых в кон-

трольном варианте светло-серой лесной поверхностно оглеенной почвы в аэробных условиях находится на уровне всего лишь 0,8 мг/100 г почвы, а в анаэробных – 84 мг/100 г почвы. Аналогичная закономерность прослеживается и на других исследованных почвенных разновидностях соответственно: 3,0 и 97,0 мг/100 г в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве; 2,6 и 33,0 мг/100 г в дерново-подзолистой глеевой легкосуглинистой почве и 2,8 и 68,0 мг/100 г в лессовой почвообразующей породе.

Таблица 1

**Влияние степени увлажнения на изменения содержания закисных форм железистых соединений в почвах различного генезиса, мг/100г**

Вариант	Оптимальное увлажнение (65 % ПВ)		Переувлажнение (100 % ПВ)	
	FeO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	FeO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO
<i>Лёсс</i>				
1. Контроль (без удобрений)	20,8	4,4	87,0	69,0
2. КН <sub>2</sub> РО <sub>4</sub>	15,6	2,8	73,0	68,0
<i>Светло-серая лесная поверхностно оглеенная почва</i>				
1. Контроль (без удобрений)	25	0,8	90,0	84,0
2. КН <sub>2</sub> РО <sub>4</sub>	7	0,4	76,0	56,0
<i>Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва</i>				
1. Контроль (без удобрений)	16,8	3,0	117,0	97,0
2. КН <sub>2</sub> РО <sub>4</sub>	6,8	1,4	99,0	87,0
<i>Дерново-подзолистая глеевая легкосуглинистая почва</i>				
1. Контроль (без удобрений)	13,6	2,6	33,0	32,0
2. КН <sub>2</sub> РО <sub>4</sub>	6,8	1,6	25,0	20,0

Следует отметить, что в варианте с внесением фосфора в виде дигидрофосфата калия (КН<sub>2</sub>РО<sub>4</sub>), наблюдается аналогичная закономерность перераспределения железа. Так, количество закисного железа в вариантах с внесением фосфора в светло-серой лесной поверхностно оглеенной почве в условиях переувлажнения составляет 56 мг/100г, а в условиях оптимального увлажнения содержание Fe<sup>2+</sup> снизилось до мизерного значения – всего лишь 0,4 мг/100 г почвы.

Итак, результатами нашего исследования подтверждено, что в условиях переувлажнения происходит резкое увеличение подвижных (закисных) форм железа во всех вариантах опыта. Таким образом, можно утверждать, что увеличение закисных форм железа является важным диагностическим признаком интенсивности развития восстановительных процессов в почвенной среде.

Ранее доказано, что в условиях переувлажнения почвы наблюдается увеличение подвижности фосфора за счет фиксации закисными формами железа и усиление их миграционной способности в виде органо-минеральных соединений [10]. Изменение поведения фосфора подтверждено и результатами наших исследований. Привлекают внимание результаты изменения подвижных форм фосфора под влиянием переувлажнения почв, прежде всего, в вариантах без удобрений и с внесением дигидрофосфата калия. В лессовой почвообразующей породе и на

всех исследуемых нами почвах без внесения удобрений, зафиксирована более высокая мобилизация фосфатных ионов, чем в вариантах с внесением дигидрофосфата калия (табл. 2).

Таблица 2

**Изменение содержания подвижных форм фосфора  
при различных условиях увлажнения, мг/кг**

Вариант	Почва			
	Лёсс	светло-серая лесная поверхностно оглеенная	дерново- подзолистая легкосуглинистая	дерново- подзолистая глеевая легкосуглинистая
<i>Оптимальное увлажнение</i>				
1. Контроль (без удобрений)	14,6	13,2	36,3	32,9
2. (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )	25,4	31,5	49,7	47,5
<i>Переувлажнение</i>				
1. Контроль (без удобрений)	24,5	20,3	42,6	38,1
2. (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )	13,1	18,6	39,5	32,8

Так, в варианте с оптимальным уровнем увлажнения в светло-серой лесной поверхностно оглеенной почве содержание подвижных форм фосфатов составляет 13,2 мг/кг, а при переувлажнении их количество увеличивается до 20,3 мг/кг. Данная закономерность имеет место и на других исследованных почвенных разновидностях соответственно: 36,3 и 42,6 мг/кг в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве; 32,9 и 38,1 мг/кг в дерново-подзолистой глеевой легкосуглинистой почве; 14,6 и 24,5 мг/кг в лессовой почвообразующей породе.

Установлено различное содержание подвижных форм фосфатных ионов при внесении дигидрофосфата калия (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>). Так, в светло-серой лесной поверхностно оглеенной почве в условиях переувлажнения на варианте контроля (без применения фосфорных удобрений) содержание подвижных форм фосфатов составляет 20,3 мг/кг почвы, а при внесении фосфора снижается до 18,6 мг/кг. Аналогичная закономерность наблюдается и при переувлажнении на других исследуемых разновидностях почв.

Объяснение такого парадоксального явления мы нашли в работе А.Ю. Кудяровой [11], где отмечено, что при увеличении соединения ортофосфатных ионов в почвенном растворе возрастает способность их к образованию устойчивых комплексов, особенно с активными металлами. Можно предположить, что превышение соответствующего порога концентрации ортофосфорной кислоты (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) приводит к ее трансформации в полифосфорную.

Подводя итог, можно утверждать, что в условиях переувлажнения наблюдается ухудшение фосфатного состояния почв. Это происходит за счет накопления значительного количества закисного железа, которое аккумулирует фосфатные ионы и может образовывать труднорастворимые железофосфатные соединения.

## ВЫВОДЫ

Переувлажнение почвы приводит к изменению окислительно-восстановительного равновесия в сторону развития восстановительных процессов. В этих условиях, из-за мобилизации реакционно активных закисных форм железа происходит ухудшение фосфатного состояния почвы, за счет фиксации фосфатных ионов в недоступные для растений формы. Вместе с этим, при контрастных изменениях окислительно-восстановительных условий возможна их аккумуляция в конкреционные новообразования. Именно поэтому, среди мер по оптимизации фосфатного состояния почв гидроморфного ряда необходимо уделять особое внимание регулированию их водно-воздушного режима, что достигается глубоким мелиоративным рыхлением, закладкой гончарных дрен, гребнево-грядовой технологией, фитомелиорацией, технологией локальной мелиорации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Трускавецький, Р.С.* Мобілізація фосфору фосфоритів під впливом технології локального окультурення ґрунту / Р.С. Трускавецький, Ю.Л. Цапко, Н.Ф. Чешко // *Агрохімія і ґрунтознавство*. – 2002. – Вип. 63. – С. 67–72.
2. К вопросу оптимизации фосфатного режима дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв / Н.А. Кирпичников [и др.] // *Агрохимия*. – 1993. – № 8. – С. 12–20.
3. *Кобзаренко, В.И.* Известкование и мобилизация фосфатов дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности / В.И. Кобзаренко // *Агрохимия*. – 1999. – № 6. – С. 5–15.
4. *Адрианов, С.Н.* Изменение содержания подвижных фосфатов и степени их подвижности в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в зависимости от уровня применения минеральных удобрений, навоза и известкования / С.Н. Адрианов // *Агрохимия*. – 2000. – № 10. – С. 5–14.
5. *Витковская, С.Е.* Динамика кислотности почвы и содержания подвижных форм кальция, калия и фосфора при использовании компоста из твердых бытовых отходов / С.Е. Витковская, В.Ф. Дричко // *Почвоведение*. – 2004. – № 5. – С. 596–603.
6. Природоохоронне та ефективно використання осушуваних органогенних ґрунтів гумідної зони: методичні рекомендації / І.Т. Слюсар [та ін.]. – Київ, 2014. – 79 с.
7. *McLaughlin, M.H.* Phosphorus cycling in wheat-pasture rotation. 1. The source of phosphorus taken up by wheat / M.H. McLaughlin, A.M. Alston, J.K. Martin // *Aust. J. Soil Res.* – 1988. – № 26. – P. 323–331.
8. *Зайдельман, Ф.Р.* Почвы полесий – генезис, гидрология, мелиорация и использование / Ф.Р. Зайдельман // *Почвоведение*. – 2001. – № 8. – С. 981–991.
9. *Зайдельман, Ф.Р.* Морфоглеогенез, его визуальная и аналитическая диагностика / Ф.Р. Зайдельман // *Почвоведение*. – 2004. – № 4. – С. 389–398.
10. *Фокин, А.Д.* Исследование миграции фосфора в подзолистой почве / А.Д. Фокин, А.В. Аргунова // *Почвоведение*. – 1974. – № 4. – С. 66–79.
11. *Кудеярова, А.Ю.* Педогеохимия орто- и полифосфатов в условиях применения удобрений / А.Ю. Кудеярова. – М.: Наука, 1993. – 240 с.

**EFFECT OF OXIDATIVE-REDUCTION CONDITIONS  
ON THE PHOSPHORUS DYNAMICS IN SOILS OF DIFFERENT GENESIS  
DEPENDING ON THE LEVEL OF MOISTURE**

**Yu.L. Tsapko, V.V. Zubkovskaya, A.I. Ogorodnyaya**

**Summary**

The results of study of the effect of oxidation-reduction conditions on the behavior of phosphorus in acidic soils of different genesis depending on the level of moistening are presented. It has been shown that excessive moisture of the soil leads to a sharp change in the oxidation-reduction equilibrium towards the development of regenerative processes. Studies confirmed that under conditions of waterlogging, a sharp increase in the mobile (ferrous) forms of iron occurs in all variants of the experiment. Thus, it can be argued that the increase in ferrous forms of iron is an important diagnostic sign of the intensity of development of regenerative processes in the soil environment. The mobilization of reactive ferrous forms leads to a deterioration of the phosphate state of the soil, due to the fixation of phosphate ions in forms inaccessible to plants. Together with this, with contrasting changes in oxidation-reduction conditions, it is possible to accumulate them into nodules.

*Поступила 11.04.17*

## **2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ**

УДК 631.582:631.631.442

### **ВЛИЯНИЕ СЕВООБОРОТОВ И СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ЭРОДИРОВАННОСТИ**

**Е.Н. Богатырева, Т.М. Серая, О.М. Бирюкова**

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

#### **ВВЕДЕНИЕ**

В Республике Беларусь наиболее распространенным видом деградации почв является эрозия, что обусловлено совокупностью как природно-климатических факторов (рельеф, геоморфология, генезис почвообразующих пород, климат и т.п.), так и хозяйственной деятельностью человека, способствующей вовлечению в пахотные земли участков, расположенных на склонах. Наиболее интенсивно водно-эрозионные процессы протекают в северной и центральной почвенно-экологических провинциях, имеющих возвышенный и пересеченный рельеф со сложным морфологическим строением, где распространены моренные и лессовидные суглинки. Общая площадь земель с потенциально возможным смывом в республике составляет более 1,4 млн га, на пахотных землях эродированные почвы занимают около 480 тыс. га (9 % от общей площади) [1].

Развитие эрозионных процессов ухудшает функционирование почвы как специфического природного тела и компонента экосистемы, что приводит к снижению ее плодородия и продуктивности. Ежегодные потери гумуса на почвах, подверженных эрозии, составляют 150–180 кг/га, азота – 8–10 кг/га, фосфора и калия – 5–6 кг/га при недоборе урожая сельскохозяйственных культур на уровне 15–50 % по сравнению с незеродированными аналогами [2].

Вопросам изучения воздействия эрозии на водно-физические, биологические и агрохимические свойства эродированных почв, а также их противоэрозионной устойчивости и разработке агротехнических мероприятий по борьбе с эрозией, обеспечивающих восстановление плодородия смытых почв и повышение урожайности возделываемых на них культур в нашей республике посвящено большое количество исследований как в прошлом столетии [3–6], так и на современном этапе [7–16]. Разработаны методические подходы и принципы формирования противоэрозионных комплексов в условиях республики, включающие почвенно-экологическое районирование, количественную оценку эрозионной опасности, выделение агротехнологических групп земель и применение элементов почвозащитного земледелия на основе нормативной оценки их противоэрозионной роли [17–19].

При этом следует отметить, что в условиях интенсивной антропогенной нагрузки возрастает актуальность изучения гумусного состояния эродированных почв, поскольку гумус и его составляющие играют огромную роль в формировании плодородия почв и регулировании экологических функций, обуславливающих устойчивость агроценозов и биосферы в целом. Работы по данной тематике были выполнены многими учеными [20–24]. В Республике Беларусь в последние годы исследований в этом направлении практически не проводилось.

Цель исследований – установить влияние различных севооборотов и систем удобрения на гумусное состояние дерново-подзолистых суглинистых почв разной степени эродированности.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены на опытном стационаре «Браслав» в СПК «Межаны» Витебской области. Опыт заложен в условиях северной почвенно-экологической провинции республики на дерново-подзолистых суглинистых, сформированных на мощных моренных суглинках, почвах разной степени эродированности. Почвы опыта представлены единой почвенно-эрозионной катеной: на водораздельной равнине расположена неэродированная почва, в верхней части склона – слабоэродированная, в средней – средне- и сильноэродированная почвы. Склоны северо-восточной экспозиции крутизной 5–7°. Общая площадь делянки на водораздельной равнине – 50 м<sup>2</sup>, в верхней и средней частях склона – 40 м<sup>2</sup>.

На разной степени эродированных дерново-подзолистых почвах в 2006–2010 гг. использовали кормовой (доля зерновых – 20 %) и зернотравяной (доля зерновых – 60 %) севообороты с нормативами противоэрозионной способности ( $H_3$ ) 0,93 и 0,79 соответственно. В зернотравяном севообороте возделывали викоовсяную смесь на зеленую массу (з.м.), яровую пшеницу, викоовсяную смесь (з.м.), озимую пшеницу, горох на зерно; в кормовом – яровую пшеницу, горохово-овсяную смесь с подсевом многолетних бобовых трав (люцерна + клевер), многолетние бобовые травы 1-го года пользования (г.п.), многолетние бобовые травы 2-го г.п., многолетние бобовые травы 3-го г.п.

В обоих севооборотах применяли минеральную и органо-минеральную системы удобрения. В кормовом севообороте за ротацию доза минеральных удобрений составила  $N_{140}P_{320}K_{540}$ , в зернотравяном –  $N_{210}P_{290}K_{520}$ . Подстилочный навоз крупного рогатого скота в дозе 30 т/га в кормовом севообороте внесен под пшеницу яровую, в зернотравяном – в дозах по 30 т/га под пшеницу яровую и озимую.

До закладки опыта пахотный слой дерново-подзолистых суглинистых почв имел следующие агрохимические характеристики:  $pH_{KCl}$  – 6,0–6,3, содержание гумуса – 1,48–2,10 %,  $P_2O_5$  – 140–277 мг/кг,  $K_2O$  – 122–184 мг/кг почвы.

В опыте минеральные удобрения в виде аммонизированного суперфосфата и хлористого калия вносили под ранневесеннюю культивацию; азотные в виде карбамида в зависимости от культуры вносили под предпосевную культивацию и в подкормки.

Почвенные образцы для анализа отобраны из пахотного слоя (0–20 см) в трехкратной повторности после окончания ротации севооборотов. В почвенных образцах обменную кислотность  $pH_{KCl}$  определяли по ГОСТ 26483–85, содержание гумуса – по ГОСТ 26213–91; подвижных форм фосфора и калия – по ГОСТ

26207–91; фракционно-групповой состав гумуса – по методу Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой [25]. Гумусное состояние почв оценивали по системе показателей согласно Д.С. Орлову с соавторами [26]. На основе многолетних исследований М.Ф. Овчинникова [27] для характеристики трансформации гумусовых веществ в дерново-подзолистых почвах под влиянием антропогенной нагрузки обосновала целесообразность применения показателей  $C_{ГК-1}/C_{ФК-1}$  и  $C_{ГК-2}/C_{ФК-2}$  для условной оценки интенсивности процесса гумификации на разных стадиях формирования гуминовых кислот. По мнению автора, в этих почвах отношение  $C_{ГК-1}/C_{ФК-1}$  можно рассматривать как отражение первого этапа гумификации, или процесса новообразования гуминовых кислот, а отношение  $C_{ГК-2}/C_{ФК-2}$  является отчетливым отражением второй стадии гумификации, для которой характерен процесс полимеризации и усложнения гумусовых структур, или формирования гуматов. Математическая обработка экспериментального материала проведена дисперсионным методом с использованием программы MS Excel 2010.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

В незеродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах расчет долевого участия отдельных фракций гуминовых кислот в их общем количестве позволил установить, что на долю ГК-1 и ГК-3 приходилось по 38 % от суммы гуминовых кислот, на долю ГК-2 – 24 % (табл. 1). В соответствии с показателями гумусного состояния почв уровень содержания 1-й и 2-й фракций гуминовых кислот можно охарактеризовать как низкий, 3-й фракции – как высокий. В составе фульвокислот доминирующая роль принадлежала фракции ФК-1, долевого участия которой в сумме фульвокислот составило 40 %. Доля кислоторастворимой фракции ФК-1а была минимальной, достигая в среднем 16 %, что в 2,5 раза меньше, чем содержание ФК-1. Согласно системе показателей содержание «агрессивных» фульвокислот оценивалось как низкое.

В количественном отношении в незеродированных почвах преобладали гуминовые кислоты над фульвокислотами, вследствие чего отношение  $C_{ГК}/C_{ФК}$  было больше единицы, достигая 1,14–1,23, что характеризовало тип гумуса как фульватно-гуматный с высокой степенью гумификации органического вещества при органо-минеральной системе удобрения и средней – на фоне минеральных удобрений (табл. 2).

В эродированных разновидностях по мере увеличения смывости почв наблюдалось снижение содержания всех фракций гуминовых и фульвокислот при более интенсивном уменьшении последних. Анализ показал, что если суммарное содержание гуминовых кислот в эродированных почвах уменьшилось на 8–38 % относительно незеродированных аналогов, то фульвокислот – на 9–54 %. Отношение  $C_{ГК}/C_{ФК}$  в дерново-подзолистых почвах разной степени эродированности стало шире, достигая 1,20–1,55. Однако нельзя говорить о том, что процесс гумусообразования в этих почвах протекал в гуматном направлении, поскольку их отличительной особенностью независимо от применяемых севооборотов и систем удобрения являлось наблюдаемое уменьшение уровня накопления гуминовых кислот, что указывало на негативные изменения качественного состава гумуса.

Таблица 1

**Влияние севооборотов и систем удобрения на фракционный состав гумуса разной степени эродированных дерново-подзолистых почв**

Вариант	Степень эродированности	C <sub>общ.</sub> , % к почве	Фракц гуминовых кислот			Фракции фульвокислот			
			1	2	3	1а	1	2	3
<i>Кормовой севооборот (доля зерновых – 2 %)</i>									
Подстилочный навоз, 30 т/га + N <sub>140</sub> P <sub>320</sub> K <sub>540</sub>	Неэродированная	1,25	1436	955	1459	468	1210	775	687
	Среднеэродированная	1,16	1331	887	1333	441	1093	704	615
	Сильноэродированная	1,08	1236	816	1233	381	1008	641	565
N <sub>140</sub> P <sub>320</sub> K <sub>540</sub>	Неэродированная	1,19	1310	877	1359	505	1207	694	628
	Среднеэродированная	1,08	1158	785	1207	416	1061	608	539
	Сильноэродированная	1,00	1055	713	1101	298	922	549	477
<i>Зерноотравной севооборот (доля зерновых – 6 %)</i>									
Подстилочный навоз, 60 т/га + N <sub>210</sub> P <sub>290</sub> K <sub>520</sub>	Неэродированная	1,21	1418	898	1382	483	1211	724	634
	Среднеэродированная	1,02	1108	728	1095	327	852	539	424
	Сильноэродированная	0,97	972	635	967	257	730	433	352
N <sub>210</sub> P <sub>290</sub> K <sub>520</sub>	Неэродированная	1,13	1264	773	1308	485	1177	645	627
	Среднеэродированная	0,91	908	575	965	238	701	441	335
	Сильноэродированная	0,86	785	494	805	172	599	327	249
НСР <sub>05</sub> фактор А (степень эродированности почвы)		0,10	115	82	130	45	120	73	74
НСР <sub>05</sub> фактор Б (севооборот)		0,09	47	75	88	33	41	68	55
НСР <sub>05</sub> фактор В (удобрение)		0,08	130	91	105	23	83	61	45

*Примечание.* Над чертой – мг С/кг почвы; под чертой – % к общему углероду почвы (C<sub>общ.</sub>).

Таблица 2

**Влияние севооборотов и систем удобрения на состав и соотношение групп и фракций гумусовых веществ дерново-подзолистых почв разной степени эродированности**

Вариант	Степень эродированности	Степень гумификации, %	$\frac{С_{ПК}}{С_{ФК}}$	$\frac{С_{ПК1}}{С_{ФК1}}$	$\frac{С_{ПК2}}{С_{ФК2}}$
<i>Кормовой севооборот (доля зерновых – 20 %)</i>					
Подстилочный навоз, 30 т/га + N <sub>140</sub> P <sub>320</sub> K <sub>540</sub>	Неэродированная	30,9	1,23	1,19	1,23
	Среднеэродированная	30,6	1,24	1,22	1,26
	Сильноэродированная	30,3	1,27	1,23	1,27
N <sub>140</sub> P <sub>320</sub> K <sub>540</sub>	Неэродированная	29,8	1,17	1,08	1,26
	Среднеэродированная	29,0	1,20	1,09	1,29
	Сильноэродированная	28,6	1,28	1,14	1,30
<i>Зерноотравной севооборот (доля зерновых – 60 %)</i>					
Подстилочный навоз, 60 т/га + N <sub>210</sub> P <sub>290</sub> K <sub>520</sub>	Неэродированная	30,5	1,21	1,17	1,24
	Среднеэродированная	28,9	1,37	1,30	1,35
	Сильноэродированная	26,6	1,45	1,33	1,47
N <sub>210</sub> P <sub>290</sub> K <sub>520</sub>	Неэродированная	29,6	1,14	1,07	1,20
	Среднеэродированная	26,9	1,43	1,30	1,30
	Сильноэродированная	24,3	1,55	1,31	1,51

Увеличение показателей  $C_{ГК-1}/C_{ФК-1}$  и  $C_{ГК-2}/C_{ФК-2}$  на эродированных почвах также не свидетельствовало об интенсивности процесса гумификации на разных стадиях формирования гуминовых кислот. По мнению М.Ф. Овчинниковой [27], на смытых почвах показатель  $C_{ГК-2}/C_{ФК-2}$  является недостаточно информативным для оценки интенсивности процесса полимеризации гумусовых структур и формирования гуматов. По результатам наших исследований целесообразность использования показателя  $C_{ГК-1}/C_{ФК-1}$  для оценки напряженности процесса новообразования гуминовых кислот и формирования их подвижных форм в разной степени эродированных дерново-подзолистых почвах также требует дополнительных исследований.

Определение особенностей изменения состояния гумусовых систем эродированных почв при сопоставлении характеристик в совокупности показало, что в долевым выражении содержание отдельных фракций гуминовых кислот от их суммы характеризовалось равновеликими величинами и не уступало аналогичным показателям, полученным в неэродированных почвах. Эродированные почвы, также как и их неэродированные аналоги, характеризовались низкой долей ГК-1 и ГК-2 при высоком доле участия ГК-3, тип гумуса по характеру признака, по-прежнему, оставался фульватно-гуматным. Уровень содержания ФК-1а классифицировался как низкий.

При оценке влияния различных севооборотов на гумусное состояние разной степени эродированных дерново-подзолистых почв установлено, что кормовой севооборот являлся более действенным фактором повышения их эрозионной устойчивости по сравнению с зернотравяным и, как следствие, оказывал лучшее влияние на гумусовый комплекс. Результаты исследований показали, что в кормовом севообороте в абсолютном выражении потери ГК-1 в эродированных почвах по сравнению с несмытыми составили 105–255 мг/кг, ГК-2 – 68–164 мг/кг против 310–479 мг/кг и 170–279 мг/кг соответственно в зернотравяном севообороте.

Более четкое различие между двумя севооборотами по влиянию на качественный состав гумуса эродированных почв прослеживается при сопоставлении относительного участия фракций гуминовых кислот в составе гумуса. Относительное содержание всех фракций гуминовых кислот в эродированных разновидностях в кормовом севообороте фактически было на уровне их содержания в неэродированных почвах. Характерным признаком положительного влияния этого севооборота на гумусное состояние эродированных почв являлось отсутствие заметных изменений в содержании наиболее агрономически ценной фракции ГК-2 (7,1–7,6 % в эродированных разновидностях против 7,4–7,7 % в неэродированных почвах). В зернотравяном севообороте выявлено уменьшение относительного содержания ГК-2 в зависимости от степени эродированности до 5,8–7,2 %, что можно рассматривать как отрицательный показатель при характеристике качества гумуса.

На большую устойчивость гумусовой системы при использовании кормового севооборота указывало практически полное отсутствие различий в степени гумификации и показателях  $C_{ГК-1}/C_{ФК-1}$  и  $C_{ГК-2}/C_{ФК-2}$  между неэродированными почвами и их эродированными разновидностями. В зернотравяном севообороте снижение признака гуматности гумуса диагностировано уменьшением степени гумификации в эродированных почвах до уровня 24,3–28,9 % против 29,6–30,5 % в дерново-подзолистых почвах, не подверженных эрозии. Общим признаком эродированных почв при использовании зернотравяного севооборота являлось также увеличение

показателей количественного соотношения первой и второй фракций ГК с соответствующими фракциями ФК на 8–26 %, что в условиях уменьшения содержания ГК-1 и ГК-2, по-видимому, свидетельствовало о меньшей эффективности этого севооборота по предотвращению потерь фульвокислот. Отмечая зависимость напряженности процесса гумификации на разных стадиях формирования гуминовых кислот в эродированных разновидностях от применяемых севооборотов, мы подразумеваем не столько их прямое влияние на этот процесс, а в большей мере воздействие на эрозионную стойкость этих почв, поскольку на склоновых землях специфика гумусообразования сильно зависит от интенсивности смыва гумусовых веществ.

Применение разных систем удобрения оказало неравнозначное влияние на состояние гумуса дерново-подзолистых почв разной степени эродированности. Определено, что на фоне органо-минеральной системы удобрения суммарное содержание гуминовых кислот в абсолютном выражении в зависимости от используемого севооборота составило 2574–3850 мг/кг, что на 305–490 мг/кг было выше по сравнению с минеральной системой удобрения. При этом установлено, что потери гуминовых и фульвокислот на средне- и сильноэродированных почвах при одностороннем внесении минеральных удобрений на 12–32 % и 24–45 % соответственно превышали аналогичные величины на фоне органо-минеральной системы удобрения. В относительном выражении для органо-минеральной системы удобрения также характерно более высокое содержание гуминовых кислот в составе гумуса в сравнении с минеральной. Наиболее показательным это влияние отражено в зернотравяном севообороте: при органо-минеральной системе удобрения суммарный выход гуминовых кислот в эродированных разновидностях уменьшился на 1,6–3,9 %, фульвокислот – на 4,1–6,9 % по сравнению с незэродированной почвой; при минеральной системе удобрения – на 3,0–5,3 и 7,1–10,2 % соответственно. Закономерно, что при использовании органо-минеральной системы удобрения качественный состав гумуса характеризовался лучшими показателями, на что указывают, в первую очередь, более высокие показатели по содержанию ГК-2 и степени гумификации органического вещества. Следует отметить, что рассчитанные нами величины соотношений  $C_{ГК-1}/C_{ФК-1}$  и  $C_{ГК-2}/C_{ФК-2}$ , характеризующие интенсивность процесса гумификации на разных стадиях формирования гуминовых кислот, не показали четкого различия между двумя применяемыми системами удобрения. По-видимому, более существенные изменения могут произойти при более длительном времени воздействия применяемых систем удобрения, превышающим период данных исследований.

## ВЫВОДЫ

Наиболее положительное влияние на гумусное состояние дерново-подзолистых суглинистых почв разной степени эродированности оказало применение кормового севооборота с удельным весом зерновых культур 20 % на фоне органо-минеральной системы удобрения. Применение данных приемов почвозащитного земледелия обеспечило стабилизацию степени гумификации органического вещества (30,3–30,6 %), отношения  $C_{ГК}/C_{ФК}$  (1,24–1,27) и всех фракций гуминовых кислот на уровне, аналогичном показателям незэродированной почвы. Одним из характерных признаков сохранения гумусовой системы эродированных почв под воздействием применяемых приемов на уровне почвы, не подверженной эрозии,

являлось отсутствие заметных изменений в содержании наиболее агрономически ценной фракции ГК-2 (7,5–7,6 % от общего углерода почвы).

Наименьший эффект обеспечивал зернотравяной севооборот на фоне минеральной системы удобрения. По сравнению с незеродированной почвой в эродированных разнородностях содержание гуминовых кислот в сумме уменьшилось на 896–1260 мг/кг почвы (или на 27–38 %) при снижении их относительного содержания на 3,0–5,3 % и степени гумификации органического вещества – на 2,7–5,3 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программа мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв в Республике Беларусь на 2011–2015 гг. / под ред. В.Г. Гусакова. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 106 с.
2. Проектирование противоэрозионных комплексов и использование эрозионноопасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси: рекомендации / под ред. А.Ф. Черныша. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2005. – 52 с.
3. *Зайко, С.М.* Эрозия дерново-подзолистых почв, развивающихся на лессовидных суглинках северной части Минской возвышенности: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 532 / С.М. Зайко; БелНИИ почвоведения и агрохимии МСХ БССР. – Минск, 1969. – 20 с.
4. *Жилко, В.В.* Эродированные почвы Белоруссии. Их плодородие и использование: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 06.01.03 / В.В. Жилко; БелНИИ почвоведения и агрохимии МСХ БССР. – Минск, 1974. – 54 с.
5. *Величко, В.А.* Биологическая активность подверженных водно-эрозионным процессам дерново-подзолистых почв на мощных лессовидных суглинках: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.096 / В.А. Величко; БелНИИ почвоведения и агрохимии МСХ БССР. – Минск, 1972. – 22 с.
6. *Жилко, В.В.* Водная и ветровая эрозия / В.В. Жилко. – Минск: Урожай, 1986. – 53 с.
7. *Афанасьев, Н.И.* Коэффициенты устойчивости почв Беларуси к водной эрозии / Н.И. Афанасьев, А.В. Юхновец // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 2 (45). – С. 49–54.
8. *Бибова, Н.Г.* Формирование дифференцированных севооборотов на землях, подверженных водно-эрозионным процессам с применением информационных технологий / Н.Г. Бибова, А.Ф. Черныш // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 2 (41). – С. 56–66.
9. *Дубовик, А.Э.* Противоэрозионная устойчивость дерново-подзолистых почв Беларуси на различных почвообразующих породах и приемы ее регулирования: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / А.Э. Дубовик; Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2006. – 21 с.
10. *Цыбулька, Н.Н.* Влагодобеспеченность и водопотребление сельскохозяйственных культур в зависимости от степени эродированности и способов основной обработки почвы / Н.Н. Цыбулька, А.В. Юхновец // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 2 (35). – С. 47–58.
11. *Черныш, А.Ф.* Приемы регулирования фильтрационной способности дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почв / А.Ф. Черныш, А.Э. Дубовик // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 2 (35). – С. 58–63.

12. *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 (43). – С. 23–31.

13. *Черныш, А.Ф.* Новые подходы к количественной оценке эрозионной деградации почв / А.Ф. Черныш, В.Т. Сергеенко, А.Г. Кондаурова // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 1 (48). – С. 7–17.

14. *Черныш, А.Ф.* Диапазоны влажности пахотного горизонта в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв Беларуси / А.Ф. Черныш, А.М. Устинова, В.Б. Цырибко // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 1 (54). – С. 7–16.

15. *Черныш, А.Ф.* Влияние приемов почвозащитного земледелия на агрофизические свойства дерново-подзолистых эродированных почв, сформированных на моренных суглинках Поозерья / А.Ф. Черныш, А.В. Юхновец, Н.А. Лихацевич // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 1 (40). – С. 63–70.

16. *Юхновец, А.В.* Влияние основной обработки на физические свойства, биологическую активность и противоэрозионную стойкость дерново-подзолистых почв на моренных суглинках : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / А.В. Юхновец; Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2004. – 18 с.

17. *Черныш, А.Ф.* Принципы формирования почвозащитных систем земледелия в эрозионных агроландшафтах Беларуси / А.Ф. Черныш // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 1 (34). – С. 70–73.

18. *Черныш, А.Ф.* Оценка экологической сбалансированности структуры земельного фонда в эрозионных и заболоченных агроландшафтах центральной почвенно-экологической провинции Беларуси / А.Ф. Черныш, А.Э. Радюк, С.А. Касьянчик // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 1 (42). – С. 7–14.

19. Методические указания по прогнозированию водно-эрозионных и дефляционных процессов на обрабатываемых землях Беларуси / А.Ф. Черныш [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2006. – 42 с.

20. *Скрябина, О.А.* Качественный состав и оптические свойства гумуса как диагностические показатели эродированных почв / О.А. Скрябина // Вопросы агрохимии и почвоведения: сб. науч. тр.; отв. ред. Мордвинцев. – Пермь, 1980. – С. 28–32.

21. *Филиппова, Т.Е.* Агрохимические аспекты комплексной мелиорации агроландшафтов Нечерноземной зоны России: монография / Т.Е. Филиппова. – Тверь, 2006. – 280 с.

22. *Овчинникова, М.Ф.* Влияние водной эрозии на химические свойства и гумусное состояние пахотной дерново-подзолистой почвы на двучленных отложениях / М.Ф. Овчинникова // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. – Почвоведение. – 2003. – № 1. – С. 36–41.

23. *Орлов, А.Д.* О месте эродированных черноземов в единой классификационной схеме почв / А.Д. Орлов, А.А. Танасиенко // Эродированные почвы и повышение их плодородия: сб. науч. тр. – Новосибирск, 1985. – С. 19–26.

24. *Дубовик, Е.В.* Фракционно-групповой состав гумуса чернозема типичного в геоморфологическом профиле на полярных склонах / Е.И. Дубовик, Г.Н. Черкасов // Доклады РАСХН. – 2013. – № 1. – С. 35–37.

25. *Пономарева, В.В.* Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных) / В.В. Пономарева, Т. А. Плотникова. – Л.: Наука, 1975. – 105 с.

26. Орлов, Д.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, М.С. Розанова // Почвоведение. – 2004. – № 8. – С. 918–926.

27. Овчинникова, М.Ф. Особенности трансформации гумусовых веществ в разных условиях землепользования (на примере дерново-подзолистой почвы): автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.27 / М.Ф. Овчинникова; Рос. акад. наук, МГУ. – М., 2007. – 49 с.

## **IMPACT OF CROP ROTATIONS AND FERTILIZATION SYSTEMS ON HUMUS STATE INDEXES OF SOD-PODZOLIC LOAMY SOILS OF VARIOUS ERODED LEVELS**

**E.N. Bogatyreva, T.M. Seraya, O.M. Biryukova**

### **Summary**

Impact of different crop rotations and fertilization systems on humus state indexes of sod-podzolic loamy soils of various eroded levels has been studied. The best positive effect on stabilization of humus system of eroded varieties was obtained by using fodder-crop rotation with specific weight of grain crops 20 % on the background of organo-mineral fertilizer system. The least effective is grain-crop rotation (60% of grain crops) against the background of the mineral fertilizer system, which is characterized by the strongest decline in the degree of humification (by 2,7–5,3 %), and also as absolute (by 896-1260 mg/kg), and the relative (3,0–5,3 %) content of humic acids in eroded soils relative to the non-eroded analogue.

*Поступила 10.04.17*

УДК 631.8.022.3:631.452:631.931

## **ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСА АГРОБИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОМ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР СЕВОБОРОТА, ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ И ПЛОДОРОДИЕ ТОРФЯНО-МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВ ПОЛЕСЬЯ**

**Н.Н. Семененко<sup>1</sup>, Е.В. Каранкевич<sup>2</sup>, Н.М. Авраменко<sup>3</sup>,**

<sup>1</sup>*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

<sup>2</sup>*Институт мелиорации, г. Минск, Беларусь*

<sup>3</sup>*Полесская опытная станция мелиоративного земледелия и луговодства, а/г Полесский, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В зоне Полесья агроторфяные почвы разных стадий эволюции занимают около 700 тыс. га. Одной из наиболее актуальных экологических и экономических проблем этой зоны, причиной сдерживающей его устойчивое развитие, является деградация таких почв [1]. После осушения и в процессе сельскохозяйственно-

го использования агроторфяные почвы подвержены дефляции и минерализации органических соединений, что приводит к потере органического вещества (ОВ) и трансформации их в торфяно-минеральные, снижению плодородия. В зависимости от условий величина общих потерь ОВ колеблется в пределах от 2 до 15 т/га и более за год. Наиболее высокие потери ОВ наблюдаются при возделывании на таких почвах пропашных культур, проведении вспашки и применении повышенных доз минеральных, особенно, азотных удобрений [2–7 и др.]. Поэтому для сохранения плодородия агроторфяных почв рекомендуется на них больше сеять многолетних трав, в основном злаковые, вносить органические удобрения в дозах 50–60 т/га, заменить вспашку на обработку почвы без оборота пласта [6–10 и др.]. В то же время зона Полесья отличается развитым животноводством, где значительные площади агроторфяных почв разных стадий эволюции интенсивно используются под кормовыми культурами, выполнить эти рекомендации сложно. С целью укрепления кормовой базы животноводства на этих почвах в структуре посевных площадей зерновые фактически занимают до 50 % и кукуруза, как ведущая кормовая культура – более 30 %. Основной способ осенней обработки почвы – зяблевая вспашка, органические удобрения применяются на полях, расположенных возле животноводческих комплексов. Так же установлено, что разработанная для агроторфяных почв «базовая» система применения удобрений [11–13], предусматривающая возмещение выноса фосфора и калия с планируемой урожайностью и дополнительное внесение для повышения их плодородия, внесение усредненных по полям доз азотных удобрений не учитывает особенностей торфяно-минеральных почв разных стадий эволюции и нуждается в совершенствовании. Для повышения производительной способности и устойчивости к деградации агроторфяных почв Полесья необходима разработка альтернативных почвозащитных, экономически и экологически обоснованных систем земледелия на них. Такие разработки должны включать научно обоснованные почвозащитные севообороты насыщенные промежуточными культурами, экологически безопасные энергосберегающие системы обработки почвы и комплексное применение макро- и микроудобрений, биологически активных веществ на основе новых методических решений. Однако подобные рекомендации для зоны Полесья неизвестны.

Цель исследований – установить наиболее эффективные сочетания способов основной обработки почвы, систем применения удобрений и сидератов, обеспечивающих высокую продуктивность культур кормового севооборота и их влияние на плодородие торфяно-минеральной почвы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно, что в технологиях возделывания основных сельскохозяйственных культур севооборота важнейшее значение имеет подбор предшественника, способ основной обработки почвы и система применения удобрений. В результате проведенных нами ранее исследований на торфяно-минеральных почвах установлено [14], что одним из лучших предшественников основных культур севооборота являются промежуточные с использованием зеленой массы на корм и заделкой в почву пожнивно-корневых остатков. Однако использование и такого предшественника под пропашные культуры на этих почвах не исключает проведение зяблевой вспашки, внесение органических удобрений, интенсивную дефляцию и минерализацию ОВ в течение длительного периода вегетации, что приводит к снижению ее

плодородия. Поэтому в последние годы в ряде стран (Англия, Германия, США и др.) в качестве предшественников – кукурузы, сахарной свеклы и сои используют кулисные посевы промежуточных культур.

Считаем [4, 15 и др.], что снизить потери ОВ агроторфяных почв, затраты на зяблевую вспашку и применение органических удобрений, химических средств защиты растений, повысить продуктивность культур севооборота и поступление ОВ в почву возможно за счет использования в качестве предшественника сидерата в виде кулисной культуры более зрелых растений семейства капустных, например, редьки масличной. В фитомассе таких растений больше накапливается лигнина, полифенолов с соотношением С:N 20–25 и более, из которых образуются гумусовые вещества. Такой предшественник укрывает поверхность почвы в течение 6–7 месяцев в осеннее-зимний период, что предотвращает дефляцию и развитие сорной растительности. При этом исключается такой энергоемкий прием агротехнологий как зяблевая вспашка, улучшается водный режим, снижаются потери ОВ и миграция элементов минерального питания.

Исследования проводились в кормовом севообороте со следующим чередованием культур: однолетние травы (пелюшко-овсяная смесь, поукосно – редька масличная) – кукуруза на зеленую массу – ячмень на зерно – озимый рапс на маслосемена и пожнивно – пелюшко-овсяная смесь на зеленый корм на двух фонах последствия редьки масличной и трех способов обработки почвы:

1) базовый вариант технологий – пелюшко-овсяная смесь на зеленый корм, поукосно – редька масличная на зеленый корм. Пожнивно – корневые остатки заделываются под зяблевую вспашку на глубину 20–22 см под кукурузу, ячмень и озимый рапс;

2) ресурсосберегающий – пелюшко-овсяная смесь на зеленый корм, поукосно – редька масличная на зеленый корм, пожнивно – корневые остатки заделываются дисковым на глубину 10–12 см под кукурузу, ячмень и озимый рапс;

3) почвозащитный – пелюшко-овсяная смесь на зеленый корм, поукосно – редька масличная как сидерат в качестве кулисной культуры, осенняя обработка почвы не проводится. Посевы растений редьки масличной, оставленные в зиму в качестве кулисной культуры, за зимний период отмирают. Весной при созревании почвы они заделываются в почву дисковым на глубину 10–12 см. При этом растительные остатки кулисной культуры продолжают сохранять почвозащитную функцию в виде мульчи после посева кукурузы. Под ячмень и озимый рапс соответственно после уборки кукурузы и ячменя проводится поверхностная обработка почвы дисковым на глубину 10–12 см.

На фоне приведенных вариантов предшественников и способов основной обработки почвы под культуры севооборота исследовались различные системы удобрения (табл. 1).

Экспериментальные полевые исследования проводились в 2010–2015 гг. на землях Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства. Почвы торфяно-минеральные, подстилаемые песком с глубины 35–45 см. Агрохимическая характеристика почвы ( $A_n$ ) опытного поля: содержание органического вещества – 20–22 %, pH в KCl – 5,7–5,9 мг/кг, доступные растениям соединения (в 0,2 М уксусной кислоте): азот – 98 (низкое);  $P_2O_5$  – 87 (низкое);  $K_2O$  – 513 (среднее) кг/га. Подвижные формы (в 0,2 М HCl)  $P_2O_5$  – 376 (среднее) и  $K_2O$  – 399 (среднее), ZnO – 8,1 (низкое) и SiO – 5,8 (среднее) мг/кг почвы. Опыт заложен в двух полях, четырех кратной повторности, площадь делянки – 24 м<sup>2</sup>.

Таблица 1

Схема распределения удобрений по культурам звена севооборота

Вариант системы удобрений основных культур <sup>1)</sup>	Культуры				Внесено удобрений НРК, кг/га	
	однолетние травы <sup>2)</sup>	кукуруза на силос	ячмень	озимый <sup>3)</sup> рапс		всего за звено севооборота
1. Основные культуры без удобрений (общий фон – N <sub>161</sub> P <sub>99</sub> K <sub>150</sub> )	N <sub>115</sub> P <sub>50</sub> K <sub>75</sub>	–	–	N <sub>46</sub> P <sub>49</sub> K <sub>75</sub>	N <sub>161</sub> P <sub>99</sub> K <sub>150</sub>	N <sub>41</sub> P <sub>24</sub> K <sub>38</sub>
2. Базовая: доза азота рассчитывается на возмещение выноса, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 150 и K <sub>2</sub> O – 130 % к выносу	N <sub>115</sub> P <sub>50</sub> K <sub>75</sub>	N <sub>180</sub> P <sub>135</sub> K <sub>240</sub>	N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>140</sub>	N <sub>165</sub> P <sub>120</sub> K <sub>160</sub> + N <sub>46</sub> P <sub>49</sub> K <sub>75</sub>	N <sub>626</sub> P <sub>444</sub> K <sub>690</sub>	N <sub>157</sub> P <sub>111</sub> K <sub>173</sub>
3. Доза азота определяется по выносу и корректируется с учетом содержания минерального азота в почве, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O – 110 % к выносу	N <sub>115</sub> P <sub>50</sub> K <sub>75</sub>	N <sub>135</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	N <sub>90</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub>	N <sub>135</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub> + N <sub>46</sub> P <sub>49</sub> K <sub>75</sub>	N <sub>521</sub> P <sub>349</sub> K <sub>570</sub>	N <sub>130</sub> P <sub>87</sub> K <sub>143</sub>
4. Вариант 3 + микроэлементы, регу- ляторы роста (PP)	N <sub>115</sub> P <sub>50</sub> K <sub>75</sub>	N <sub>135</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> , Zn, Экосил	N <sub>90</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> Cu, Экосил, PP	N <sub>135</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub> Cu, В, Экосил + 46P <sub>49</sub> K <sub>75</sub>	N <sub>521</sub> P <sub>349</sub> K <sub>570</sub> МЭ, PP, Эко- сил,	N <sub>130</sub> P <sub>87</sub> K <sub>143</sub>
5. Вариант 3 – МДУ	N <sub>115</sub> P <sub>50</sub> K <sub>75</sub>	N <sub>135</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	N <sub>90</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub>	N <sub>135</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub> элегум В, гуматы + N <sub>46</sub> P <sub>49</sub> K <sub>75</sub>	N <sub>521</sub> P <sub>349</sub> K <sub>570</sub> элегум В, гуматы	N <sub>130</sub> P <sub>87</sub> K <sub>143</sub>

Примечание. Вариант системы удобрений<sup>1)</sup>: 1. Без удобрений. Для выравнивания плодородия почвы опытного участка доза удобрений применялась одного уровня под однолетние травы (две культуры) – N<sub>115</sub>P<sub>50</sub>K<sub>75</sub> (пелюшка + овес – N<sub>45</sub>P<sub>50</sub>K<sub>75</sub>; поукосно редька масличная – N<sub>70</sub>).  
2. Базовая: Доза азота рассчитана на возмещение выноса, а фосфора 150 и калия 130 % к выносу (на возмещение выноса элементов с урожаем и дополнительно на повышение плодородия почвы).  
3. Компенсация выноса РК на 110 %, доза азота определяется по выносу с урожаем и корректируется с учетом содержания минерального азота в почве.

4. Вариант 3 + микроэлементы, БАВ, ретарданты.  
5. Медленнодействующие удобрения марки N<sub>57</sub>P<sub>16</sub>K<sub>35</sub> с добавкой азотных удобрений, бора и цинка.  
\*\*) – после уборки озимого рапса пожнивно посеяна пелюшко-овсяная смесь на зеленый корм, внесено общим фоном N<sub>46</sub>P<sub>49</sub>K<sub>75</sub>.

Исследования проводились с кукурузой гибрид Алмаз, норма высева – 110 тыс. всхожих зерен, ширина междурядий – 70 см, планируемая урожайность – 600 ц/га зеленой массы (СВ 25 %). Яровой ячмень сорт Атаман, норма высева – 4 млн всхожих зерен, планируемая урожайность – 50 ц/га. Озимый рапс сорт Зорны, норма высева – 1 млн всхожих зерен, планируемая урожайность маслосемян – 45 ц/га. В соответствии базовой технологии без внесения органических расчетные дозы минеральных удобрений составили под кукурузу –  $N_{180}P_{135}K_{240}$ , ячмень –  $N_{120}P_{90}K_{140}$  и озимый рапс –  $N_{165}P_{120}K_{160}$ .

Формы удобрений: основное внесение – мочевины, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий. В подкормку растений кукурузы и ячменя применяли мочевины, а под озимый рапс – сернокислый аммоний. В варианте 4 в подкормку внесены микроэлементы в хелатной форме в смеси с биологически активным веществом Экосил – 100 мл/га, гуматы – 2 л/га, ретардант Терпал – 1,5 л/га. Объем рабочего раствора – 200 л/га.

Агротехника возделывания кукурузы, ячменя и озимого рапса в опыте – рекомендованная в зоне Полесья.

Погодные условия вегетационных периодов в годы проведения исследований были контрастными и оказали различное влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур. В зимний период 2011 г. выпало осадков меньше нормы. Это привело к формированию низких весенних запасов влаги в почве. Две декады мая и первая июня отмечались недостатком осадков, что привело к задержке всходов и слабому развитию кукурузы в этот период. Только во второй и третьей декаде июня с выпадением осадков повысилось содержание влаги в почве и влагообеспеченность растений. Вторая половина вегетационного периода по влагообеспеченности и среднесуточной температуре была благоприятной для роста и развития кукурузы. Мониторинг за водным режимом почвы на опытном участке также показал, что в 2011 г. только в течение июня месяца уровень залегания грунтовых вод был на уровне 118–129 см, что ниже оптимального. В другие месяцы уровень залегания грунтовых вод колебался в пределах 82–103 см, что близко к оптимальному. Весь период вегетации среднесуточная температура воздуха была на 0,5–2,4 °С выше нормы. В целом погодные условия 2011 г. считаются хорошими для формирования высокой урожайности зеленой массы кукурузы. В 2012 г. погода была контрастной: чередование прохладной и дождливой с жаркой и сухой. Обилие осадков и низкой температуры пришлось на первую половину вегетации кукурузы, что для этой культуры нежелательно. В первой декаде июня выпали осадки, в этот период отмечалась прохладная погода с ночными заморозками до –7,2 °С, которые привели к повреждению растений и торможению роста кукурузы. Однако благоприятные погодные условия роста и развития в июле и, особенно, в августе способствовали интенсивному вегетативному росту, цветению, оплодотворению и формированию початков кукурузы. Уровень грунтовых вод в первой половине вегетации был близким к оптимальному (92–112 см), а в период июль–сентябрь – ниже оптимального (120–150 см). В то же время в опыте на исследуемых почвах получена и в этом году достаточно высокая урожайность зеленой массы кукурузы. Это указывает с одной стороны на пригодность антропогенно-преобразованных торфяных почв для возделывания кукурузы в экстремальных погодных условиях, а с другой – высокие адаптационные свойства этой культуры к таким условиям.

Неблагоприятные для роста и развития ячменя погодные условия вегетационных периодов 2012 г. и, особенно, 2013 г. оказали негативное влияние на формирование урожайности этой культуры. В 2012 г. в первый период вегетации растений – в 3-й декаде мая – начале июня месяца отмечалось наличие низких температур, которые привели к торможению роста ячменя. В июне 2013 г. гидрологический режим в зоне Полесья был крайне неблагоприятным для формирования урожайности зерновых культур. Посевы этих культур на отдельных полях были залиты водой, обильно росли сорняки, особенно куриное просо на посевах ячменя. Во второй половине июня и июль месяцы температура воздуха превышала среднюю многолетнюю, часто достигая + 30 °С и более. Что способствовало ускоренному созреванию растений, получению щуплого зерна и интенсивному росту сорной растительности, особенно куриного проса. Поэтому, несмотря на удовлетворительное соблюдение технологии возделывания, урожайность ячменя в опыте получена ниже, чем в предыдущей пятилетке при более благоприятных погодных условиях.

При возделывании озимого рапса погодные условия различались по годам исследований и были контрастными по этапам органогенеза растений, что повлияло на формирование урожайности. В апреле-мае 2013 года погода была сырая и холодная. Температура почвы в апреле в среднем составила –2 °С, достигая в отдельные ночи до –7 –13 °С. В первой декаде мая и 3-ей июня на почве были заморозки до –5 °С. В мае-июне гидрологический режим был неблагоприятным для формирования урожайности озимого рапса. Посевы этой культуры были угнетены от избытка влаги. В то же время во второй половине июня и июль месяцы температура воздуха превышала среднюю многолетнюю, часто достигая +30 °С и более. Это способствовало ускоренному созреванию растений, получению щуплого зерна и интенсивному росту сорной растительности. В условиях же 2014 г. в апреле, июне и июле отмечался недостаток осадков и влаги в почве, наличие высокой температуры в июне привело к преждевременному усыханию стручков и растений рапса и снижению ожидаемой урожайности.

Содержание в почве органического вещества определяется методом озоления пробы, кислотность – в 1М KCl. Содержание фракций азота, фосфора и калия определялось по разработанным автором статьи методам [16, 17], а подвижных форм фосфора и калия в 0,2М HCl вытяжке – по методу Кирсанова [18], рекомендуемого Агротехслужбой для торфяных почв.

Статистическая обработка результатов полевых и лабораторных исследований проводилась по Доспехову Б.А. [19] с использованием ПК соответствующих программ для дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа. Для расчета выхода кормовых единиц и обменной энергии с урожаем использованы нормативы, приведенные в справочнике [20], а протеина – результаты собственных исследований.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 2 представлены средние за 2 года по каждой культуре результаты полевых и лабораторных исследований по оценке эффективности комплексного действия систем удобрения на фоне зяблевой вспашки, поверхностного дискования и сидерата в виде кулисной культуры на продуктивность культур кормового севооборота. Установлено, что средняя урожайность однолетних трав: зеленой

массы пелюшко-овсяной смеси составила 35,4 и редьки масличной – 64,9 т/га. Урожайность зеленой массы пожнивно высеяной (после уборки озимого рапса) пелюшко-овсяной смеси на зеленый корм составила 29,5 т/га, которая также учтена при расчетах продуктивности культур севооборота.

Таблица 2

**Влияние комплекса агробиотехнологических приемов на продуктивность культур кормового севооборота**

Системы удобрений (NPK кг/ год)	Урожайность основной продукции, т/га				Среднее за год по севообороту <sup>*)</sup>			перевари- мый протеин, г/к.ед.
	однолетние травы, зеленая масса (сумма)	кукуруза, (30 % СМ)	ячмень, зерно	озимый рапс, семена	к.ед. т/га	обменная энергия, ГДж/га	перевари- мый протеин, ц/га	
<i>Зяблевая вспашка, последствие пожнивно-корневых остатков (базовый вариант технологий)</i>								
1. Без удобрений (фон – N <sub>41</sub> P <sub>24</sub> K <sub>38</sub> )	100,3	36,7	2,63	2,72	9,5	91,3	13,7	144
2. N <sub>157</sub> P <sub>111</sub> K <sub>173</sub>	100,3	51,1	3,77	3,85	11,6	109,2	15,9	137
3. N <sub>130</sub> P <sub>87</sub> K <sub>143</sub>	100,3	48,5	3,75	3,93	11,3	107,5	15,7	139
4. Вариант 3 + МЭ, БАВ, РР	100,3	56,9	3,77	4,14	12,1	114,0	16,4	136
<i>Дискование (10–12 см), последствие пожнивно-корневых остатков</i>								
1. Без удобрений (фон – N <sub>41</sub> P <sub>24</sub> K <sub>38</sub> )	100,3	38,0	2,93	2,70	9,7	92,7	15,9	164
2. N <sub>157</sub> P <sub>111</sub> K <sub>173</sub>	100,3	50,1	3,85	3,75	11,3	108,1	15,5	137
3. N <sub>130</sub> P <sub>87</sub> K <sub>143</sub>	100,3	51,3	3,96	3,94	11,5	109,7	16,2	141
4. Вариант 3 + МЭ, БАВ, РР	100,3	56,3	4,10	4,19	12,0	114,4	16,2	135
<i>Дискование (10–12 см), последствие сидерата в виде кулисной культуры редьки масличной</i>								
1. Без удобрений (фон – N <sub>41</sub> P <sub>24</sub> K <sub>38</sub> )	35,4	56,9	3,01	2,72	9,0	90,5	10,1	112
2. N <sub>157</sub> P <sub>111</sub> K <sub>173</sub>	35,4	66,6	4,05	4,0	10,7	105,3	12,4	116
3. N <sub>130</sub> P <sub>87</sub> K <sub>143</sub>	35,4	69,9	4,17	4,19	11,0	108,6	12,3	112
4. Вариант 3 + МЭ, БАВ, РР	35,4	74,1	4,16	4,59	11,5	112,7	13,3	116
5. Вариант 3 – МДУ	35,4	77,4	4,03	4,51	11,7	113,4	13,0	111

<sup>\*)</sup> – с учетом продуктивности зеленой массы пелюшко-овсяной смеси 29,5 т/га пожнивно высеяной после озимого рапса.

На фоне последствия удобрений, внесенных под однолетние травы, и пожнивно – корневых остатков редьки масличной урожайность зеленой массы кукурузы при зяблевой вспашке и поверхностном дисковании различается несущественно и колеблется в пределах 36,7–38,0 т/га. Дополнительное внесение

минеральных удобрений в дозах  $N_{180}P_{135}K_{240}$ , рассчитанных на вынос элементов питания с урожаем и повышение плодородия почвы (базовый вариант 2), обеспечивает повышение урожайности до 50,1–51,1 т/га, т.е. на 14,4 т/га на вспашке и 12,1 – дисковании. Применение более низких доз удобрений ( $N_{135}P_{90}K_{180}$ ), рассчитанных на вынос с урожаем и поправкой дозы азота с учетом содержания его в почве (вариант 3), повышает в сравнении с вариантом «без удобрений» урожайность зеленой массы кукурузы на 11,8 т/га – при вспашке и 13,3 т/га – при дисковании. Таким образом, в среднем по двум способам обработки почвы по исследуемым вариантам систем удобрения (2 и 3) получена примерно равная прибавка урожайности зеленой массы кукурузы (13,1 и 12,7 т/га соответственно), различия незначительны, так как отклонение от среднего арифметического составляет менее 1 %. Более высокая урожайность зеленой массы (56,9–56,3 т/га) в опыте получена на фоне вспашки и дискования при комплексном применении сбалансированных по выносу доз макро- и микроудобрений и биологически активных веществ (вариант 4).

Из приведенных в таблице 2 данных видно, что урожайность зерна ячменя при применении повышенных доз NPK (вариант 2) – (3,80 т/га) в целом не имеет преимуществ по урожайности перед вариантом доз удобрений, рассчитанных на вынос с планируемой урожайностью (вариант 3) – (3,86 т/га). Более высокая урожайность ячменя получена в вариантах с внесением средних доз удобрений в комплексе с микроэлементами, регулятором роста и биологически активными веществами на фоне дискования – 4,14 т/га, что на 0,33 т/га больше, чем по фону вспашки. Считаем, что на повышение урожайности положительное влияние оказал более благоприятный водный режим при осеннем дисковании почвы. В условиях 2012 г. урожайность ячменя по этому варианту внесения удобрений была более высокой и достигала 4,83 т/га.

Уровень урожайности семян озимого рапса в среднем за два года по варианту системы удобрений, предусматривающей внесение повышенных доз (вариант 2), также не имеет преимуществ перед вариантом доз удобрений, сбалансированных по выносу с планируемой урожайностью (вариант 3). Более высокая урожайность озимого рапса на фоне разных способов обработки почвы получена в вариантах (4) с внесением сбалансированных доз удобрений в комплексе с микроэлементами и биологически активными веществами, которая составила 4,14–4,19 т/га. В условиях 2013 г., более благоприятного для вегетации озимого рапса, урожайность по этому варианту внесения удобрений достигала 4,8 т/га. В 2014 г. озимый рапс был убран уже в начале июля, так как при высокой температуре воздуха стручки быстро высыхали и начинали растрескиваться, что приводило к потере семян.

Особого внимания заслуживает эффективность последствия сидерата в виде кулисной культуры. Использование редьки масличной в качестве кулисной культуры обеспечило без внесения удобрений повышение, в сравнении с базовым вариантом технологий (зяблевая вспашка, последствие пожнивно-корневых остатков), урожайности зеленой массы кукурузы на 20,2 т/га. При дополнительном внесении удобрений на фоне последствия сидерата достигнута урожайность 66,6–77,4 т/га. В сравнении с базовым вариантом технологий на фоне кулисной культуры урожайность по аналогичным вариантам внесения удобрений повысилась на 30–44%. Внесение повышенных доз удобрений (вариант 2) в сравнении

с вариантом 3 по действию на урожайность преимуществ не имеет. Наиболее высокая урожайность зеленой массы кукурузы получена при комплексном применении сбалансированных по выносу элементов питания с урожаем доз макро- и микроудобрений и биологически активных веществ – 74,1 т/га. Также высокая урожайность зеленой массы кукурузы на фоне кулисной культуры получена при внесении медленнодействующей формы удобрения марки  $N_5P_{16}K_{35}$  с добавкой азотных удобрений, бора и цинка, которая составляет 77,4 т/га.

Представленные результаты исследований так же показывают, что урожайность зерна ячменя как в варианте «без удобрения», так и в вариантах других исследуемых систем удобрения на фоне последствия кулисной культуры сформировалась выше на 0,26–0,42 т/га в сравнении с базовым вариантом технологий, достигнув уровня 4,03–4,17 т/га. Применение повышенных доз NPK (вариант 2) не имеет преимуществ по урожайности перед вариантом доз удобрений, рассчитанных на вынос с планируемой урожайностью (вариант 3). При более благоприятных погодных условиях 2012 года урожайность ячменя по этому варианту внесения удобрений достигала 5,0 т/га.

Последствие сидерата в виде кулисной культуры проявилось и на посевах озимого рапса. При этом уровень урожайности семян рапса в среднем за два года по системе удобрений, предусматривающей внесение повышенных доз (вариант 2), не имеет преимуществ перед вариантом (3) доз удобрений, сбалансированных по выносу с планируемой урожайностью. Более высокая урожайность получена в вариантах с внесением сбалансированных доз удобрений в комплексе с микроэлементами, регулятором роста и биологически активными веществами, которая составляет 4,51–4,59 т/га. Прибавка урожайности от последствия кулисной культуры в вариантах с внесением удобрений колебалась от 0,15 до 0,45 т/га. Более высокая прибавка получена в вариантах с применением сбалансированных доз макро – и микроудобрений, биологически активных веществ.

Таким образом, кулисная культура редьки масличной оказывает положительное влияние на рост урожайности культур севооборота в течение трех лет исследований. Установлено, что за счет последствия кулисной культуры максимальный прирост урожайности составил: зеленой массы кукурузы – 21,4 т/га, ячменя – 0,42 и семян озимого рапса – 0,45 т/га.

Важной характеристикой продуктивности кормовых севооборотов является выход кормовых единиц, обменной энергии и переваримого протеина с единицы площади. Представленные в таблице 2 результаты оценки влияния различных способов обработки почвы, предшественников и систем применения удобрений на продуктивность культур кормового севооборота показывают, что выход кормовых единиц в среднем за севооборот в вариантах с применением удобрений на фоне вспашки и поверхностного дискования почвы достиг уровня 11,3–12,1 т/га. При этом в среднем по двум способам обработки почвы применение повышенных доз удобрений (вариант 2) не имеет преимуществ перед внесением умеренных доз (вариант 3). Наиболее высокий выход кормовых единиц получен при внесении сбалансированных по выносу доз удобрений в комплексе с применением микроэлементов (цинк, медь) и Экосила (вариант 4), который составляет 12,0–12,1 т/га, что на 12–13 % выше фона.

Установлено, что при возделывании промежуточных в виде основных, поукосных и пожнивных культур, кукурузы, ячменя и озимого рапса на торфяно-мине-

ральных почвах выход обменной энергии может достигать при внесении удобрений в среднем за 4 года 107–114,4 ГДж/га. Отмечается более высокий выход обменной энергии (114,4 ГДж/га) и прибавки к фону 25 % при внесении сбалансированных по выносу с урожайностью доз минеральных удобрений в комплексе с микроэлементами цинком, медью и Экосилом (вариант 4).

Возделывание кормовых культур на исследуемых почвах с применением удобрений позволяет обеспечить выход переваримого протеина на уровне 15,5–16,4 ц/га. По переваримому протеину, как и по выходу кормовых единиц, наиболее высокие прибавки получены при внесении сбалансированных по выносу с планируемой урожайностью доз удобрений в комплексе с микроэлементами цинком, медью и Экосилом, которые составляют 16,2–16,4 ц/га. Различия в уровне выхода переваримого протеина при разных способах основной обработки почвы незначительны. Обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином по исследуемым вариантам систем удобрения колеблется в пределах 135–141 г/к.ед., что выше физиологической нормы для животных. При этом от способов обработки почвы обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином изменяется незначительно.

Продуктивность культур севооборота, возделываемых на фоне кулисной культуры (урожайность зеленой массы редьки масличной не учитывается), по выходу кормовых единиц и обменной энергии примерно одного уровня с продуктивностью базового варианта. Различия по выходу кормовых единиц и обменной энергии по вариантам систем удобрений и предшественников находятся в основном в пределах 2–5 %. Только по выходу переваримого протеина базовый вариант предшественника из-за высокого содержания азота в зеленой массе редьки масличной, используемой на корм, превосходит выход переваримого протеина культур севооборота на фоне последствия кулисной культуры. Однако и по этому предшественнику обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином в среднем составляет 112–116 г/к.ед., что выше физиологической нормы.

Применение медленнодействующих форм по продуктивности культур кормового севооборота в целом не имеет преимуществ в сравнении с вариантом системы комплексного применения удобрений, микроэлементов, ретардантов и биологически активных веществ.

Таким образом, на фоне зяблевой вспашки или поверхностного дискования кормовой севооборот, включающий возделывание промежуточных и основных культур, обеспечивает среднегодовой выход кормовых единиц 11,3–12,1 т/га с содержанием переваримого протеина 135–141 г/к.ед. и до 114 ГДж/га обменной энергии. Использование сидерата в виде кулисной культуры редьки масличной при сбалансированной системе применения удобрений обеспечивает аналогичную приведенную выше продуктивность кормового севооборота. Однако ресурсосберегающая и природоохранная функция такого варианта использования торфяно-минеральной почвы имеет несомненные преимущества.

При оценке систем применения удобрений важным показателем их эффективности служит окупаемость дополнительно получаемой продукцией. Из приведенных данных в таблице 3 видно, что урожайность кормовых культур на 75–80 % формируется за счет почвенного плодородия. Только при комплексном применении удобрений и других факторов интенсификации производства кормовых

культур доля почвенного плодородия в формировании урожайности снижается в среднем до 70 %. Наиболее низкая окупаемость удобрений (среднее по разным способам обработки почвы) – 4,1 к.ед./кг NPK получена при внесении их в дозах, рассчитанных на возмещение выноса элементов с урожаем и повышение плодородия почвы (базовый вариант 2). Применение сбалансированных по выносу доз удобрений обеспечивает повышение их окупаемости до 5,2 к.ед./кг NPK. Максимального же уровня окупаемости удобрений – 6,8 к.ед./кг NPK в среднем по всем видам обработок почвы достигается применением сбалансированных по выносу доз удобрений в комплексе с микроэлементами и регуляторами роста (вариант 4). Таким образом, в сравнении с базовой системой применения удобрений (вариант 2) внесение умеренных сбалансированных по выносу доз удобрений (вариант 3) повышает их окупаемость на 27, а при дополнении микроэлементов и Экосила – 66 %. Безусловно, в сумме прибавки по этому варианту системы применения удобрений присутствует и доля микроэлементов и Экосила. В то же время нельзя отрицать факта, что при дополнении в систему удобрения микроэлементов (цинк, медь) и биологически активных веществ (Экосила, гуматов) более эффективно используются азот, фосфор и калий удобрений. Так же получена высокая окупаемость медленно действующей формы удобрений – 7,5 к.ед./кг NPK, в которую добавлены микроэлементы бор и цинк.

Таблица 3

**Эффективность систем применения удобрений под культуры севооборота  
на фоне разных способов обработки почвы**

Система удобрений (NPK кг/га/ год)	Выход к.ед.	Прибавка к фону от удобрений		Окупаемость 1 кг NPK, к.ед.
	т/га	%		
<i>Вспашка, последствие пожнивно-корневых остатков</i>				
1. Без удобрения основных культур (фон – N <sub>41</sub> P <sub>24</sub> K <sub>38</sub> ) <sup>*</sup>	9,5	–	–	–
2. N <sub>157</sub> P <sub>111</sub> K <sub>173</sub> <sup>***</sup>	11,6	2,1	22	4,8
3. N <sub>130</sub> P <sub>87</sub> K <sub>143</sub> <sup>****</sup>	11,3	1,8	19	5,0
4. Вариант 3 + МЭ, БАВ, РР	12,1	2,6	27	7,2
<i>Дискование 10–12 см, последствие пожнивно-корневых остатков</i>				
1. Без удобрения основных культур (фон – N <sub>41</sub> P <sub>24</sub> K <sub>38</sub> )	9,7	–	–	–
2. N <sub>157</sub> P <sub>111</sub> K <sub>173</sub>	11,3	1,6	16	3,6
3. N <sub>130</sub> P <sub>87</sub> K <sub>143</sub>	11,5	1,8	19	5,0
4. Вариант 3 + МЭ, БАВ, РР	12,0	2,3	24	6,4
<i>Дискование 10–12 см, последствие сидерата в виде кулисной культуры редьки масличной</i>				
1. Без удобрения основных культур (фон – N <sub>41</sub> P <sub>24</sub> K <sub>38</sub> )	9,0	–	–	–
2. N <sub>157</sub> P <sub>111</sub> K <sub>173</sub>	10,7	1,7	19	3,9
3. N <sub>130</sub> P <sub>87</sub> K <sub>143</sub>	11,0	2,0	22	5,6
4. Вариант 3 + МЭ, БАВ, РР	11,5	2,5	28	6,9
5. Вариант 3 – МДУ	11,7	2,7	30	7,5

В наших исследованиях изучался вариант 2 (базовый) системы удобрений, по которому предполагалось за счет применения повышенных доз фосфатов и калия увеличить содержание этих элементов питания в почве и, тем самым, повысить ее плодородие. По базовой технологии возделывания культур и системы применения удобрений (вариант 2) за три года под основные культуры внесено больше в сравнении с ресурсосберегающей (вариант 3) – азота на 105,  $P_2O_5$  – 95 и  $K_2O$  – 120 кг/га. Однако, при внесении повышенных доз азотных, фосфорных и калийных удобрений по базовой системе увеличения в сравнении с вариантом 3 урожайности и выноса этих элементов минерального питания с урожаем кукурузы, ячменя и озимого рапса не установлено. Ожидалось, что не используемые на создание урожая элементы питания поглотились почвой в виде различных соединений. Важно было выявить прочность связи этих соединений и доступность элементов питания растениям в будущем. Приведенные в таблице 4 результаты исследований показывают, что исходное (2011 г.) содержание минеральных и усвояемых форм азота, легкодоступных соединений фосфора и калия в вариантах «без удобрений», базовой и ресурсосберегающих систем удобрения различается несущественно. Изменения находятся в пределах ошибки анализа. Через три года (2014 г.) содержание соединений азота, фосфора и калия в варианте «без удобрения», базовой и ресурсосберегающей систем удобрения так же находятся примерно на одном уровне. Изменения в содержании этих элементов в сравнении с исходным несущественны (отклонения от среднеарифметического первого и второго срока определения менее 10 %), т.е. увеличение в содержании определяемых соединений азота, фосфора и калия в почве при использовании повышенных доз удобрений несущественно. В целом имеется тенденция снижения содержания подвижных соединений фосфатов и повышения обменного калия.

Таблица 4

**Динамика изменения агрохимических свойств почв в севообороте, мг/кг почвы**

Система удобрения	Год	Азот		Соединения $P_2O_5$			Соединения $K_2O$		
		N мин.	N усв.	легко-доступные	доступные	подвижные	водорастворимые	доступные	обменные
Без удобрения	2011*)	61	182	20	68	347	138	260	307
	2014**)	67	189	23	66	320	111	218	334
	± к исх.	+6	+7	+3	-2	-27	-27	-42	+27
$N_{157}P_{111}K_{173}$	2011	61	184	20	70	360	148	286	318
	2014	65	210	22	62	330	122	239	338
	± к исх.	+4	+26	+2	-	-30	-26	-47	+20
$N_{130}P_{87}K_{143}$	2011	62	222	22	70	356	183	285	317
	2014	65	205	20	60	303	126	239	346
	± к исх.	+3	-17	-2	-10	-53	-57	-46	+29

\*) – до внесения удобрений; \*\*) – после уборки озимого рапса.

Можно предположить, что за исследуемый период часть подвижных соединений фосфора и калия почвы и внесенных удобрений трансформировались в более прочные соединения и/или мигрировало. Подтверждением этому могли бы быть данные, отражающие изменения содержания в почве труднодоступных растениям соединений фосфатов, растворимых в 4 М HCl (за вычетом доступных), и необменной формы калия (табл. 5). При внесении повышенных доз удобрений (вариант 2) за три года содержание в почве этих соединений фосфатов и необменной формы калия увеличилось в сравнении с исходным состоянием по всем системам удобрения. Содержание в почве соединений фосфатов повысилось от 65 (ресурсосберегающий вариант системы удобрения) до 15 мг/кг почвы (базовый вариант) или соответственно от 8 до 18 %.

Таблица 5

**Изменения в содержании труднодоступных соединений фосфатов и обменных форм калия в севообороте, мг/кг почвы**

Система удобрения	Труднодоступные соединения фосфатов (4М HCl)			Необменные формы калия		
	2011 г.	2014 г.	± к исх., %	2011 г.	2014 г.	± к исх., %
Без удобрения	869	994	+14	573	616	+8
N <sub>157</sub> P <sub>111</sub> K <sub>173</sub>	904	1064	+18	595	743	+25
N <sub>130</sub> P <sub>87</sub> K <sub>143</sub>	935	1010	+8	555	650	+17

Содержание необменной формы калия также в наибольшей степени увеличилось при внесении повышенных доз калийных удобрений (базовый вариант системы удобрения) + 25 % к исходному. В целом и по этим соединениям фосфатов и калия вариантам систем удобрения отмечается положительный баланс элементов питания в почве. Однако если достоверность изменений содержания фосфатов и калия второго срока по отношению к исходному оценивать более строго по отклонению от средней арифметической, то только по калию при внесении повышенных доз этих удобрений это увеличение можно оценивать как существенное (более 10 %).

Таким образом, при базовой системе удобрений за три года достоверного прироста содержания в почве подвижных фосфатов, обменного калия и других легкорастворимых соединений этих элементов не произошло. В то же время по этой системе удобрений содержание труднодоступных растениям соединений фосфатов и обменного калия увеличилось более значимо. По варианту ресурсосберегающей системы удобрений содержание этих соединений фосфатов и калия хотя и в меньшей степени, но также увеличилось, баланс положительный. Вероятно, для существенного увеличения содержания в почве подвижных соединений фосфатов и калия необходим более длительный период внесения повышенных доз этих видов удобрений. Что связано с увеличением дополнительных затрат.

## ВЫВОДЫ

1. На фоне зяблевой вспашки или поверхностного дискования и применения удобрений кормовой севооборот, включающий возделывание промежуточных культур на зеленый корм урожайностью более 120 т/га, кукурузы на зеленую массу – 50,3–56,6, ячменя – 3,8–4,1 и семян озимого рапса – 3,8–4,2 т/га, обеспечивает близкий по способам обработки почвы среднегодовой выход кормовых единиц в пределах – 11,3–12,1 т/га с содержанием переваримого протеина 135–141 г/к.ед. и до 114 ГДж/ га обменной энергии.

2. При внесении повышенных доз по базовой системе удобрений окупаемость их продукцией в зависимости от способа основной обработки почвы колеблется в пределах 3,6–4,8, а в среднем составляет 4,1 к.ед./кг NPK. Применение сбалансированных по выносу доз удобрений на фоне тех же способов основной обработки почвы обеспечивает повышение их окупаемости до 5,2 к.ед./кг NPK или на 27 % выше базовой. Максимального же уровня окупаемость удобрений – 6,8 к.ед./кг NPK или на 66 % выше базовой в среднем по всем видам обработок почвы достигается применением сбалансированных по выносу доз удобрений в комплексе с микроэлементами и регуляторами роста (вариант 4).

3. Применение повышенных доз фосфорных и калийных удобрений в течение трех лет не обеспечивает достоверного увеличения содержания в почве подвижных соединений фосфора и калия, так как поглощенные почвой эти элементы трансформируются в труднодоступные минеральные соединения фосфатов и необменный калий. Для более заметного повышения содержания в почве подвижных соединений фосфора и калия необходимо эти виды удобрений в повышенных дозах применять более длительный срок.

4. Использование кулисной культуры редьки масличной в виде сидерата при сбалансированной системе внесения удобрений обеспечивает аналогичную приведенную выше продуктивность кормового севооборота (11,5 т/га к.ед.). Однако ресурсосберегающая и природоохранная функция такого варианта использования торфяно-минеральной почвы имеет несомненные преимущества. Сидерат в виде кулисной культуры редьки масличной по своему действию на продуктивность культур севооборота и плодородие почвы эквивалентен внесению около 45 т/га навоза, исключает необходимость проведения зяблевой вспашки почвы под кукурузу, сводит до минимума потери ОВ почвы, улучшается ее водный режим и фитосанитарное состояние посева.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие; под ред. Г.И. Кузнецова, Н.И. Смяяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.

2. *Бамбалов, Н.Н.* Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения / Н.Н. Бамбалов; под ред. А.В. Тишковича. – Минск: Наука и техника, 1984. – 176 с.

3. *Жилко, В.В.* Почвозащитные севообороты на дефляционных землях Белорусского Полесья / В.В. Жилко, Н.Н. Цыбулька, А.Ф. Черныш / Эколого-экономические принципы эффективного использования мелиорированных земель: материалы конференции. – Минск, 2000. – С. 202.

4. *Семененко, Н.Н.* Торфяно-болотные почвы Полесья: их трансформация и пути эффективного использования / Н.Н. Семененко. – Минск: Беларус. навука, 2015. – 282 с.

5. *Скоропанов, С.Г.* Эволюция торфяных почв / С.Г. Скоропанов, Н.Н. Бамбалов, П.Ф.Тиво // Охрана с.-х. угодий и окружающая среда. – Минск, 1984. – С. 193–210.

6. *Черныш, А.Ф.* Дефляция почв в Беларуси / А.Ф. Черныш, Ю.А. Чижиков // Природные ресурсы. – 2005. – № 3. – С. 38–50.

7. *Черныш, А.Ф.* Влияние почвозащитных обработок на дефлекцию торфяно-болотных почв и продуктивность / А.Ф. Черныш, А.В. Юхновец // Повышение эффективности мелиорации сельскохозяйственных земель. – Минск, 2005. – С. 432–434.

8. *Мееровский, А.С.* Проблемы использования и сохранения торфяных почв / А.С. Мееровский, В.П. Трибис // Новости науки и технологий. – 2012. – № 4(23). – С. 3–9.

9. Национальный доклад о состоянии, использовании и охране земельных ресурсов (по сост. на 1 янв. 2011 г.) / Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь; под ред. Г.И. Кузнецова. – Минск: РУП «БелНИЦзем», 2011 – 184 с.

10. Программа мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв в Республике Беларусь на 2011–2015 гг. / В.Г. Гусаков [и др.]; под ред. В.Г. Гусакова. – НАН Беларуси, МСХП РБ, Госкомимущества, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 106 с.

11. *Лапа, В.В.* Оптимальные дозы удобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / В.В. Лапа, В.Н. Босак. – Минск, 2002. – 24 с.

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

13. Система применения органических и минеральных макро- и микроудобрений в севооборотах: рекомендации / В.В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 56 с.

14. *Семененко, Н.Н.* Продуктивность антропогенно-преобразованных торфяных почв Полесья в зависимости от предшественника основных культур и типов севооборотов / Н.Н. Семененко, П.П. Крот // Земляробства і ахова раслін. – 2012. – № 6. – С. 19–25.

15. *Семененко, Н.Н.* Ресурсосберегающая почвозащитная технология возделывания кукурузы на зеленую массу на дегроторфяных почвах Полесья / Н.Н. Семененко, Е.В. Каранкевич // Земледелие и защита растений. – 2014. – № 6(97). – С. 10–13.

16. *Семененко, Н.Н.* Методы определения содержания доступных растениям соединений азота, фосфора и калия в деградированных торфяных почвах / Н.Н. Семененко, В.А. Журавлев. – Минск, 2005. – 24 с.

17. *Семененко, Н.Н.* Агрохимические методы исследования состава соединений азота, фосфора и калия в торфяных почвах / Н.Н. Семененко. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 78 с.

18. Определение подвижных форм фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО / ГОСТ 26207-84. – М., 1984. – 6 с.

19. *Доспехов, Б.А.* Основы методики полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1982. – 280 с.

20. Справочник нормативных трудовых и материальных затрат для ведения сельскохозяйственного производства. – Минск: Беларус. навука, 2006. – 709 с.

**IMPACT OF COMPLEX AGROBIOTECHNOLOGICAL TECHNIQUES  
ON PRODUCTIVITY OF CROP ROTATION, FERTILIZER EFFICIENCY  
AND FERTILITY OF PEAT-MINERAL SOILS OF POLES' E**

**N.N. Semenenko, E.V. Karankevich, N.M. Avramenko**

**Summary**

On the background of autumn ploughing or surface disking of the fodder crop rotation including the cultivation of basic and intermediate crops for green forage, provides almost the same methods of tillage, the average annual output of feed units – 11,3–12,1 t/ha with a high content of digestible protein and metabolizable energy. Apply balanced on the removal with the harvest doses of fertilizer ensures an increase in their cover compared to the basic fertilizer system of 27 %. The introduction of high doses of phosphate and potash fertilizers for three years does not provide a significant increase in the content in soil of mobile compounds of phosphorus and potassium. Use the blind culture of oilseed radish in the form of green manure improves productivity of fodder crop rotation (11.5 t/ha f.u.), at lower cost, minimizes the loss organic matter of the soil.

*Поступила 12.01.17*

УДК 633.1:631.559:631.85(476.6)

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОДВИЖНЫМИ  
ФОСФАТАМИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ  
ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ**

**Ф.Н. Леонов, Т.Г. Синевич**

*Гродненский государственный аграрный университет,  
г. Гродно, Беларусь*

**ВВЕДЕНИЕ**

Получение высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур часто возможно лишь при создании оптимальной системы питания растений, и, прежде всего, за счет применения удобрений [1–3]. Однако в современных условиях минеральные удобрения применяются не всегда в оптимальных соотношениях питательных элементов, а в ряде случаев недостаток одного из элементов (как правило, фосфора) земледельцы пытаются компенсировать избыточным внесе-

нием другого. Это приводит не только к существенному недобору урожая, но и к снижению плодородия почв [4].

На продуктивность сельскохозяйственных культур значительное влияние оказывают как применяемые фосфорные удобрения и способы их внесения, так и обеспеченность почв данным элементом. Общеизвестно, что с увеличением содержания в почве подвижных фосфатов продуктивность сельскохозяйственных растений возрастает, а эффективность фосфорных удобрений снижается [5]. Избыточное насыщение почвы дорогостоящими фосфорными удобрениями во многих случаях является нерентабельным, в то время как недостаток данного элемента влечет за собой не только недобор урожая, но и нерациональное использование других видов (чаще всего азотных) удобрений [6].

В настоящее время в связи с острым дефицитом и высокой ценой фосфорных удобрений оптимальное обеспечение культур фосфором предполагает бездефицитное питание растений остаточными и стартовыми дозами свежевнесенных фосфорных удобрений [7].

Вместе с тем следует учитывать тот факт, что в некоторых случаях (в зависимости от вида культур и уровня их урожайности, структуры посевных площадей, уровня интенсификации земледелия и т.д.) внесение фосфорных удобрений даже при высокой обеспеченности почв подвижными фосфатами является экономически оправданным приемом повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Целью работы – определение эффективности различных доз фосфорных удобрений по действию на урожайность культур в звене севооборота яровой ячмень–яровой рапс–овес в зависимости от уровня обеспеченности агродерново-подзолистой временно избыточно увлажненной легкосуглинистой почвы подвижным фосфором.

## МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в два этапа: полевые опыты были проведены в 2001–2003 гг. на опытном участке СПК «Прогресс-Вертелишки» Гродненского района, а производственные испытания – в СПК «Озеры» Гродненского района (2015 г.) и в ОАО «Черлена» Мостовского района (2016 г.).

Почва опытного участка СПК «Прогресс-Вертелишки» – дерново-подзолистая временно избыточно увлажненная легкосуглинистая, развивающаяся на моренном суглинке с повышенной и очень высокой степенью обеспеченности подвижным фосфором. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы участка 1 характеризуются следующими данными:  $pH_{KCl}$  – 6,4, содержание гумуса – 2,3 %,  $P_2O_5$  – 184 мг,  $K_2O$  – 386,5 мг на 1 кг почвы. Гидролитическая кислотность – 1,24 мг-экв. на 100 г почвы, степень насыщенности основаниями – 91,1 %. Пахотный слой участка 2 характеризовался следующими показателями:  $pH_{KCl}$  – 5,7, содержание гумуса – 3,0%,  $P_2O_5$  – 425 мг,  $K_2O$  – 391 мг на 1 кг почвы. Гидролитическая кислотность – 1,32 мг-экв. на 100 г почвы. Степень насыщенности основаниями – 90,2 %.

Изучение эффективности различных доз фосфорных удобрений на различных фосфатных фонах проводили в звене севооборота яровой ячмень – яровой рапс – овес. Опыт был развернут в пространстве на шести

полей севооборота: по три поля на почве с повышенной (IV группа по содержанию фосфора) и очень высокой (VI группа) степени обеспеченности подвижным фосфором.

Схема опыта включала 10 вариантов в четырехкратной повторности (табл. 1–3). Общая площадь делянки – 60 м<sup>2</sup>, учетная площадь делянки – 40 м<sup>2</sup>. Агротехника возделывания культур соответствовала рекомендациям для Гродненской области.

Полную дозу фосфорных и калийных удобрений, а также часть азотных (N<sub>60</sub> на зерновых культурах и N<sub>80</sub> на рапсе) вносили в предпосевную культивацию. Оставшиеся дозы азотных удобрений (варианты 4–10) применяли в подкормку: на зерновых культурах (60 кг/га по д.в.) – в фазу конец кущения – начало выхода в трубку; на рапсе в фазу 4–5 листьев (40 кг/га) и в фазу бутонизации (30 кг/га по д.в.).

Производственные опыты проводили на агродерново-подзолистой временно избыточно увлажненной легкосуглинистой почве, характеризующейся следующими агрохимическими показателями: почва с повышенной степенью обеспеченности подвижным фосфором: содержание гумуса – 2,2–2,6 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 163–220, K<sub>2</sub>O – 210–340 мг/кг почвы, pH – 6,1–6,4; почва с очень высоким содержанием подвижного фосфора: содержание гумуса – 2,1–2,8 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 400–424, K<sub>2</sub>O – 220–350 мг/кг почвы, pH – 6,1–6,5.

Испытывали четыре варианта применения удобрений:

1. N<sub>120</sub>K<sub>110</sub> (зерновые культуры) и N<sub>150</sub>K<sub>110</sub> (яровой рапс) – фон;
2. Фон + P<sub>40</sub>;
3. Фон + P<sub>60</sub>;
4. Фон + P<sub>100</sub>.

Общая площадь делянки – 0,5 га, повторность в опыте – трехкратная, расположение делянок – рендомизированное.

Статистическая обработка полученных результатов выполнена методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведения полевого опыта и изучения влияния различных доз удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур установлена неоднородность их действия в зависимости от биологических особенностей возделываемых культур и обеспеченности почв подвижным фосфором.

Анализ урожайных данных ячменя показал, что за счет увеличения обеспеченности почв подвижным фосфором урожайность данной культуры в контрольном варианте возросла на 3,4 ц/га (табл. 1). На почве с повышенным содержанием фосфора наибольшую эффективность показали азотные удобрения. Внесение азота в дозе N<sub>60</sub> обеспечило увеличение урожайности зерна ячменя на 27 % в сравнении с контролем, а в дозе N<sub>120</sub> – на 48 %. Эффективность дополнительного внесения калийных удобрений была невысокой, что объясняется наличием достаточного количества почвенного калия. Такая же закономерность действия совместного внесения азотных и калийных туков прослеживается и на втором участке опыта. В целом исследования показали, что окупаемость действующего

вещества удобрений зависела от степени обеспеченности почв подвижным фосфором: на более высоком фосфатном уровне окупаемость 1 кг как азотных, так и калийных удобрений была выше.

Внесение фосфорных удобрений в возрастающих дозах на почве с повышенным содержанием подвижного фосфора сопровождалось линейным ростом урожайности в каждом варианте. Максимальная урожайность была в вариантах  $N_{120}K_{110}P_{80}$  и  $N_{120}K_{110}P_{100}$  – 51,4 и 51,5 ц/га с окупаемостью 1 кг  $P_2O_5$  зерном 8,9 и 7,2 кг соответственно. В то же время наибольшая окупаемость фосфорных удобрений наблюдалась в варианте с внесением  $P_{60}$  на фоне  $N_{120}K_{110}$  и составила 9,5 кг. В связи с тем, что прибавка урожая в вариантах с внесением 60–80–100 кг/га  $P_2O_5$  на соответствующем азотно-калийном фоне была равнозначной, вариант  $N_{120}K_{110}P_{60}$  следует считать оптимальным для возделывания ярового ячменя на данной почве. Исключение фосфорных удобрений (варианты  $N_{60}K_{50}$  и  $N_{120}K_{110}$ ) привело к существенному уменьшению продуктивности данной культуры в сравнении с полным минеральным удобрением.

Таблица 1

**Эффективность минеральных удобрений на посевах ярового ячменя  
в зависимости от обеспеченности почв подвижным фосфором,  
среднее за 2001–2003 гг.**

Вариант	Обеспеченность почв $P_2O_5$							
	повышенная (IV группа)				очень высокая (VI группа)			
	урожайность, ц/га	прибавка, ц/га	окупаемость 1 кг NPK, кг зерна	окупаемость 1 кг $P_2O_5$ , кг зерна	урожайность, ц/га	прибавка, ц/га	окупаемость 1 кг NPK, кг зерна	окупаемость 1 кг $P_2O_5$ , кг зерна
1. Контроль	29,0	–	–	–	32,4	–	–	–
2. $N_{60}$	36,8	7,8	13,0	–	41,1	8,7	14,5	–
3. $N_{60}K_{50}$	38,6	9,6	8,7	–	43,3	10,9	9,9	–
4. $N_{120}$	42,9	13,9	11,6	–	47,6	15,2	12,7	–
5. $N_{120}K_{110}$ – фон	44,3	15,3	6,7	–	49,4	17,0	7,4	–
6. Фон + $P_{20}$	45,7	16,7	6,7	7,0	51,3	18,9	7,6	9,5
7. Фон + $P_{40}$	47,4	18,4	6,8	7,8	52,9	20,5	7,6	8,8
8. Фон + $P_{60}$	50,0	21,0	7,2	9,5	53,0	20,6	7,1	6,0
9. Фон + $P_{80}$	51,4	22,4	7,2	8,9	52,1	19,7	6,4	3,4
10. Фон + $P_{100}$	51,5	22,5	6,8	7,2	50,7	18,3	5,6	1,3
$HCP_{05}$	1,6				1,6			

На участке с содержанием  $P_2O_5$  425 мг/кг почвы внесение фосфорных удобрений в дозах  $P_{20-40}$  обеспечило высокую окупаемость 1 кг внесенного фосфора зерном (9,5–8,8 кг соответственно). Дальнейшее увеличение дозы вносимого фосфора приводило к существенному уменьшению агрономической эффективности – до 6,0–1,3 кг зерна. Наибольшее достоверное увеличение урожая зерна (20,5 ц/га по отношению к контрольному варианту) было отмечено при внесении 40 кг/га д.в. фосфорных удобрений на фоне  $N_{120}K_{110}$ .

Увеличение содержания подвижного фосфора в почве оказало положительное влияние на урожайность овса (табл. 2).

**Эффективность минеральных удобрений на посевах овса  
в зависимости от обеспеченности почв подвижным фосфором,  
среднее за 2001–2003 гг.**

Вариант	Обеспеченность почв P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>							
	повышенная (IV группа)				очень высокая (VI группа)			
	уро- жай- ность, ц/га	при- бавка, ц/га	окупае- мость 1 кг NPK, кг зерна	окупае- мость 1 кг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , кг зерна	уро- жай- ность, ц/га	при- бавка, ц/га	окупае- мость 1 кг NPK, кг зерна	окупае- мость 1 кг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , кг зерна
1. Контроль	30,3	–	–	–	34,5	–	–	–
2. N <sub>60</sub>	38,6	8,3	13,8	–	44,3	9,8	16,3	–
3. N <sub>60</sub> K <sub>50</sub>	41,4	11,1	10,1	–	46,8	12,3	11,2	–
4. N <sub>120</sub>	44,0	13,7	11,4	–	51,4	16,9	14,1	–
5. N <sub>120</sub> K <sub>110</sub> – фон	46,1	15,8	6,9	–	52,6	18,1	7,9	–
6. Фон + P <sub>20</sub>	48,1	17,8	7,1	10,0	54,7	20,2	8,1	10,5
7. Фон + P <sub>40</sub>	49,6	19,3	7,1	8,8	56,6	22,1	8,2	10
8. Фон + P <sub>60</sub>	53,3	23,0	7,9	12,0	55,9	21,4	7,4	5,5
9. Фон + P <sub>80</sub>	54,6	24,3	7,8	10,6	55,7	21,2	6,8	3,9
10. Фон + P <sub>100</sub>	54,8	24,5	7,4	8,7	55,2	20,7	6,3	2,6
HCP <sub>05</sub>	1,5				1,4			

В варианте без применения удобрений прибавка урожайности за счет более высокого содержания подвижных фосфатов в почве составила 4,2 ц/га. Внесение возрастающих доз азота (N<sub>60–120</sub>) приводило к увеличению урожайности на обоих участках, однако понижало окупаемость 1 кг элемента. Вместе с тем, на почве с очень высокой обеспеченностью подвижным фосфором, прибавка и уровень окупаемости были выше, чем на почве с содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> более низкого уровня. Эффективность фосфорных удобрений, внесенных в дозах 20–40 кг/га, была практически равнозначной на обоих участках опыта. Прибавка урожайности от применения данных удобрений колебалась в пределах 2,0–4,0 ц/га при окупаемости 1 кг фосфора 8,8–10,5 кг зерна. Дальнейшее увеличение доз фосфорных удобрений на почве с очень высоким содержанием фосфора не привело к повышению урожайности зерна овса, а на почве с более низким содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> урожайность зерна возрастала до уровня P<sub>60</sub>, а затем не изменялась. Анализ трехлетних урожайных данных рапса показал (табл. 3), что наибольшее влияние на формирование урожая семян оказывают азотные удобрения (прибавка от N<sub>80</sub> и N<sub>150</sub> составляет на почве с повышенной обеспеченностью фосфором 4,2–7,4 ц/га, или 25–48 %, а на почве с очень высоким содержанием подвижных фосфатов – 5,5–9,5 ц/га, или 27–47 % к контролю). Вместе с тем следует отметить, что внесение фосфорных удобрений в оптимальных дозах (в нашем опыте P<sub>60</sub>) способствует не только увеличению урожайности данной культуры, но и обуславливает достаточно высокую, по сравнению с другими вариантами, окупаемость 1 кг действующего вещества фосфора семенами рапса: на уровне 7,5 кг на почве с повышенным содержанием фосфатов и 5,8 кг на участке с очень высокой степенью обеспеченности фосфором.

Таблица 3

**Эффективность минеральных удобрений на посевах ярового рапса  
в зависимости от обеспеченности почв подвижным фосфором,  
среднее за 2001–2003 гг.**

Вариант	Обеспеченность почв P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>							
	повышенная (IV группа)				очень высокая (VI группа)			
	уро- жай- ность, ц/га	при- бавка, ц/га	окупае- мость 1 кг семян	окупае- мость 1 кг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , кг семян	уро- жай- ность, ц/га	при- бавка, ц/га	окупае- мость 1 кг NPK, кг семян	окупае- мость 1 кг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , кг семян
1. Контроль	16,9	–	–	–	20,1	–	–	–
2. N <sub>80</sub>	21,1	4,2	5,3	–	25,6	5,5	6,9	–
3. N <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	22,1	5,2	3,7	–	27,0	6,9	4,9	–
4. N <sub>150</sub>	24,3	7,4	4,9	–	29,6	9,5	6,3	–
5. N <sub>150</sub> K <sub>110</sub> – фон	26,4	9,5	3,7	–	31,3	11,2	4,3	–
6. Фон + P <sub>20</sub>	27,7	10,8	3,9	6,5	32,8	12,7	4,5	7,5
7. Фон + P <sub>40</sub>	29,9	13,0	4,3	8,8	33,7	13,6	4,5	6
8. Фон + P <sub>60</sub>	30,9	14,0	4,4	7,5	34,8	14,7	4,6	5,8
9. Фон + P <sub>80</sub>	31,4	14,5	4,3	6,3	34,6	14,5	4,3	4,1
10. Фон + P <sub>100</sub>	31,7	14,8	4,1	5,3	34,8	14,7	4,1	3,5
НСР <sub>05</sub>	1,0				1,1			

Таблица 4

**Эффективность минеральных удобрений на посевах сельскохозяйственных  
культур в зависимости от обеспеченности почв подвижным фосфором,  
среднее за 2015–2016 гг.**

Вариант	Яровой ячмень			Яровой рапс			Овес		
	уро- жай- ность, ц/га	при- бавка, ц/га	окупае- мость 1 кг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , кг зерна	уро- жай- ность, ц/га	при- бавка, ц/га	окупае- мость 1 кг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , кг семян	уро- жай- ность, ц/га	при- бавка, ц/га	окупае- мость 1 кг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 1 кг зерна
<i>Повышенная обеспеченность подвижным фосфором (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 163–220 мг/кг почвы)</i>									
1. Фон(НК)	47,3	–	–	18,9	–	–	44,7		
2. Фон + P <sub>40</sub>	50,4	3,1	7,8	21,7	2,8	7,0	48,2	3,5	8,8
3. Фон + P <sub>60</sub>	53,8	6,5	10,8	24,2	5,3	8,8	51,4	6,7	11,2
4. Фон + P <sub>100</sub>	54,3	7,0	7,0	24,7	5,8	5,8	52,3	7,6	7,6
НСР <sub>05</sub>	2,1			1,1			1,9		
<i>Очень высокая обеспеченность подвижным фосфором (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 400–424 мг/кг почвы)</i>									
1. Фон(НК)	51,0	–	–	21,4	–	–	49,9	–	–
2. Фон + P <sub>40</sub>	54,8	3,8	9,5	23,5	2,1	5,3	54,4	4,5	11,3
3. Фон + P <sub>60</sub>	55,2	4,2	7,0	25,5	4,1	6,8	53,2	3,3	5,5
4. Фон + P <sub>100</sub>	53,5	2,5	2,5	25,8	4,4	4,4	52,7	2,8	2,8
НСР <sub>05</sub>	2,2			1,2			2,0		

Двухлетние производственные испытания подтвердили полученные ранее результаты (табл. 4). Применение фосфорных удобрений обуславливает рост урожайности изучаемых сельскохозяйственных культур, которая повышается со

степенью обеспеченности почвы подвижным фосфором и дозой удобрения, что в конечном итоге и обеспечивает высокую эффективность внесенных удобрений. Так на почве с повышенной степенью обеспеченности фосфатами (175–220 мг/кг) максимальная прибавка урожайности ячменя (10,8 ц/га), ярового рапса (8,8 ц/га) и овса (6,7 ц/га) была получена при внесении  $P_{60}$  на соответствующем азотно-калийном фоне. Окупаемость 1 кг  $P_2O_5$  в этом варианте также была высокой и составила соответственно 10,8; 8,8 и 11,2 кг зерна на ячмене, яровом рапсе и овсе. На почве с очень высоким содержанием подвижного фосфора получение урожайности зерна ячменя и овса на уровне 54,8 ц/га и 54,4 ц/га при окупаемости 1 кг  $P_2O_5$  9,5 и 11,3 кг зерна соответственно обеспечило внесение  $P_{40}$  на фоне  $N_{120}K_{110}$ , а на посевах ярового рапса наибольшая урожайность (25,5 ц/га) была достигнута в варианте с применением  $N_{150}P_{60}K_{110}$ . Агрономическая эффективность внесенного фосфора в данном варианте также была максимальной (6,8 кг семян на 1 кг  $P_2O_5$ ).

## ВЫВОДЫ

1. В результате проведения полевых исследований и производственных опытов установлены оптимальные дозы фосфорных удобрений под ячмень, яровой рапс и овес в зависимости от степени обеспеченности почв подвижными фосфатами.

2. На почве с повышенной степенью обеспеченности подвижным фосфором при проведении полевых опытов (2001–2003 гг.) максимальную продуктивность обеспечило внесение  $P_{60}$  на фоне  $N_{120}K_{110}$  – на зерновых культурах и  $N_{150}K_{110}$  – на яровом рапсе. Урожайность ячменя при этом составила 50,0 ц/га, овса – 53,3 ц/га, ярового рапса – 30,9 ц/га при окупаемости 1 кг фосфора 9,5; 12,0 и 8,3 кг зерна и семян соответственно. Результаты производственных опытов (2015–2016 гг.) подтвердили полученные ранее результаты: внесение 60 кг  $P_2O_5$  на соответствующем азотно-калийном фоне обеспечило максимальную прибавку урожая зерна ячменя (6,5 ц/га), ярового рапса (5,3 ц/га) и овса (6,7 ц/га) при окупаемости 1 кг внесенного фосфора 10,8; 8,8 и 11,2 кг зерна и семян соответственно.

3. На почве с очень высоким содержанием подвижного фосфора наиболее эффективным на зерновых культурах было внесение  $P_{40}$  на фоне  $N_{120}K_{110}$ . Так, урожайность ячменя составила 52,9 и 54,8 ц/га в 2001–2003 и 2015–2016 гг. соответственно при окупаемости 1 кг  $P_2O_5$  8,8 и 9,5 кг зерна; урожайность овса была на уровне 56,6 и 54,4 ц/га при окупаемости 1 кг фосфора 10,0 и 11,3 кг зерна в полевом и производственном опытах соответственно. Максимальная урожайность маслосемян ярового рапса была получена при внесении 60 кг/га  $P_2O_5$  на фоне  $N_{150}K_{110}$  и составила 34,8 и 22,5 ц/га в полевом и производственном опытах соответственно при агрономической эффективности 1 кг внесенного фосфора 5,8 и 6,8 кг семян.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пасынкова, Е.Н. Эффективность минеральных удобрений при возделывании пленчатого и голозерного овса / Е.Н. Пасынкова, А.В. Пасынков, С.А. Баландина // Агро XXI. – 2012. – № 10–12. – С. 36–39.
2. Ионас, В.А. Система удобрения сельскохозяйственных культур / В.А. Ионас, И.Р. Вильдфлуш, С.П. Кукреш. – Минск: Ураджай, 1998. – 287 с.

3. Агрохимические аспекты возделывания озимого рапса / Ф.Н. Леонов [и др.] // Земляробства і ахова раслін. – 2009. – № 5.– С. 15–21.

4. Система применения удобрений: учебник / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: ИВЦ Минфина, 2016. – 440 с.

5. *Богдевич, И.М.* Агрохимические пути повышения плодородия дерново-подзолистых почв / И.М. Богдевич: дис. ... д-ра с.-х. наук в форме научн. докл. – Минск, 1993. – 73 с.

6. *Прудников, В.А.* Обеспеченность почвы фосфатами и эффективность фосфорного удобрения / В.А. Прудников // Льноводство Беларуси: сб. науч. статей / НАН Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию, Институт льна. – Минск: Беларуская навука. – 2015 – С. 101–111.

7. *Чумаченко, И.Н.* Фосфор в жизни растений и плодородие почв / И.Н. Чумаченко. – М.: ЦИНАО, 2003. – С. 124.

8. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

## EFFICIENCY OF FERTILIZERS IN RELATION TO MOBILE PHOSPHATE SUPPLY OF PODZOLUVISOL LOAMY SOIL

F.N. Leonov, T.G. Sinevich

### Summary

The results of field experiments with different rates of fertilizers under barley, oat and spring rapeseed in relation to mobile phosphate supply of Podzoluvisol loamy soil are presented. The grain yield of tested crops as well as crop yield response to N and K fertilizers were significantly increased on the plots with high level of P content in soil. The crop yield responses to P fertilizer conversely decreased on the soil with high P content however responses were sufficiently great at optimal doses of P fertilizer.

*Поступила 17.04.17*

УДК 633.112.9:631.82:631.559:631.445.24

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОГО ТРИТИКАЛЕ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

В.В. Лапа, Н.Н. Ивахненко, А.А. Грачева

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

### ВВЕДЕНИЕ

Озимое тритикале – сравнительно новая зерновая культура, гибрид между озимыми пшеницей и рожью, которому в последние годы в странах Западной Европы, а также в Беларуси уделяется особое внимание. Тритикале удачно сочетает

ценные качества и свойства как ржи (высокая экологическая пластичность), так и пшеницы (урожайность и качество зерна). Посевные площади под этой культурой в Беларуси постоянно увеличиваются и в настоящее время занимают около 470–480 тыс. га, уступая только Германии и Польше. Ранее проведенными исследованиями установлена различная отзывчивость сортов озимого тритикале на изменение доз минеральных удобрений и плодородие почвы [1–4]. В связи с недостаточно разработанной системой удобрения озимого тритикале с учетом биологических особенностей сорта исследования в этой области являются актуальными.

Цель исследований – изучить и определить наиболее эффективные дозы и соотношения минеральных удобрений под озимое тритикале, исходя из критериев полученной урожайности, агрономической окупаемости применяемых доз удобрений и качества зерна.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению эффективности систем удобрения при возделывании озимого тритикале на дерново-подзолистой супесчаной почве с разным содержанием фосфора и калия проводили в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя дерново-подзолистой супесчаной почвы:  $pH_{KCl}$  – 5,9–6,2, гидролитическая кислотность – 1,58–1,92, 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 гумуса – 2,5–3,0 %; содержание подвижных по Кирсанову фосфора и калия в почве 1:  $P_2O_5$  (110–170 мг/кг почвы) и  $K_2O$  (100–160 мг/кг почвы) и почве 2:  $P_2O_5$  (240–350 мг/кг почвы) и  $K_2O$  (220–350 мг/кг почвы).

Сорт Вольтарио включен в Госреестр в 2007 г. Заявитель – Польша. Сорт имеет хорошую зимостойкость, выравненный стеблестой, устойчив к полеганию, среднеустойчив к засухе. Листовыми болезнями и корневыми гнилями поражается слабо. Сорт кормового направления.

Минеральные удобрения (аммофос и хлористый калий) вносили перед посевом с заделкой культиватором на глубину 10–12 см, мочевины  $N_{80}$  – весной при возобновлении вегетации растений,  $N_{40}$  – в фазу 1–2 узла трубкавания,  $N_{30}$  – в фазу колошения. В опыте применяли регулятор роста хлормекват-хлорид (PP) 0,65 л/га в фазу начала выхода в трубку (стадия ДК 31-32) и 0,65 л/га в фазу флаг-лист (стадия ДК 37-39) и хелатное микроудобрение с биостимулятором МикроСтим-Медь Л ( $N$  – 65 г/л +  $Cu$  – 7 г/л + гуминовые вещества 0,65 г/л) вносили 0,64 л/га в фазы 1 узел и флаг-лист (табл. 1).

Общая площадь делянки – 45 м<sup>2</sup> (9 м x 5 м), учетная – 28 м<sup>2</sup> (8 м x 3,5 м), повторность вариантов – 4-кратная. Предпосевную обработку почвы и уход за растениями осуществляли в соответствии с отраслевыми регламентами [5].

Исследования проводили в зернотравяном севообороте: горохо-овсяная смесь – ячмень – озимая рожь – клевер луговой – озимое тритикале. Органические удобрения 40 т/га навоза крупного рогатого скота вносили под горохо-овсяную смесь.

Анализ почвенных и растительных образцов проводили в соответствии с общепринятыми методиками: обменную кислотность  $pH_{KCl}$  – потенциометрическим

методом (ГОСТ 26483-85), гидролитическую кислотность – по Каппену (ГОСТ 26212-84), сумму обменных оснований – по Каппену-Гильковицу (ГОСТ 27821-88), подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91), обменные кальций и магний – методом ЦИНАО (ГОСТ 26487-85), гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91). В растительных образцах после мокрого озолоения проб в смеси серной кислоты и пергидроля определяли: азот и фосфор – фотоколориметрическим индофенольным и ванадо-молибдатным методами, калия – на пламенном фотометре, кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрофотометре; статистическую обработку полученных результатов – дисперсионным анализом согласно методике полевого опыта Б.А. Доспехова [6] с использованием соответствующих программ компьютера.

Урожайность зерна дана при влажности 14 %, а соломы – 16 %.

На формирование урожая сельскохозяйственных культур, наряду с питанием растений, большое влияние оказывают водный и температурный режимы в течение вегетационного периода. Как избыток, так и недостаток влаги и тепла негативно сказываются на урожае сельскохозяйственных культур. Наиболее близкими к формированию оптимального водного и теплового режимов являются средне-многолетние показатели осадков и тепла.

Погодные условия в годы исследований различались как температурой воздуха, так и количеством выпавших осадков. Наиболее благоприятными для возделывания озимого тритикале, судя по урожайности, были погодные условия 2014 г. Средне-многолетняя температура воздуха за вегетационный период сентябрь–июль составила 1665 °С из них за апрель–июль – 1625 °С. В годы исследований сумма температур воздуха за вегетационный период сентябрь–июль составила: 2012/2013 гг. – 1955 °С, из них за апрель–июль – 1882 °С; 2013/2014 гг. – 2342,1, в апреле–июле – 1755,4; в 2014/2015 гг. – 2161,0, в апреле–июле – 1621,9. Среднее многолетнее поступление осадков за вегетационный период озимых сентябрь–июль составило 577 мм, апрель–июль – 268 мм. Осадков в 2013 г. выпало 609 мм, в 2014 г. – 488 мм, в 2015 г. – 521 мм, за вегетационный период апрель–июль поступило следующее количество осадков: 2013 г. – 268,9, в 2014 г. – 191,3 мм, в 2015 г. – 174,4 мм.

Озимые культуры в зимний период 2012–2013 гг. перезимовали плохо, т.к. снег выпал 29 октября 2012 г. и лежал до середины апреля 2013 г. Экстремальные условия вызвали поражение растений снежной плесенью. Вегетационный период в 2013 г. характеризовался повышенной температурой воздуха на 0,3–4,8 °С в сравнении с многолетними показателями и неравномерным выпадением осадков по месяцам.

В Беларуси вегетационные периоды с показателями ГТК (гидротермический коэффициент – условный показатель увлажнения по Селянинову) характеризуются: от 0,2 до 0,4 – сухие; от 0,4 до 0,7 – очень засушливые; от 0,7 до 1,0 – засушливые, от 1,0 до 1,3 – слабозасушливые, 1,3–1,6 – оптимальные, а больше 1,6 – влажные [7].

В годы исследований ГТК в течение вегетационных периодов изменялся в следующих пределах: в 2013 г. – 0,0–2,2, в 2014 г. – 0,42–2,06 и в 2015 г. – 0,11–1,36, что позволяет сделать заключение о неравномерном распределении осадков по месяцам и о некотором недостатке влаги в 2013 и 2015 гг.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ  
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

На почве с содержанием фосфора и калия ниже оптимальных параметров урожайность зерна в годы исследований (2013–2015 гг.) в варианте без удобрений формировалась на одном уровне 37,9–38,2 ц/га. Эффективность последействия 40 т/га навоза крупного рогатого скота изменялась по годам от 0,9 ц/га до 2,3 ц/га.

Эффективность минеральных удобрений на фоне последействия 40 т/га навоза крупного рогатого скота в годы исследований изменялась в пределах 2,7–43,0 ц/га. Максимальная эффективность действия минеральных удобрений 20,1–43,0 ц/га отмечена в 2014 г. при достоверном увеличении урожайности на 3,8 ц/га при дополнительном применении  $N_{30}$ , хелатного микроудобрения МикроСтим-Медь и регулятора роста хлормекват-хлорид.

На почве с содержанием фосфора и калия на уровне оптимальных параметров урожайность зерна в годы исследований в варианте без удобрений формировалась на уровне 39,8–41,8 ц/га, что на 1,8–3,6 ц/га больше, чем на почве с содержанием  $P_2O_5$  и  $K_2O$  ниже оптимальных параметров. Эффективность последействия 40 т/га навоза крупного рогатого скота изменялась в годы исследований от 1,1 ц/га до 3,7 ц/га и минеральных удобрений на фоне последействия 40 т/га навоза крупного рогатого скота – от 1,7 ц/га до 37,8 ц/га. Максимальная эффективность действия минеральных удобрений 11,8–37,8 ц/га отмечена в 2014 г. при достоверном увеличении урожайности на 5,9 ц/га при дополнительном применении регулятора роста хлормекват-хлорид на фоне последействия 40 т/га навоза крупного рогатого скота (4-й год) +  $P_{40}K_{120}$  +  $N_{80+40+30}$  + хелатное микроудобрение МикроСтим-Медь.

В среднем за три года на обеих почвах (с оптимальным содержанием  $P_2O_5$  240–350 мг/кг и  $K_2O$  220–350 мг/кг и с содержанием  $P_2O_5$  110–170 мг/кг и  $K_2O$  100–160 мг/кг) максимальная урожайность зерна озимого тритикале на одном уровне 63,4 и 63,6 ц/га формировалась при применении  $N_{80+40+30}$  + МикроСтим-Медь + хлормекват-хлорид на фоне  $P_{70}K_{150}$  и  $P_{40}K_{120}$  и последействия 40 т/га навоза крупного рогатого скота. Прибавка зерна на почве с оптимальными параметрами составила 20,9 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 6,7 кг зерна. На почве с содержанием фосфора и калия ниже оптимальных параметров прибавка к фону составила 23,7 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 6,4 кг зерна. При внесении парных комбинаций  $P_{70}$   $N_{80+40}$  и  $K_{150}N_{80+40}$  урожайность получена на одном уровне 59,9 и 59,8 ц/га, что на 11,0 и 10,9 ц/га выше чем при внесении  $P_{70}$   $K_{150}$ . Прибавка за счет применения  $N_{80+40}$  на фоне  $P_{70}K_{150}$  составила 12,7 ц/га. При дополнительном внесении  $N_{30}$  + МикроСтим-Медь + хлормекват-хлорид получена прибавка зерна только 1,8 ц/га (НСР=1,6).

На почве с оптимальными параметрами фосфора и калия при дополнительном внесении  $N_{30}$  в фазу колошения урожайность зерна практически не увеличилась, так как прибавка составила только 0,5 ц/га (НСР = 1,6). Некорневая обработка посева хелатным микроудобрением МикроСтим-Медь Л на фоне  $P_{40}K_{120}$  +  $N_{80+40+30}$  позволила дополнительно получить 1,9 ц/га (НСР = 1,6). При обработке посева регулятором роста хлормекват-хлорид (Фон +  $P_{40}K_{120}$  +  $N_{80+40+30}$  + МикроСтим-Медь + хлормекват-хлорид) дополнительно получено 1,9 ц/га зерна.

В варианте без применения фунгицидов и инсектицидов в среднем за три года недобор зерна озимого тритикале составил 8,9 ц/га (табл. 1).

Таблица 1  
Эффективность систем удобрения при возделывании озимого тритикале Вольгарио на дерново-подзолистой супесчаной почве, 2013–2015 гг.

Вариант	Урожайность, ц/га				При- бавка зерна, ц/га	Оплата 1кг удоб- рений зерном, кг	Ин- декс Зеле- ни, %	Сила муки (W), %	Чистая при- быль, \$	Рента- бель- ность, %
	зерна		сред- няя	соломы средняя за 3 года						
	2013 г.	2014 г.								
	Почва 1. Содержание $P_2O_5$ (110–170 мг/кг почвы) и $K_2O$ (100–160 мг/кг почвы)									
1. Контроль без удобрений	37,9	38,2	38,0	22,5	–	–	20,45	215,8	–	–
2. Последствие 40 т/га навоза крупного рогатого скота – фон	39,7	40,5	38,9	24,2	1,7	–	22,0	229,2	–	–
3. Фон + $P_{70}$ + $N_{80+40}$	56,8	77,7	45,3	59,9	20,2	10,6	30,5	334,8	52,0	33,3
4. Фон + $K_{150}$ + $N_{80+40}$	56,4	76,5	46,5	59,8	20,1	7,4	30,9	286,7	104,3	101,3
5. Фон + $P_{70}$ $K_{150}$	42,4	60,6	43,6	48,9	9,2	4,2	23,0	217,4	2,1	2,3
6. Фон + $P_{70}$ $K_{150}$ + $N_{80+40}$	58,6	79,7	46,6	61,6	21,9	6,5	35,1	331,3	55,8	32,8
7. Фон + $P_{70}$ $K_{150}$ + $N_{80+40+30}$ + МикроСтим-Медь Л + хлормекват-хлорид	59,8	83,5	46,8	63,4	23,7	6,4	<b>38,8</b>	<b>369,45</b>	51,9	27,0
Почва 2. Содержание $P_2O_5$ (240–350 мг/кг почвы) и $K_2O$ (220–350 мг/кг почвы)										
1. Контроль без удобрений	40,1	41,8	39,8	40,6	2,6	–	27,6	263,4	–	–
2. 40 т/га навоз крупного рогатого скота – фон	41,9	45,5	40,9	42,8	2,2	–	22,9	226,8	–	–
9. Фон + $P_{40}$ + $N_{80+40}$	56,2	79,3	46,7	60,7	18,0	11,2	33,4	338,6	61,0	49,1
10. Фон + $K_{120}$ + $N_{80+40}$	52,2	76,1	45,7	58,0	15,2	6,3	34,2	327,0	66,0	72,8
8. Фон + $P_{40}$ $K_{120}$	43,6	57,3	45,5	48,8	6,0	3,8	25,2	231,4	5,0	8,8
7. Фон + $P_{40}$ $K_{120}$ + $N_{80+40}$	54,8	74,7	47,1	58,9	16,1	5,8	35,8	339,2	37,2	28,9
11. Фон + $P_{40}$ $K_{120}$ + $N_{80+40+30}$	55,5	75,5	47,7	59,6	16,8	5,4	<b>38,5</b>	353,9	30,3	21,2
12. Фон + $P_{40}$ $K_{120}$ + $N_{80+40+30}$ + МикроСтим-Медь Л	58,4	77,4	48,6	61,5	18,7	6,0	36,3	344,6	39,9	26,1
13. Фон + $P_{40}$ $K_{120}$ + $N_{80+40+30}$ + МикроСтим-Медь хлормекват-хлорид	60,8	83,3	46,8	63,6	20,9	6,7	37,9	<b>360,7</b>	<b>52,0</b>	<b>31,8</b>
10. $P_{40}$ $K_{120}$ + $N_{80+40+30}$ + МикроСтим-Медь + хлормекват-хлорид (без фунгицидов и инсектицидов)	49,8	67,4	47,0	54,7	12,0	3,9	33,9	324,0	-21,2	-14,6
НСР <sub>05</sub>	2,58	2,92	2,98	1,6	3,1		2,2	21,0		

Примечание.  $N_{80}$  – фаза возобновления вегетации растений весной;  $N_{40}$  – фаза 1–2 узел трубкувания и  $N_{30}$  – фаза колошения; МикроСтим-Медь фаза 1–2 узел трубкувания и последний лист; хлормекват-хлорид (РР) 0,65 л/га в фазу начала выхода в трубку (стадия ДК 31–32) и 65 л/га в фазу флаг-лист (стадия ДК 37–39).

Максимальная рентабельность 101,3 получена при применении  $K_{150} + N_{80+40}$  на фоне последствия органических удобрений (4-й год) на дерново-подзолистой супесчаной почве с содержанием фосфора и калия в пахотном слое ниже оптимальных параметров при прибыли 104,3 \$. Хотя при применении  $P_{70} + N_{80+40}$  получена практически такая же прибавка, как и при внесении  $K_{750} + N_{80+40}$ , однако рентабельность и прибыль оказались в два раза меньше – 33,3 и 52,0 \$ соответственно.

На почве с содержанием фосфора и калия на уровне оптимальных параметров при внесении меньших доз минеральных удобрений максимальная рентабельность и прибыль оказались гораздо ниже. Так при применении  $K_{120} + N_{80+40}$  получена прибыль 66 \$ при рентабельности 72,8. При максимальной в опыте урожайности 63,6 ц/га при внесении  $P_{40}K_{120} + N_{80+40+30}$  + МикроСтим-Медь + хлор-мекват-хлорид получена прибыль 52,0 \$ США при рентабельности 31,8.

Урожайность соломы в среднем за три года изменялась от 22,5 ц/га в варианте без удобрений и до 37,7 ц/га на почве с содержанием фосфора и калия ниже оптимальных параметров и от 26,1 ц/га до 42,3 ц/га на почве с оптимальными показателями фосфора и калия. Отношение соломы к зерну изменялось в пределах 0,41–0,48 на обеих почвах (табл. 1).

Наряду с показателями урожайности, при возделывании озимого тритикале большое значение имеет качество зерна.

Для оценки качества зерна и силы муки, изготавливаемой из этого зерна, применяют индекс Зелени и показатель  $W$  – хлебопекарная сила муки по Альвеографу. Индекс Зелени (показатель седиментации) – оценивает способность набухания муки, что характеризует качество протеинового комплекса зерна (<14 – очень низкий; >47 – высокий).

В среднем за два года (2014–2015 гг.) максимальный показатель индекса Зелени 38,5 % при применении системы удобрения Фон +  $P_{40}K_{120} + N_{80} + N_{40} + N_{30}$  на почве с оптимальным содержанием фосфора и калия. В варианте без фунгицидной и инсектицидной защиты индекс Зелени в среднем за два года на 4 % ниже, чем при применении средств защиты (табл. 1).

В вариантах с парными комбинациями  $P_{40}N_{80+40}$ ,  $P_{70}N_{80+40}$  и  $K_{120}N_{80+40}$  и  $K_{150}N_{80+40}$  качество зерна значительно лучше, чем при применении парных комбинаций фосфорных и калийных удобрений  $P_{70}K_{150}$  и  $P_{40}K_{120}$ . При применении комплексного удобрения МикроСтим-Медь на фоне  $P_{40}K_{120} + N_{80} + N_{40} + N_{30}$  качество зерна озимого тритикале не улучшалось. В варианте без фунгицидной и инсектицидной защиты показатели качества достоверно ниже: индекс Зелени – на 8,8 % , хлебопекарная сила муки ( $W$ ) – на 96,7 % (табл. 1).

Максимальная урожайность зерна озимого тритикале при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве с содержанием фосфора и калия ниже оптимальных параметров в среднем за три года на 59,9 формировалась за счет почвенного плодородия; последствие 40 т/га органических удобрений (4-й год) обеспечило только 2,7 %, доля фосфорных и калийных удобрений составила 14,5. Высока роль азотных удобрений в формировании урожайности зерна тритикале – 22,9 %. Роль почвенного плодородия в формировании урожайности зерна озимого тритикале на почве с содержанием фосфора и калия на уровне оптимальных параметров составила 63,8 %, что на 3,8 % выше, чем на почве с более низким содержанием  $P_2O_5$  и  $K_2O$ . При этом значение последствия ор-

ганических удобрений, действия азотных, фосфорных и калийных снижается до 37,2 % против 40,1 % на почве с содержанием  $P_2O_5$  и  $K_2O$  ниже оптимальных параметров (табл. 2).

Таблица 2

**Участие исследуемых факторов в формировании урожайности озимого тритикале при различном содержании фосфора и калия (2013–2015 гг.)**

Факторы	Содержание $P_2O_5$ (110–170 мг/кг почвы) и $K_2O$ (100–160 мг/кг почвы)		Содержание $P_2O_5$ (240–350 мг/кг почвы) и $K_2O$ (220–350 мг/кг почвы)	
	Урожайность			
	ц/га	%	ц/га	%
Почва	38,0	59,9	40,6	63,8
Последствие 40 т/га навоза крупного рогатого скота	1,7	2,7	2,2	3,5
РК – удобрения	9,2	14,5	6,0	9,4
N – удобрение + МикроСтим-Медь Л + хлормекват-хлорид	14,5	22,9	14,8	23,3
Урожайность, ц/га	63,4	100	63,6	100

Масса 1000 семян, как один из физических показателей качества зерна изменялась в зависимости от погодных условий, системы удобрения и агрохимических показателей почв. В годы исследований на обеих почвах и во всех вариантах минимальная масса 1000 семян отмечена в 2015 г., а максимальная – в 2013 г. В среднем за три года при применении азотного удобрения (карбамид) масса 1000 семян имела тенденцию или достоверно снижалась.

На почве с содержанием  $P_2O_5$  и  $K_2O$  ниже оптимальных параметров в варианте без удобрений масса 1000 семян изменялась от 39,01 г в 2015 г. до 48,59 г в 2013 г., разница в весе составила 9,58 г. В среднем за три года максимальная масса 47,75 г отмечена в варианте с применением  $P_{70}K_{150}$  с изменениями по годам от 42,69 г до 50,70 г – разница в весе 8,01 г.

На почве с содержанием  $P_2O_5$  и  $K_2O$  на уровне оптимальных параметров в варианте без удобрений и в фоновом варианте масса 1000 семян была больше, чем в этих же вариантах на почве с содержанием фосфора и калия ниже оптимальных параметров и изменялась от 41,06 г в 2015 г. до 50,65 г в 2013 г. – изменение в массе 9,59 г. Под влиянием удобрений масса 1000 семян изменялась значительно меньше и практически снижалась по отношению к варианту без удобрений и к фону (последствие 40 т/га навоза крупного рогатого скота) и несколько превышала массу 1000 семян, полученную на почве с более низкими показателями фосфора и калия. В среднем за три года масса 1000 семян изменялась от 44,06 г в варианте без фунгицидов и инсектицидов до 47,79 г при применении  $P_{40}K_{120}$  на фоне последствия органических удобрений (табл. 3).

Увеличение общего количества белка в зерне решает одну из проблем качества зерна, идущего на корм. Известно, что азотные удобрения – основное средство повышения белковости зерна.

Погодные условия 2015 г. способствовали влиянию минеральных удобрений на синтез белка в зерне озимого тритикале по сравнению с 2014 и 2013 гг.

## Влияние систем удобрения на качество зерна озимого тритикале

№ п/п	Масса 1000 зерен, г				Белок, мг/кг				Сбор белка, кг/га			
	2013 г.	2014 г.	2015 г.	среднее	2013 г.	2014 г.	2015 г.	среднее	2013 г.	2014 г.	2015 г.	среднее
<i>Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (110–170 мг/кг почвы) и K<sub>2</sub>O (100–160 мг/кг почвы)</i>												
1	48,59	47,64	39,01	45,08	9,6	8,9	8,8	9,1	313	292	288	298
2	49,01	47,89	40,86	45,92	9,8	8,8	11,1	9,9	335	307	371	337
3	47,09	46,8	40,37	44,75	10,5	11,0	14,3	11,9	513	735	557	602
4	48,49	49,47	42,13	46,70	10,5	10,7	13,8	11,7	509	704	552	589
5	50,70	49,85	42,69	47,75	10	8,5	12,7	10,4	365	443	475	428
6	48,08	46,09	39,77	44,65	10,8	11,2	14,6	12,2	544	768	586	633
7	46,67	47,54	38,33	44,18	12	11,9	15,1	13,0	617	855	608	693
5	51,09	48,84	43,43	47,79	9,4	9,2	11,4	10,0	352	453	446	417
6	47,7	46,66	38,87	44,41	11,1	10,9	15,5	12,5	523	700	626	616
7	49,24	47,53	39,12	45,30	12,3	11,6	15,2	13,0	587	753	625	655
8	48,42	46,67	39,88	44,99	11,9	11,9	15,2	13,0	598	792	636	675
9	48,15	47,52	40,32	45,33	12,1	11,8	15,6	13,2	633	845	627	702
10	45,89	45,4	40,9	44,06	11,3	12,6	16,0	13,3	484	730	647	620
НСР <sub>05</sub>	1,2	1,0	1,03		0,7	0,5	0,54		23,4	23,3	17,8	

На почве с показателями фосфора и калия ниже оптимальных параметров максимальные различия в содержании белка по годам составили 4,2 при применении P<sub>70</sub>K<sub>150</sub>; максимальные различия от применяемой системы удобрения 6,3 % – в 2015 г.

На почве с показателями фосфора и калия на уровне оптимальных параметров максимальные различия в содержании белка по годам составили 4,6 при применении P<sub>40</sub>K<sub>120</sub> + N<sub>80+40</sub> и 4,7 % – при P<sub>40</sub>K<sub>120</sub> + N<sub>80+40+30</sub> + МикроСтим-Медь + РР без фунгицидной и инсектицидной защиты; максимальные различия от применяемой системы удобрения 6,8 % – в 2015 г.

Содержание белка на почвах с разными показателями фосфора и калия практически изменялось в одних пределах. На почве с содержанием фосфора и калия ниже оптимальных параметров в варианте без удобрений по годам содержание белка изменялось от 8,8 % до 9,6 % с разницей 0,8 %. На почве с содержанием фосфора и калия на уровне оптимальных параметров в варианте без удобрений содержание белка по годам изменялось от 9,2 % до 9,5 % с разницей 0,3 %. В среднем за три года максимальное содержание белка 13,0–13,3 % отмечено в вариантах с внесением N<sub>80+40+30</sub> на фоне P<sub>40,70</sub>K<sub>120,150</sub> и N<sub>80+40+30</sub> на фоне P<sub>40,70</sub>K<sub>120,150</sub> + МикроСтим-Медь + РР и P<sub>40</sub>K<sub>120</sub> + N<sub>80+40+30</sub> + МикроСтим-Медь + РР без фунгицидной и инсектицидной защиты на фоне последствия 40 т/га навоза крупного рогатого скота. При применении указанных систем удобрения получен и самый высокий сбор белка 655–702 кг/га. Сбор белка определялся урожайностью

и содержанием белка в зерне и в среднем изменялся от 298 кг в варианте без удобрений до 693 кг/га в варианте  $P_{70}K_{150} + N_{80+40+30} + \text{МикроСтим-Медь} + \text{PP}$  на фоне последействия навоза крупного рогатого скота. На почве с содержанием фосфора и калия на уровне оптимальных параметров в среднем за три года изменялось содержание белка от 9,3 до 13,3 %. Максимальное содержание белка 13,2 и 13,3 отмечено в вариантах с внесением на фоне последействия навоза крупного рогатого скота:  $P_{40}K_{120} + N_{80+40+30} + \text{МикроСтим-Медь} + \text{PP}$  и  $P_{40}K_{120} + N_{80+40+30} + \text{МикроСтим-Медь} + \text{PP}$  без фунгицидов и инсектицидов. Сбор белка в среднем изменялся от 325 кг/га в варианте без удобрений до 702 кг/га при применении  $P_{40}K_{120} + N_{80+40+30} + \text{МикроСтим-Медь} + \text{PP}$ .

При применении системы удобрения  $P_{40}K_{120} + N_{80+40+30} + \text{МикроСтим-Медь} + \text{PP}$  без фунгицидной и инсектицидной защиты недобор белка составил 82 кг/га (табл. 3).

Основные элементы питания (азот, фосфор, калий, кальций, магний), влияющие на биохимические и физиологические процессы, протекающие в клетках растений в период вегетации, и, следовательно, на урожай и его качество изменялись в зависимости от применяемой системы удобрения (таблица 4).

Максимальное содержание азота, кальция и магния в зерне отмечено в 2015 г., минимальное – в 2014 г. Максимальное содержание фосфора и калия в зерне обнаружено в 2013 г., а минимальное – в 2014 г. Максимальное содержание в соломе азота и калия обнаружено в 2015 г., минимальное содержание азота и фосфора – в 2014 г.

В среднем за три года с нарастанием дозы азотного удобрения содержание в зерне и соломе азота, фосфора и калия увеличивалось. Максимальное содержание фосфора, калия и магния в зерне и соломе наблюдалось при применении  $N_{80+40+30} + \text{МикроСтим-Медь Л} + \text{хлормекват-хлорид}$  на фоне  $P_{70}K_{150}$  и  $P_{40}K_{120}$  (табл. 4).

Хозяйственный вынос элементов питания определялся дозами минеральных удобрений, урожайностью и содержанием элементов в основной и побочной продукции.

На почве с содержанием фосфора и калия ниже оптимальных показателей максимальный хозяйственный вынос элементов питания характерен для системы применения удобрений с дозой азота 150 кг д.в./га ( $P_{70}K_{150} + N_{80+40+30} + \text{МикроСтим-Медь Л} + \text{хлормекват-хлорид}$ ).

На почве с содержанием фосфора и калия на уровне оптимальных показателей максимальный хозяйственный вынос элементов питания составил: азот – 144,1, фосфор – 63,7, калий – 136,5, кальций – 12,3 и магний – 14,5 кг и характерен для системы удобрения  $P_{40}K_{120} + N_{80+40+30} + \text{МикроСтим-Медь Л} + \text{хлормекват-хлорид}$ .

Удельный вынос основных элементов питания (с одной тонной зерна и соответствующим количеством соломы), который чаще используется в агрохимической практике для расчета доз удобрений при оптимальной урожайности на обеих почвах составил: азот – 22,4, фосфор – 10,5, калий – 17,7, кальций – 2,0 и магний – 2,5 кг и азот – 23,6, фосфор – 10,6, калий – 22,8, кальций – 2,1 и магний – 2,5 кг/т.

Таким образом, на почве с оптимальными показателями фосфора и калия при внесении меньшей дозы  $P_2O_5$  и  $K_2O$  ( $P_{40}K_{120}$ ) хозяйственный и удельный вынос элементов питания выше, чем на почве с показателями  $P_2O_5$  и  $K_2O$  ниже оптимальных показателей (табл. 6).

Таблица 4

Влияние систем удобрений на содержание элементов питания в зерне озимого тритикале, 2013–2015 гг.

Вариант		Содержание элементов питания, в сухом веществе																		
		зерно																		
		N общ.					P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					K <sub>2</sub> O								
2013	2014	2015	сред-нее	2013	2014	2015	сред-нее	2013	2014	2015	сред-нее	2013	2014	2015	сред-нее	2013	2014	2015	сред-нее	
<i>Почва 1. Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (110–170 мг/кг почвы) и K<sub>2</sub>O (100–160 мг/кг почвы)</i>																				
1	1,69	1,57	1,56	1,61	0,87	0,73	0,72	0,77	0,70	0,62	0,62	0,65	0,05	0,09	0,12	0,09	0,16	0,21	0,23	0,20
2	1,74	1,56	1,97	1,76	0,84	0,72	0,76	0,77	0,66	0,61	0,64	0,64	0,05	0,09	0,08	0,07	0,16	0,21	0,23	0,20
3	1,87	1,94	2,53	2,11	0,84	0,77	0,87	0,83	0,70	0,67	0,68	0,68	0,05	0,06	0,07	0,06	0,16	0,22	0,26	0,21
4	1,87	1,90	2,45	2,07	0,82	0,77	0,78	0,79	0,71	0,65	0,66	0,67	0,07	0,07	0,09	0,08	0,15	0,22	0,22	0,20
5	1,77	1,51	2,25	1,84	0,90	0,74	0,76	0,80	0,70	0,64	0,66	0,67	0,07	0,07	0,07	0,07	0,16	0,20	0,22	0,19
6	1,91	1,99	2,59	<b>2,16</b>	0,97	0,78	0,84	<b>0,86</b>	0,85	0,68	0,72	<b>0,75</b>	0,07	0,07	0,11	0,08	0,16	0,21	0,24	0,20
7	2,12	2,10	2,68	<b>2,30</b>	0,99	0,83	0,93	<b>0,92</b>	0,75	0,68	0,77	<b>0,73</b>	0,04	0,07	0,10	0,07	0,16	0,22	0,26	0,21
<i>Почва 2. Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (240–350 мг/кг почвы) и K<sub>2</sub>O (220–350 мг/кг почвы)</i>																				
1	1,68	1,62	1,64	1,65	1,03	0,74	0,78	0,85	0,68	0,62	0,69	0,66	0,05	0,06	0,09	0,07	0,16	0,19	0,23	0,19
2	1,92	1,59	1,99	1,83	0,98	0,74	0,74	0,82	0,73	0,64	0,62	0,66	0,06	0,08	0,08	0,07	0,16	0,22	0,20	0,19
9	1,89	1,99	2,69	2,19	0,90	0,78	0,85	0,84	0,73	0,67	0,74	0,71	0,06	0,07	0,10	0,08	0,15	0,20	0,23	0,19
10	2,10	1,93	2,54	2,19	0,95	0,82	0,87	0,88	0,78	0,67	0,75	0,73	0,05	0,08	0,10	0,08	0,16	0,21	0,23	0,20
8	1,67	1,64	2,02	1,78	0,91	0,75	0,78	0,81	0,72	0,65	0,70	0,69	0,06	0,08	0,11	0,08	0,15	0,22	0,23	0,20
7	1,96	1,93	2,74	2,21	0,89	0,74	0,88	0,84	0,70	0,67	0,74	0,70	0,06	0,07	0,09	0,07	0,15	0,21	0,23	0,20
11	2,17	2,06	2,70	<b>2,31</b>	0,97	0,80	0,86	<b>0,88</b>	0,79	0,61	0,71	0,70	0,05	0,09	0,10	0,08	0,16	0,19	0,23	0,19
12	2,12	2,12	2,69	<b>2,31</b>	0,93	0,80	0,83	<b>0,85</b>	0,71	0,65	0,70	0,69	0,06	0,07	0,09	0,07	0,15	0,20	0,22	0,19
13	2,14	2,08	2,76	<b>2,33</b>	0,98	0,82	0,90	<b>0,90</b>	0,88	0,71	0,71	<b>0,77</b>	0,07	0,09	0,07	0,08	0,16	0,23	0,24	0,21
10	2,01	2,23	2,83	<b>2,36</b>	0,94	0,77	0,83	0,85	0,66	0,66	0,68	0,67	0,05	0,08	0,12	0,08	0,14	0,23	0,23	0,20
НСР	0,14	0,16	0,20		0,06	0,05	0,08		0,04	0,05	0,05		0,006	0,02	0,68		0,15	0,01	0,01	

Таблица 5

**Влияние систем удобрения на содержание элементов питания в соломе озимого тритикале, 2013–2015 гг.**

Ва-риант		Содержание элементов питания, в сухом веществе																																						
		солома																																						
		N общ.						P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>						K <sub>2</sub> O						CaO						MgO														
		2013	2014	2015	сред-нее	2013	2014	2015	сред-нее	2013	2014	2015	сред-нее	2013	2014	2015	сред-нее	2013	2014	2015	сред-нее	2013	2014	2015	сред-нее	2013	2014	2015	сред-нее											
		<i>Почва 1. Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (110–170 мг/кг почвы) и K<sub>2</sub>O (100–160 мг/кг почвы)</i>																																						
1	0,43	0,27	0,51	0,40	0,65	0,35	0,16	0,39	1,27	1,48	1,47	1,41	0,22	0,19	0,24	0,22	0,10	0,20	0,21	0,17	0,43	0,27	0,51	0,40	0,65	0,35	0,16	0,39	1,27	1,48	1,47	1,41	0,22	0,19	0,24	0,22	0,10	0,20	0,21	0,17
2	0,52	0,26	0,49	0,42	0,58	0,35	0,17	0,37	1,31	1,68	1,59	1,53	0,22	0,16	0,22	0,20	0,10	0,18	0,15	0,14	0,52	0,26	0,49	0,42	0,58	0,35	0,17	0,37	1,31	1,68	1,59	1,53	0,22	0,16	0,22	0,20	0,10	0,18	0,15	0,14
3	0,41	0,37	0,74	0,51	0,76	0,28	0,22	0,42	1,49	1,75	1,71	1,65	0,31	0,24	0,28	0,28	0,10	0,21	0,25	0,19	0,41	0,37	0,74	0,51	0,76	0,28	0,22	0,42	1,49	1,75	1,71	1,65	0,31	0,24	0,28	0,28	0,10	0,21	0,25	0,19
4	0,42	0,37	0,65	0,48	0,80	0,30	0,18	0,43	1,69	2,20	2,54	2,14	0,26	0,18	0,27	0,24	0,08	0,16	0,18	0,14	0,42	0,37	0,65	0,48	0,80	0,30	0,18	0,43	1,69	2,20	2,54	2,14	0,26	0,18	0,27	0,24	0,08	0,16	0,18	0,14
5	0,37	0,26	0,55	0,39	0,77	0,35	0,20	0,44	1,70	2,18	2,30	2,06	0,24	0,19	0,28	0,24	0,08	0,17	0,21	0,15	0,37	0,26	0,55	0,39	0,77	0,35	0,20	0,44	1,70	2,18	2,30	2,06	0,24	0,19	0,28	0,24	0,08	0,17	0,21	0,15
6	0,46	0,41	0,77	0,55	0,65	0,35	0,31	0,44	1,95	2,51	2,44	2,30	0,24	0,22	0,29	0,25	0,07	0,14	0,24	0,15	0,46	0,41	0,77	0,55	0,65	0,35	0,31	0,44	1,95	2,51	2,44	2,30	0,24	0,22	0,29	0,25	0,07	0,14	0,24	0,15
7	0,41	0,40	0,61	0,47	0,69	0,35	0,23	0,42	1,84	2,35	2,46	2,22	0,28	0,23	0,31	0,27	0,07	0,14	0,22	0,14	0,41	0,40	0,61	0,47	0,69	0,35	0,23	0,42	1,84	2,35	2,46	2,22	0,28	0,23	0,31	0,27	0,07	0,14	0,22	0,14
		<i>Почва 2. Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (240–350 мг/кг почвы) и K<sub>2</sub>O (220–350 мг/кг почвы)</i>																																						
1	0,39	0,27	0,47	0,38	0,86	0,38	0,18	0,47	1,45	1,76	2,24	1,82	0,19	0,18	0,24	0,20	0,08	0,19	0,15	0,14	0,39	0,27	0,47	0,38	0,86	0,38	0,18	0,47	1,45	1,76	2,24	1,82	0,19	0,18	0,24	0,20	0,08	0,19	0,15	0,14
2	0,39	0,28	0,48	0,38	0,64	0,38	0,14	0,39	1,60	1,70	2,31	1,87	0,21	0,17	0,29	0,22	0,07	0,18	0,16	0,14	0,39	0,28	0,48	0,38	0,64	0,38	0,14	0,39	1,60	1,70	2,31	1,87	0,21	0,17	0,29	0,22	0,07	0,18	0,16	0,14
9	0,42	0,41	0,76	0,53	0,66	0,39	0,29	0,45	2,14	2,60	2,60	2,45	0,24	0,20	0,34	0,26	0,05	0,13	0,23	0,14	0,42	0,41	0,76	0,53	0,66	0,39	0,29	0,45	2,14	2,60	2,60	2,45	0,24	0,20	0,34	0,26	0,05	0,13	0,23	0,14
10	0,43	0,34	0,79	0,52	0,75	0,33	0,47	0,52	2,28	2,45	2,94	2,56	0,25	0,15	0,31	0,24	0,06	0,10	0,22	0,13	0,43	0,34	0,79	0,52	0,75	0,33	0,47	0,52	2,28	2,45	2,94	2,56	0,25	0,15	0,31	0,24	0,06	0,10	0,22	0,13
8	0,34	0,27	0,49	0,37	0,92	0,35	0,21	0,49	1,65	2,14	2,64	2,14	0,18	0,15	0,25	0,19	0,06	0,15	0,15	0,12	0,34	0,27	0,49	0,37	0,92	0,35	0,21	0,49	1,65	2,14	2,64	2,14	0,18	0,15	0,25	0,19	0,06	0,15	0,15	0,12
7	0,42	0,39	0,62	0,48	0,68	0,37	0,19	0,41	2,05	2,55	2,38	2,33	0,29	0,20	0,29	0,26	0,08	0,13	0,19	0,13	0,42	0,39	0,62	0,48	0,68	0,37	0,19	0,41	2,05	2,55	2,38	2,33	0,29	0,20	0,29	0,26	0,08	0,13	0,19	0,13
11	0,42	0,41	0,73	0,52	0,75	0,37	0,29	0,47	2,38	2,75	2,78	2,64	0,23	0,17	0,25	0,22	0,05	0,12	0,19	0,12	0,42	0,41	0,73	0,52	0,75	0,37	0,29	0,47	2,38	2,75	2,78	2,64	0,23	0,17	0,25	0,22	0,05	0,12	0,19	0,12
8	0,43	0,40	0,76	0,53	0,63	0,36	0,28	0,42	2,42	2,35	2,83	2,53	0,26	0,19	0,33	0,26	0,05	0,11	0,24	0,13	0,43	0,40	0,76	0,53	0,63	0,36	0,28	0,42	2,42	2,35	2,83	2,53	0,26	0,19	0,33	0,26	0,05	0,11	0,24	0,13
9	0,47	0,39	0,83	0,56	0,69	0,33	0,28	0,43	2,48	2,61	3,04	2,71	0,25	0,18	0,32	0,25	0,07	0,11	0,24	0,14	0,47	0,39	0,83	0,56	0,69	0,33	0,28	0,43	2,48	2,61	3,04	2,71	0,25	0,18	0,32	0,25	0,07	0,11	0,24	0,14
10	0,42	0,41	0,71	0,51	0,79	0,35	0,35	0,50	1,84	2,2	2,62	2,22	0,26	0,28	0,27	0,27	0,09	0,14	0,19	0,14	0,42	0,41	0,71	0,51	0,79	0,35	0,35	0,50	1,84	2,2	2,62	2,22	0,26	0,28	0,27	0,27	0,09	0,14	0,19	0,14
НСР	0,02	0,02	0,03		0,04	0,02	0,02		0,11	0,14	0,15		0,01	0,01	0,02		0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03		0,04	0,02	0,02		0,11	0,14	0,15		0,01	0,01	0,02		0,01	0,01	0,01	0,01

Таблица 6

Влияние систем удобрения на общий и удельный вынос элементов питания озимым тритикале Вольгарю, в среднем за три года (2013-2015 гг.)

№ п/п	Вынос элементов питания,									
	общий, кг/га					удельный, кг/т				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
<i>Почва 1. Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (110–170 мг/кг почвы) и K<sub>2</sub>O (100–160 мг/кг почвы)</i>										
1	60,5	32,1	46,1	6,3	9,0	15,9	8,9	12,1	1,6	2,4
2	68,9	33,0	51,3	5,8	8,8	17,4	8,8	12,9	1,5	2,2
3	121,5	54,1	78,0	10,4	14,8	21,0	9,6	13,4	1,9	2,6
4	118,6	52,9	96,6	9,9	12,7	20,4	9,3	16,7	1,8	2,2
5	85,4	42,9	77,9	7,8	11,2	17,9	9,3	16,1	1,7	2,3
6	129,5	58,9	111,7	11,4	14,3	21,7	10,1	18,7	2,0	2,4
7	<b>137,4</b>	<b>62,5</b>	<b>106,4</b>	<b>11,4</b>	<b>14,5</b>	<b>22,4</b>	<b>10,5</b>	<b>17,7</b>	<b>2,0</b>	<b>2,5</b>
<i>Почва 2. Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (240–350 мг/кг почвы) и K<sub>2</sub>O (220–350 мг/кг почвы)</i>										
1	66,3	40,3	63,8	6,6	9,4	16,4	10,4	15,7	1,7	2,3
2	76,5	38,3	66,1	7,2	9,4	18,0	9,4	15,5	1,7	2,2
3	128,2	57,4	110,8	10,8	13,4	21,8	10,0	18,8	1,9	2,3
4	120,6	56,8	104,6	9,2	12,3	21,4	10,5	18,6	1,7	2,2
5	83,2	46,2	81,3	7,5	10,5	17,2	10,1	16,7	1,6	2,1
6	123,8	52,8	106,2	10,7	12,7	21,7	9,5	18,7	1,9	2,3
7	132,0	58,3	116,8	9,8	12,8	22,8	10,4	20,1	1,7	2,2
8	136,6	58,1	116,1	11,2	13,4	22,8	10,0	19,6	2,0	2,3
9	<b>144,1</b>	<b>63,7</b>	<b>136,5</b>	<b>12,3</b>	<b>14,5</b>	<b>23,6</b>	<b>10,6</b>	<b>22,8</b>	<b>2,1</b>	<b>2,5</b>
10	123,6	52,2	89,7	9,6	11,8	22,9	10,1	16,8	1,8	2,2

Таким образом, при возделывании озимого тритикале сорта Вольтарио на дерново-подзолистой супесчаной почве с разным содержанием фосфора и калия применение минеральных удобрений оказало значительное влияние на урожайность и качество зерна.

## ВЫВОДЫ

1. В среднем за три года на обеих почвах: с оптимальным содержанием  $P_2O_5$  (240–350 мг/кг) и  $K_2O$  (220–350 мг/кг) и ниже оптимального  $P_2O_5$  (110–170 мг/кг) и  $K_2O$  (100–160 мг/кг) максимальная урожайность зерна озимого тритикале на одном уровне 63,4 и 63,6 ц/га формировалась при применении  $N_{80+40+30}$  + МикроСтим-Медь<sub>0,05</sub> + хлормекват-хлорид на фоне  $P_{70}K_{150}$  и  $P_{40}K_{120}$  и последействия (4-й год) 40 т/га навоза крупного рогатого скота. Прибавка зерна на почве с оптимальными параметрами составила 20,9 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 6,7 кг зерна. На почве с содержанием фосфора и калия ниже оптимальных параметров прибавка к фону составила 23,7 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 6,4 кг зерна. В варианте без применения фунгицидов и инсектицидов в среднем за три года недобор зерна озимого тритикале составил 8,9 ц/га.

2. Максимальная рентабельность 101,3 получена при применении  $K_{150} + N_{80+40}$  на фоне последействия органических удобрений (4-й год) на дерново-подзолистой супесчаной почве с содержанием фосфора и калия в пахотном слое ниже оптимальных параметров при прибыли 104,3 \$. При применении  $P_{70} + N_{80+40}$  получена практически такая же прибавка, как и при внесении  $K_{150} + N_{80+40}$  однако, рентабельность и прибыль оказались в два раза меньше – 33,3 и 52,0 \$ соответственно.

3. В среднем за два года (2014–2015 гг.) максимальный показатель Индекса Зелени 38,5 % при применении системы удобрения Фон +  $P_{40}K_{120} + N_{80} + N_{40} + N_{30}$  на почве с оптимальным содержанием фосфора и калия. В варианте без фунгицидной и инсектицидной защиты показатели качества достоверно ниже, чем при оптимальной системе удобрения: индекс Зелени – на 8,8 %, хлебопекарная сила муки ( $W$ ) – на 96,7 %.

4. Роль почвенного плодородия в формировании урожайности зерна озимого тритикале на почве с содержанием фосфора и калия на уровне оптимальных параметров составила 63,8 %, что на 3,8 % выше, чем на почве с более низким содержанием  $P_2O_5$  и  $K_2O$ . При этом значение последействия органических удобрений, действия азотных, фосфорных и калийных снижается до 37,2 % против 40,1 % на почве с содержанием  $P_2O_5$  и  $K_2O$  ниже оптимальных параметров.

5. На почве с оптимальными показателями фосфора и калия при внесении меньшей дозы  $P_2O_5$  и  $K_2O$  ( $P_{40}K_{120}$ ) хозяйственный и удельный вынос элементов питания выше, чем на почве с показателями  $P_2O_5$  и  $K_2O$  ниже оптимальных показателей при внесении  $P_{70}K_{150}$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочурко, В.И. Особенности формирования урожая зерна озимого тритикале в зависимости от приемов возделывания / В.И. Кочурко. – Горки: БГСХА, 2002. – 112 с.

2. *Бутшевич, В.Н.* Семеноводство озимого тритикале / В.Н. Бутшевич, Т.М. Буланова, Т.М. Крылова // Белорус. сельское хозяйство. – 2004. – № 1. – С. 23–25.
3. Влияние доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимого тритикале при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве / В.В. Лапа, Н.Н. Ивахненко / *Агрохимия*. – 2008. – № 5. С. 1–7.
4. *Савчик, М.В.* Озимое тритикале / М.В. Савчик, И.Е. Мартыненко. – Минск, 2001. – 42 с.
5. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов / Ин. аграр. экономики НАН Беларуси; рук. разработ. В.Г. Гусаков и [др.]. – Минск: Белорус. наука, 2012. – 460 с.
6. *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.
7. *Мельник, В.И.* Агроклиматические ресурсы Белорусской ССР / В.И. Мельник, М.А. Гольберг. – Минск, 1985. – 450 с.

## EFFECTIVENESS OF FERTILIZER SYSTEMS FOR WINTER TRITICALE GROWING ON LUVISOL LOAMY SAND SOIL

V.V. Lapa, N.N. Ivakhnenko, A.A. Gracheva

### Summary

The influence of fertilizer systems on the yield and quality of winter triticales grown in grain-grass-rum crop rotation after red clover on Luvisol loamy sand soil characterized by different P and K contents (at the level of optimal parameters –  $P_2O_5$  240–350 mg/kg and  $K_2O$  220–350 mg/kg) and lower ( $P_2O_5$  110–170 mg/kg and  $K_2O$  100–160 mg/kg) was discussed. It was found that at both soils maximal grain yields of winter triticales, 63,4 and 63,6 c/ha were obtained under application of  $N_{80+40+30}$  + MicroStim-Copper<sub>0.05</sub> + chlormekvat-chloride at the background of  $P_{70}K_{150}$  and  $P_{40}K_{120}$  as well as aftereffect of 40 t/ha-1 FYM (4 th year). Grain response at the soil with optimal parameters of  $P_2O_5$  and  $K_2O$  was equal to 20,9 c ha<sup>-1</sup>, payback of 1 kg NPK – 6,7 kg of grain. Grain response at the soil with lower contents of  $P_2O_5$  and  $K_2O$  was equal to 23,7 c/ha payback of 1 kg NPK – 6,4 kg of grain. At the treatment without fungicides and insecticides application average (for 3 years) grain yield reduction achieved 8,9 c/ha.

*Поступила 20.04.17*

## **ВЛИЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ОБМЕННЫМ МАГНИЕМ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОГО ТРИТИКАЛЕ**

**И.М. Богдевич, Ю.В. Путятин, И.С. Станилевич, О.М. Таврыкина,  
В.А. Довнар, П.С. Манько**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Магний играет важную роль в минеральном питании растений [1, 2, 3]. Недостаток или избыток этого элемента снижает урожайность и качество продукции, поэтому важно определить оптимальное содержание обменного магния в почве.

В связи с многолетним известкованием кислых почв доломитовой мукой средневзвешенное содержание в почвах обменных форм магния многократно повысилось и в настоящее время достигло уровня в пахотных почвах 147 мг/кг почвы, в луговых – 163 мг/кг. Доля почв с низким содержанием элемента многократно снизилась и составляет 4,8%. Большинство почв в Беларуси – 63,8 % относится к группе с оптимальным содержанием магния, возросла доля почв с высоким его содержанием – 31,4 %. Оптимальная и высокая обеспеченность почв магнием наблюдается на 97,4 % площади почв луговых земель [4]. Поскольку содержание обменного магния сильно различается по отдельным полям и участкам, на значительной части площади пахотных земель нарушено требуемое соотношение катионов  $Ca^{2+} : Mg^{2+}$  и  $K^{+} : Mg^{2+}$ , и возделываемые культуры испытывают недостаток или избыток магния для формирования урожайности [5].

Производство полноценного зернофуражного корма в настоящее время стало актуальной проблемой [6]. При недостатке растительных кормов высокого качества потенциальная продуктивность животных используется на 50–60 %, несбалансированность рационов по их энергетической и протеиновой питательности приводит к значительному (25–30 %) перерасходу кормов и, соответственно, увеличивает удельный вес зернофуража в рационе [7].

Тритикале – ценная зернофуражная культура, сочетающая в себе лучшие качества пшеницы и ржи. Культура характеризуется хорошей переносимостью засухи и заморозков. Благодаря высокой урожайности и меньшей требовательности к плодородию почв тритикале вызывает все больший интерес [8–13]. Тритикале имеет преимущество перед другими зерновыми культурами по содержанию белка и незаменимых аминокислот [14]. Это является важным критерием, так как растительные корма должны быть сбалансированы по питательности и содержанию белка [15]. Тритикале возделывается в республике на площади более 500 тыс. га, с валовым сбором около 2 млн т зерна.

Цель исследования – установить параметры количественной зависимости урожайности и качества зерна тритикале от внесения доз минеральных удобрений и эффективность некорневых подкормок сульфатом магния на разных уровнях содержания обменного магния.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2015–2016 гг. на базе стационарного полевого опыта в ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой легко-суглинистой почве, развивающейся на мощном лессовидном суглинке. Опыт заложен в двух полях в звене севооборота: ячмень – яровое тритикале – горох. В 2015–2016 гг. возделывалось яровое тритикале сорт Дуплет.

Почва пахотного горизонта перед закладкой опыта характеризовалась следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,8–2,1%,  $pH_{KCl}$  – 5,8–6,0,  $P_2O_5$  (0,2 М HCl) – 350–450 мг/кг почвы,  $K_2O$  (0,2 М HCl) – 264–300 мг/кг, Ca (1 М KCl) – 750–900 мг/кг, Mg (1М KCl) 87–145 мг/кг почвы. Характеристика почвы по содержанию микроэлементов: среднее содержание бора – 0,33–0,65 мг/кг, меди – 2,08–2,84 мг/кг, обменного марганца – 2,02–5,92 мг/кг, подвижных форм серы – 6,1–8,8 мг/кг, низкое содержание цинка – 1,84–2,60 мг/кг. Гидролитическая кислотность была в пределах 1,23–3,33 мг-экв/100 г почвы.

На опытном участке было создано четыре уровня обеспеченности почвы обменным Mg, которые отражают диапазон различий по содержанию магния в дерново-подзолистых суглинистых почвах Беларуси, от низкого до избыточного. Высокие уровни содержания обменного магния на блоках делянок созданы за счет внесения быстродействующего удобрения – сульфата магния ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) (табл. 1).

Таблица 1

**Содержание и соотношение катионов (Ca, Mg, K) в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве опытных полей в ОАО «Гастелловское», 2015–2016 гг.**

Поле	Уровень	Содержание в почве, мг·кг <sup>-1</sup>			Эквивалентное соотношение катионов	
		Ca	Mg	K	Ca:Mg	K:Mg
№ 1 Яровое тритикале 2015г.	1	1737	46	308	22,9	2,1
	2	1432	90	278	9,7	1,0
	3	1216	147	279	5,0	0,6
	4	1110	198	257	3,4	0,4
№ 2 Яровое тритикале 2016 г.	1	1530	50	267	18,6	1,7
	2	1338	92	250	8,8	0,9
	3	1152	138	254	5,1	0,6
	4	1077	183	239	3,6	0,4

Схема опытов состояла из 9 вариантов удобрений на каждом из четырех уровней содержания обменного магния в почве:

1. Контроль (без удобрений);
2.  $N_{60+30}P_{60}$ ;
3.  $N_{60+30}P_{60}K_{120}$  – фон;
4.  $N_{60+30}P_{60}K_{180}$ ;
5. Фон +  $Mg_1$ ;
6. Фон +  $Mg_{1,5}$ ;
7. Фон +  $S_{60}$  (сульфат аммония);
8. Фон +  $S_{60}$  +  $Mg_1$ ;
9. Фон +  $S_{60}$  +  $Mg_{1,5}$ .

На каждом блоке содержания обменного магния в почве исследуется действие базового варианта удобрений, варианта с повышенной дозой калия, серы в дозе  $S_{60}$  и некорневых подкормок сульфатом магния. Из минеральных удобрений использовали карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий, сульфат аммония. Агротехника возделывания культур – общепринятая для республики.

Опыт развернут в двух полях. Повторность опыта 4-кратная, размещение делянок рандомизированно. Общая площадь делянки – 15 м<sup>2</sup>, учетная площадь – 8 м<sup>2</sup>. Закладку опыта, наблюдения, учет урожайности, анализы почвы и растений проводили по соответствующим методическим указаниям. Статистическая обработка результатов исследований выполнена по Б.А. Доспехову (1985) с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования позволили установить зависимость урожайности зерна ярового тритикале от обеспеченности почвы обменным магнием (табл. 2).

Урожайность зерна ярового тритикале увеличивалась в варианте без удобрений по мере повышения содержания обменного магния в почве в диапазоне (46–50)–(90–92)–(138–147) мг/кг и составила в среднем за 2015–2016 гг. – 32,8–36,8–44,4 ц/га соответственно. Дальнейшее повышение обеспеченности почвы обменным магнием до уровня 183–198 мг/кг оказалось избыточным и снижало урожайность зерна ярового тритикале. Прибавка урожайности за счет повышения в почве обменного магния с 46–50 до 138–147 мг/кг составила в контрольном варианте 11,6 ц/га, в варианте с оптимальной дозой удобрений  $N_{90+30}P_{60}K_{120}$  – 10,4 ц/га. В удобренных вариантах наибольшая урожайность зерна получена на третьем уровне обеспеченности почвы магнием, а при некорневых подкормках сульфатом магния – на втором и третьем.

Таблица 2

**Урожайность зерна ярового тритикале в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве и удобрений (в среднем за 2015–2016 гг.)**

Вариант	Урожайность зерна, ц/га				Прибавка зерна, ц/га, за счет повышения содержания Mg		
	Уровни содержания Mg, мг/кг почвы				90–92	138–147	183–198
	46–50	90–92	138–147	183–198			
Контроль	32,8	36,8	44,4	40,3	4,0	11,6	7,5
$N_{90+30}P_{60}$	49,6	54,4	59,5	59,1	4,8	9,9	9,5
$N_{90+30}P_{60}K_{120}$ (фон)	52,4	59,1	63,1	60,5	6,7	10,4	8,1
$N_{90+30}P_{60}K_{180}$	59,2	62,4	64,6	61,4	3,2	5,4	2,2
Фон + $Mg_1$	60,3	64,3	64,3	58,5	4,0	4,0	-1,8
Фон + $Mg_{1,5}$	60,0	64,4	64,9	58,5	4,4	4,9	-1,5
Фон + $S_{60}$	57,7	60,3	63,8	58,6	2,6	6,1	0,9
Фон + $S_{60}$ + $Mg_1$	60,3	63,0	63,6	58,5	2,7	3,3	-1,8
Фон + $S_{60}$ + $Mg_{1,5}$	60,0	63,9	63,7	59,1	3,9	3,7	-0,9
НСР <sub>05</sub> варианты	3,09						
уровни	2,61						

В варианте с внесением  $N_{90+30}P_{60}K_{120}$  зависимость урожайности описывалась квадратичным уравнением с высоким значением аппроксимации ( $R^2 = 0,99$ ). Согласно расчетам, максимальная урожайность в 2015 г. получена при обеспеченности почвы обменным магнием – 140 мг/кг, в 2016 – 145 мг/кг (рис. 1).

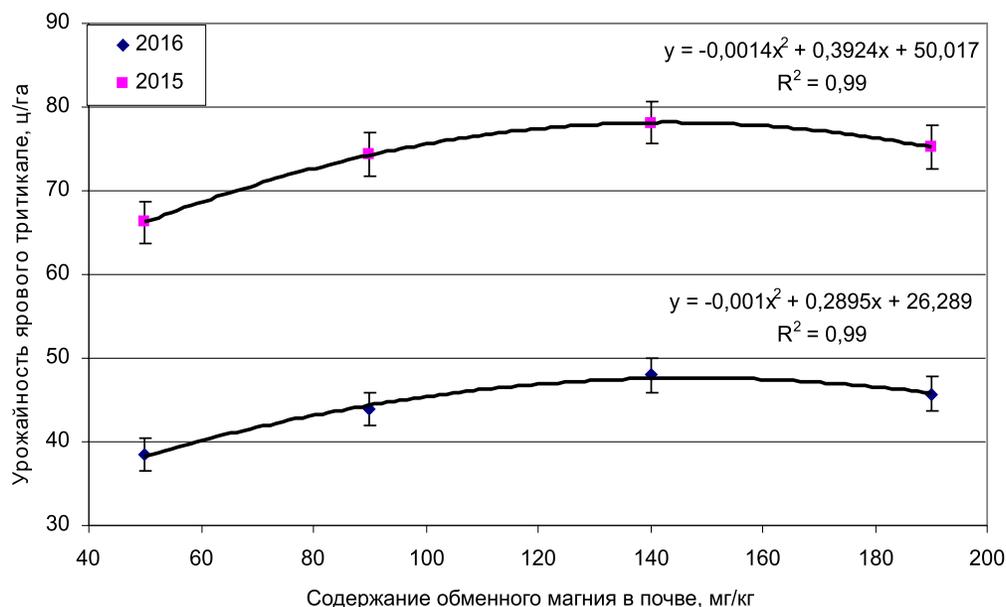


Рис. 1. Урожайность зерна ярового тритикале в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, вариант  $N_{90+30}P_{60}K_{120}$

По мнению W. Bergmann, аналогичного типа снижение урожайности при избытке доступного растениям магния в почве связано с нарушением баланса катионов в почвенном растворе, относительным недостатком кальция и угнетением корневой системы растений [16]. Таким образом, ориентировочный расчетный диапазон оптимального содержания обменного магния в почве для получения высокой урожайности зерна ярового тритикале определен как Mg 130–150 (или MgO 220–250) мг/кг почвы. Этот диапазон оптимума находится в верхней части четвертой группы действующей в Беларуси градации обеспеченности почв магнием. При этом эквивалентное соотношение в почве катионов Ca : Mg должно быть в пределах около 5, а соотношение K : Mg – около 0,6.

Некорневые подкормки раствором сульфата магния в опытах подтвердили недостаток магния для растений на первых двух уровнях содержания обменного магния в почве (рис. 2). Прибавки урожайности зерна ярового тритикале от некорневых подкормок были значительными при содержании Mg в почве 46–92 мг/кг (низкий и средний уровень содержания Mg в почве). Некорневые подкормки сульфатом магния оказались неэффективными на повышенном и высоком уровнях обеспеченности почвы обменным магнием, так как прибавки были статистически недостоверны или наблюдалось снижение урожайности ярового тритикале.

При низкой обеспеченности почвы обменным магнием в диапазоне 46–50 мг/кг почвы эффективнее оказались подкормки сульфатом магния на фоне серосодержащего удобрения, прибавка урожайности зерна составила 8,6 ц/га. По мере по-

вышения содержания магния в почве более действенными оказались подкормки сульфатом магния непосредственно, чем на фоне серы.

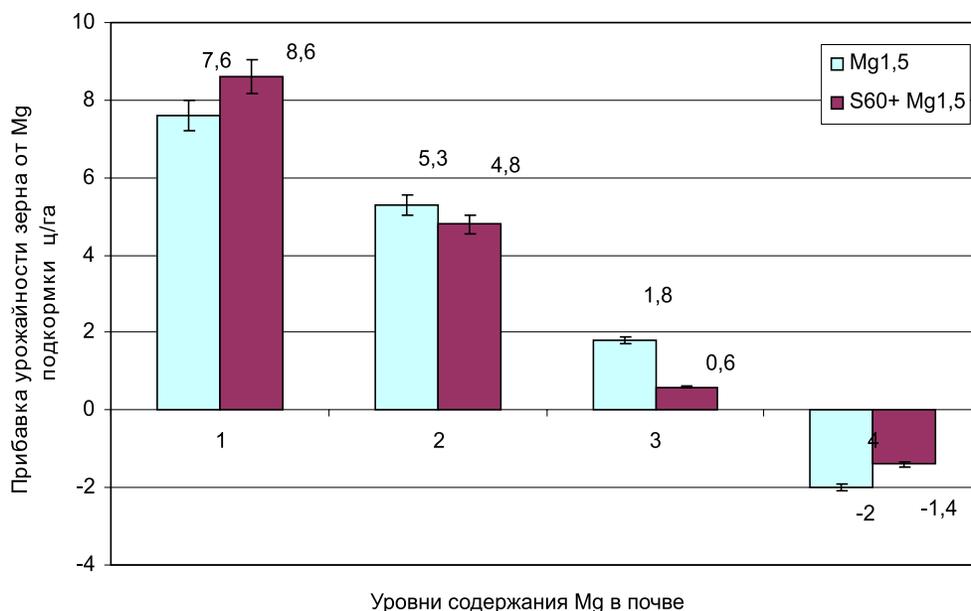


Рис. 2. Прибавки урожайности зерна ярового тритикале ц/га, к фону  $N_{90+30}P_{60}K_{120}$  от некорневых подкормок сульфатом магния непосредственно и на фоне серы  $S_{60}$  на разных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием (1 – Mg в почве 46–90 мг/кг, 2 – 90–92 мг/кг, 3 – 138–147 мг/кг, 4 – 183–198 мг/кг)

Таким образом, содержание обменных форм магния в почве является критерием как для определения диапазона оптимальной обеспеченности возделываемых культур магнием, так и для прогноза эффективности некорневых подкормок растений сульфатом магния. Некорневые подкормки 4 % раствором сульфата магния в дозе Mg 1,5 кг/га могут быть эффективными на посевах ярового тритикале в стадию образования 3–5 листьев на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах 1–3 групп обеспеченности обменным магнием. При этом, на фоне некорневой подкормки сульфата магния наибольшая урожайность зерна тритикале получена в более широком диапазоне содержания обменного магния 90–173 мг/кг почвы и в расширенном диапазоне соотношения  $Ca^{2+}:Mg^{2+}$  в почве 5–10. Расширение этого соотношения до уровня 12–22 или сужение до уровня 2,9–3,4 сопровождалось недобором урожайности зерна.

Чтобы повысить надежность прогноза эффективности магниевых подкормок растений тритикале почвенную диагностику желательно дополнить растительной диагностикой.

Для объективной оценки состояния магниевое питания растений необходимо использовать как методы диагностики по химическому анализу почв, так и анализы растений. Установлено, что концентрации магния в растениях тритикале в фазу кущения наиболее тесно коррелируют с содержанием магния в почве. К началу колошения концентрация магния в листьях тритикале снижается, а различия меж-

ду уровнями обеспеченности почвы обменным магнием сглаживаются. Магниева диагностика растений тритикале в фазу кущения имеет преимущество и с точки зрения своевременного получения данных до оптимального срока проведения некорневой подкормки растений сульфатом магния в период выхода в трубку – появления флагового листа.

Известно, что доступность катиона  $Mg^{2+}$  растениям зависит от емкости катионного обмена почвы и влияния конкурирующих катионов  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ . Наиболее влияющими катионами являются  $Ca^{2+}$  и  $K^+$  [16–18]. В свою очередь, повышение в почве содержания обменного магния сопровождается уменьшением поступления в растения кальция, и, в меньшей степени, калия.

В наших опытах по мере повышения содержания магния в почве наблюдалось повышение концентрация магния в 1,4–1,5 раза и одновременное снижение содержания кальция в растениях тритикале в 1,5 раза в 2015 г. и в 2,0 раза в 2016 г. (рис. 3). В оба года наблюдалась тесная корреляционная связь концентрации Mg в молодых растениях в фазу кущения с содержанием обменного магния в почве ( $R^2 = 0,97–0,98$ ).

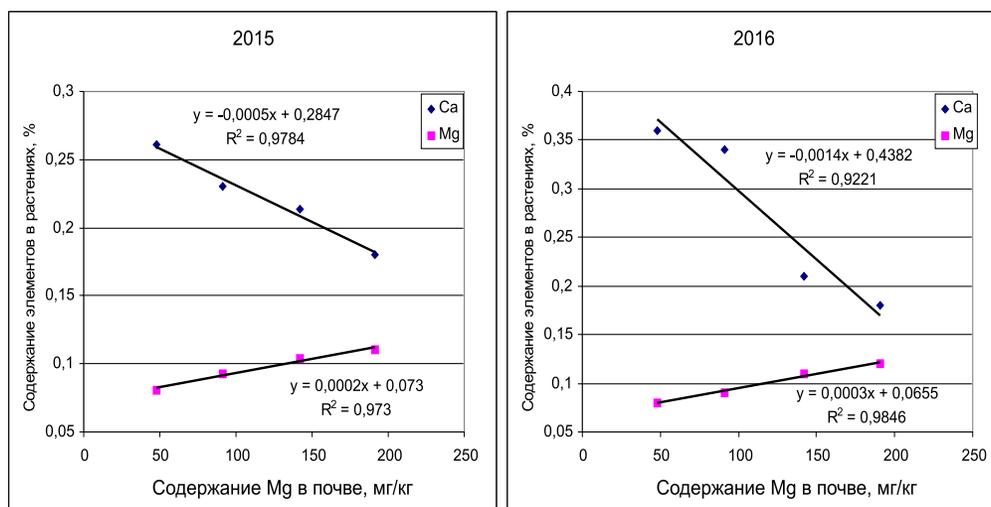


Рис. 3. Содержание Mg и Ca в растениях ярового тритикале в фазу кущения в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, 2015–2016 гг.

При оценке данных полевого опыта с яровым тритикале в фазу кущения отмечено, что при повышении обеспеченности почвы обменным магнием содержание калия в растениях тритикале также несколько снижается.

## ВЫВОДЫ

1. В условиях модельных полевых экспериментов установлен диапазон оптимального содержания обменного магния для получения высокой урожайности зерна ярового тритикале на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах: 130–150 мг Mg на кг почвы. Этот диапазон оптимума соответствует четвертой группе действующей в Беларуси градации обеспеченности почв магнием. При этом экви-

валентное соотношение в почве катионов Ca:Mg должно быть в пределах около 5, а соотношение K:Mg – около 0,6.

2. Получены существенные прибавки урожайности зерна ярового тритикале до 5,3–8,6 ц/га от некорневых подкормок растений раствором сульфатом магния, подтвердивших недостаток магния на низком и среднем уровнях содержания обменного магния, 46–92 мг Mg на кг почвы.

3. В эксперименте установлена тесная корреляционная связь концентрации Mg в растениях тритикале в фазу кущения с содержанием обменного магния в почве ( $R^2 = 0,97-0,98$ ). Повышение в почве содержания обменного магния сопровождается уменьшением поступления в растения кальция и калия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Магницкий, К.П.* Магниевые удобрения / К.П. Магницкий. – М.: Колос, 1967. – 200 с.
2. *Мазаева, М.М.* Магниевое питание растений и магниевые удобрения: автореф. дис. ... д-ра с.-х наук / М.М. Мазаева. – М., 1967. – 42 с.
3. *Шкляев, Ю.Н.* Магний в жизни растений / Ю.Н. Шкляев. – М.: Наука, 1981. – 95 с.
4. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И.М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И.М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 276 с.
5. Методика почвенной и растительной диагностики магниевого питания кукурузы / И.М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2014. – 28 с.
6. *Шор, В.Ч.* Возделывание гороха и яровой вики в чистых и смешанных посевах / В.Ч. Шор, Л.И. Белявская // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. тр. 2-е изд., доп. и перераб. / НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – С. 179–190.
7. *Жданович, В.П.* Перспективы использования зернобобовых культур в условиях радиоактивного загрязнения / В.П. Жданович, С.А. Исаченко, Л.И. Козлова // Проблемы радиологии загрязненных территорий: юбилейн. темат. сборник / Комитет по проблемам последствий катастрофы на ЧАЭС, Ин-т радиологии. – Минск, 2001. – С. 64–74
8. Эффективность использования озимых форм в селекции ярового тритикале / С.И. Гриб [и др.] / Земледелие и селекция в Беларуси: сб. науч. тр./ НПЦ НАН Беларуси по земледелию; редкол.: Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – Вып. 51. – С. 295–302.
9. *Гриб, С.И.* Генофонд, методы и результаты селекции тритикале в Беларуси / С.И. Гриб // Известия Национальной академии наук Беларуси. Сер. аграрных наук. – Минск: Беларус. навука, 2014. – № 3. – С. 40–45.
10. *Холодинский, В.В.* Формирование урожайности зерна яровой тритикале в зависимости от сорта и приемов возделывания: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09./ В.В. Холодинский. – Жодино, 2011. – 18 с.
11. *Германович, Т.М.* Урожайность и качество зерна ярового тритикале в зависимости от степени кислотности и обеспеченности калием дерново-подзолистой

легкосуглинистой почвы / Т.М. Германович, В.А. Сатишур // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 43. – С. 157–166.

12. *Ширко, П.А.* Удобрения, продуктивность и кормовые достоинства ярового тритикале / П.А. Ширко // Современное состояние, проблемы и перспективы развития кормопроизводства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Горки: Белорусская государственная сельхоз. академия, 2007. – С. 197–203.

13. *Привалов, Ф.И.* Влияние уровня интенсификации технологии возделывания на урожайность и содержание белка в зерне ярового тритикале / Ф.И. Привалов [и др.] // Земледелие и селекция в Беларуси: сб. науч. тр./ НПЦ НАН Беларуси по земледелию; редкол.: Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2016. – Вып. 52. – С. 83–88.

14. *Гриб, С.И.* Яровое тритикале: основные преимущества и особенности технологии возделывания / С.И. Гриб, В.Н. Буштевич., Т.М. Булавина // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – С. 139–142.

15. *Булавина, Т.М.* Оптимизация приемов возделывания тритикале в Беларуси / Т.М. Булавина.; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т земледелия и селекции НАН Беларуси; под. ред. С.И. Гриб. – Минск: ИВЦ Минфина, 2005. – 224 с.

16. *Bergmann, W.* Nutritional disorders of plants – development, visual and analytical diagnosis / W. Bergmann [et al.] // Stuttgart, New York. – 1992. – 234 p.

17. *McLean, E.O.* Basic cation saturation ratios as a basis for fertilizing and liming agronomic crops. II. Field studies / E.O. McLean [et al.]. – Agronomy Journal. – 1983. – P. 75: 635–639.

18. *Барбер, С.А.* Биологическая доступность питательных веществ в почве. Механистический подход / С.А. Барбер; под ред. Э.Е. Хавкина. – М.: Агропромиздат, 1988. – 376 с.

## EFFECT OF EXCHANGEABLE MAGNESIUM SUPPLY OF PODZOLUVISOL LOAMY SOIL ON THE SPRING TRITICALE YIELD

I.M. Bogdevitch, Yu.V. Putyatin, I.S. Stanilevich, O.M. Tavrykina,  
V.A. Dovnar, P.S. Manko

### Summary

The range of optimal exchangeable Mg content (130–150 mg/kg) in Podzoluvisol loamy soil for the high yield or spring triticale grain had been found in the model field experiments. The equivalent ratio of Ca: Mg should be around 5 and ratio K: Mg – around 0.6. There were a close correlation ( $R^2 = 0.97–0.98$ ) observed between the levels of soil Mg supply and Mg content in triticale plants at tillering stage. Sufficient grain yield response up to 0.53–0.86 t/ha to foliar application of magnesium sulphate solution verified the deficit of Mg nutrition for triticale plants on the low and medium content 46–92 mg of exchangeable Mg on kg of soil.

Поступила 17.04.17

## **ВЛИЯНИЕ МАКРО-, МИКРОУДОБРЕНИЙ И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЯЧМЕНЯ**

**И.Р. Вильдфлуш<sup>1</sup>, Г.В. Пироговская<sup>2</sup>, Н.В. Барбасов<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,  
г. Горки, Беларусь*

*<sup>2</sup>Институт почвоведения и агрохимии,  
г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В условиях ограниченного роста посевных площадей основной путь увеличения валовых сборов сельскохозяйственных культур – повышение их урожайности и качества продукции за счет интенсивных технологий возделывания [1, 2].

Под влиянием микроэлементов растения становятся более устойчивыми к неблагоприятным условиям атмосферной и почвенной засухи, пониженным и повышенным температурам, поражению вредителями и болезнями. Повысить эффективность микроудобрений можно за счет перевода их в комплексные соединения (хелаты), которые эффективны в любых почвенно-климатических зонах и хорошо совместимы с регуляторами роста растений [3].

Поэтому весьма актуальна разработка и совершенствование научных основ рационального, агрохимически эффективного и экологически безопасного применения микроудобрений в зависимости от погодно-климатических условий и обеспеченности растений основными элементами питания [4].

Одним из биологических резервов повышения продуктивности сельскохозяйственных растений являются регуляторы роста растений, т.е. вещества, выполняющие роль адаптогенов, которые влияют на жизненные процессы в растениях, но не являются источником питания [5].

Большой интерес представляет применение новых форм микроудобрений в хелатной форме, новых комплексных удобрений, комплексных препаратов на основе микроэлементов и регуляторов роста, использование которых позволяет существенно снизить затраты на применение средств химизации [6].

Цель исследований – установить влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на урожайность, качество раннеспелого сорта ячменя и дать им экономическую оценку.

### **МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Полевые опыты проводились в 2015–2016 гг. на опытном поле «Тушково» на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины около 1 м моренным суглинком с раннеспелым сортом ячменя Батька. Почва перед закладкой опыта имела недостаточное содержание гумуса (1,6–1,7 %), при содержании общего азота (0,19–0,2 %), повышенную обеспеченность подвижным фосфором (195–203 мг/кг) и калием

(201–208 мг/кг), среднее содержание подвижной меди (1,80–1,91 мг/кг) и цинка (3,52–3,95 мг/кг), слабокислую реакцию ( $pH_{KCL}$  5,73–5,96).

Предшественником ячменя был горох. Общая площадь делянки – 21 м<sup>2</sup>, учетная – 16,5 м<sup>2</sup>. Норма высева – 5,5 млн/га всхожих семян. В опытах при основном внесении в почву применялись: карбамид (N – 46 %), аммофос (N – 10–12 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 46–52 %), хлористый калий (60 %) и новое комплексное удобрение, разработанное в Институте почвоведения и агрохимии, NPK с Cu(0,15 %) и Mn(0,10 %).

Для некорневых подкормок ячменя в период вегетации применялись: комплексные удобрения Нутривант плюс (N – 6 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 23 %, K<sub>2</sub>O – 35 %, MgO – 1 %, B – 0,1 %, Zn – 0,2 %, Cu – 0,25 %, Fe – 0,05 %, Mo – 0,002 %); Кристалон особый – (N – 18 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 18 %, K<sub>2</sub>O – 18 %, MgO – 3 %, B – 0,025 %, Zn – 0,025 %, Cu – 0,01 %, Fe – 0,07 %, Mo – 0,004 %, Mn – 0,04 %, S – 5,0 %); Кристалон коричневый – (N – 3 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 18 %, K<sub>2</sub>O – 38 %, MgO – 4 %, B – 0,025 %, Zn – 0,025 %, Cu – 0,01 %, Fe – 0,07 %, Mo – 0,004 %, Mn – 0,04 %, S – 27,5 %); микроудобрения Адоб Медь (медь в хелатной форме – 6,43 %, азот – 9 % и магний – 3 %); ЭлеГум-Медь (гуминовых веществ – 10 г/л и меди – 50 г/л); комплексное микроудобрение с регулятором роста МикроСтим-Медь Л (медь – 78,0 г/л, азот – 65,0 г/л, гуминовые вещества – 0,60–5,0 мг/л).

Некорневые подкормки комплексными и микроудобрениями проводились согласно инструкций по их применению и нормам расхода препаратов, включенных в «Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь». Две некорневые подкормки проведены комплексным удобрением израильского производства Нутривант Плюс (первая – в фазе кушения в дозе 2 кг/га, вторая – в фазе начала выхода в трубку в дозе 2 кг/га) и удобрением Кристалон особый (Нидерланды) – в фазе кушения (2 кг/га) и Кристалон коричневый – в фазе начала выхода в трубку (2 кг/га). Польское удобрение Адоб Медь применялось в фазу начала выхода в трубку в дозе 0,8 л/га, ЭлеГум-Медь и МикроСтим-Медь Л вносились в той же фазе в дозе 1 л/га, Экосил (препаративная форма – 5 %-ная водная эмульсия три-терпеновых кислот) – в дозе 75 мл/га, Фитовитал (водорастворимый концентрат янтарной кислоты, 5 г/л; сопутствующие компоненты: комплекс макро- и микроэлементов – Mg, Cu, Fe, Zn, B, Mn, Mo, Co, Li, Br, Al, Ni) – 0,6 л/га.

В отдельных вариантах изучалась и подкормка ячменя азотными удобрениями (карбамидом) в фазе начала выхода в трубку.

Уход за посевами ячменя был следующий: обработка гербицидом Агроксон (0,8 л/га) в фазу кушения; ретардантом Терпал Ц (1,5 л/га) – в фазу начала выхода в трубку; фунгицидом Альто Супер (0,2 л/га) и инсектицидом Фостак (0,1 л/га) – в фазу выхода в трубку.

Статистическую обработку результатов исследований проводили Б.А. Доспехову [7] и М.Ф. Дембицкому [8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность зерна ячменя в 2015 г. была несколько ниже, чем в 2016 г. Это объясняется аномально жаркой и сухой погодой в вегетационный период 2015 г., тогда как в 2016 г. температурный режим и режим увлажнения были более благоприятными (табл. 1).

**Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста  
на урожайность зерна ячменя**

Вариант	Урожайность (ц/га)		Сред- нее	При- бавка к контро- лю	При- бавка к фону 1, ц/га	При- бавка к фону 2, ц/га	Окупае- мость 1 кг NPK кг зерна
	2015 г.	2016 г.					
Без удобрений	28,1	28,2	28,2	–	–	–	–
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	37,7	50,1	43,9	15,7	–	–	7,5
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> – фон 1	48,5	57,4	53,0	24,8	–	–	10,3
N <sub>80</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> + N <sub>40</sub> – фон 2	50,7	65,1	57,9	29,7	–	–	9,6
Фон 1 + Адоб Медь	55,4	60,8	58,1	29,9	5,1	–	12,5
Фон 1 + Нутривант плюс (2 обработки)	52,7	60,5	56,6	28,4	3,6	–	11,8
Фон 1 + Кристалон (2 обработки)	54,9	61,1	58,0	29,8	5,6	–	12,4
Фон 1 + Экосил в	53,2	61,6	57,4	29,2	4,4	–	12,2
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> с Cu(0,15 %), Mn(0,10 %)	58,1	61,0	59,6	31,4	6,6	–	13,1
Фон 1 + ЭлеГум-Медь	61,8	63,2	62,5	34,3	9,5	–	14,3
Фон 1 + МикроСтим-Медь Л в	53,8	64,5	59,2	31,0	6,2	–	12,9
Фон 1 + Фитовитал	57,9	60,0	58,0	29,8	5,0	–	12,4
Фон 2 + МикроСтим-Медь Л	60,9	71,5	66,2	38,0	–	8,3	12,3
НСР <sub>05</sub>	1,5	3,4	2,6	–	–	–	–

В среднем за два года урожайность зерна ячменя в вариантах с применением N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> и N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> по сравнению с вариантом без удобрений возросла на 15,7 и 24,8 ц/га, а окупаемость 1 кг NPK кг зерна по данным вариантам опыта составила 7,5 и 10,3 кг соответственно. Повышенные дозы минеральных удобрений в сочетании с дробным внесением азота (N<sub>80</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> + N<sub>40</sub>) обеспечивали прибавку урожая 29,7 ц/га, окупаемость 1 кг NPK кг зерна составляла 9,6 кг. Применение медьсодержащих удобрений МикроСтим-Медь Л, ЭлеГум-Медь и Адоб Медь в фазу начала выхода в трубку на фоне N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> повышало урожайность зерна ячменя в среднем за два года исследований на 6,2, 9,5 и 5,1 ц/га при окупаемости 1 кг NPK кг зерна 12,9, 14,3 и 12,5 кг соответственно.

Двукратная обработка посевов ячменя Кристаллоном в фазе кущения и выхода в трубку обеспечивала прибавку урожая к фону 5,6 ц/га, окупаемость 1 кг NPK кг зерна при этом составила 12,4 кг. Использование Нутривант плюс в фазах кущения и выхода в трубку на фоне N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> обеспечивало прибавку урожайности на уровне 3,6 ц/га. Использование нового комплексного удобрения для основного внесения (NPK с Cu(0,15 %), Mn(0,10 %) в эквивалентной дозе (N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>) со стандартными удобрениями (карбамид, аммофос, хлористый калий) увеличивало урожайность зерна ячменя на 6,6 ц/га, окупаемость 1 NPK кг зерна на 2,8 кг по сравнению со стандартными туками.

Белорусское микроудобрение ЭлеГум-Медь превосходило польское удобрение Адоб Медь, а белорусское комплексное микроудобрение с регулятором роста МикроСтим-Медь Л не уступало по действию комплексным удобрениям извест-

ных зарубежных фирм Кристалон (Нидерланды) и Нутривант плюс (Израиль) и их можно использовать для импортозамещения.

Обработка посевов ярового ячменя регулятором роста Экосил по сравнению с фоновым вариантом  $N_{90}P_{60}K_{90}$  увеличивало урожайность зерна ячменя на 4,4 ц/га при окупаемости 1 кг NPK кг зерна 12,2 кг соответственно. Применение препарата Фитовитал на фоне  $N_{90}P_{60}K_{90}$  увеличивало урожайность зерна ячменя на 5,0 ц/га при окупаемости 1 кг NPK кг зерна 12,4 соответственно. Максимальная урожайность зерна – 66,2 ц/га получена при дробном внесении азота в дозе  $N_{80}+N_{40}$  и повышенных дозах фосфора и калия ( $P_{70}$  и  $K_{120}$ ) в сочетании с некорневой подкормкой МикроСтим-Медь Л.

Одним из важнейших показателей качества зерна является содержание сырого белка. Наиболее высокое содержание сырого белка в среднем за 2 года наблюдалось при обработке посевов ячменя МикроСтим-Медь Л на фоне высоких доз удобрений ( $N_{80}P_{70}K_{120} + N_{40 \text{ карб.}}$ ), где содержание сырого белка составило 12,8 %. В этом варианте был и самый большой выход сырого белка (7,4 ц/га) и выход кормовых единиц (89,4 ц/га). Выход переваримого протеина и обеспеченность 1 к. ед. переваримым протеином были также максимальными в этом варианте 5,8 ц/га и 72,7 г соответственно. Применение новых форм комплексных удобрений (NPK с Cu (0,15 %), Mn (0,10 %)) в технологии возделывания ярового ячменя обеспечивало улучшение качественных показателей зерна, в том числе: повышалось содержание сырого протеина на 0,8 %, выхода сырого белка – 1,5 ц/га, выхода кормовых единиц – 13,1 ц/га, переваримого протеина – 1,0 ц/га и обеспеченности 1 к.ед. переваримым протеином – на 6,6 г (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на качество зерна ячменя (среднее за 2015–2016 гг.)**

Вариант	Сырой белок, %	Выход сырого белка, ц/га	Выход кормовых единиц, ц/га	Выход переваримого протеина, ц/га	Обеспеченность 1 к.ед. переваримым протеином, г
Без удобрений	8,8	2,1	38,1	1,7	49,6
$N_{60}P_{60}K_{90}$	9,5	3,7	58,4	2,7	53,6
$N_{90}P_{60}K_{90}$ – фон 1	10,2	4,9	70,9	3,6	55,6
$N_{80}P_{70}K_{120} + N_{40}$ – фон 2	11,4	5,6	77,2	4,6	64,6
Фон 1 + Адоб Медь	10,3	5,0	78,1	4,0	57,1
Фон 1 + Нутривант плюс (2 обработки)	10,3	5,0	75,9	3,9	57,8
Фон 1 + Кристалон (2 обработки)	10,9	5,5	77,9	4,3	61,4
Фон 1 + Экосил	11,4	5,6	76,9	4,4	64,1
$N_{90}P_{60}K_{90}$ с Cu(0,15 %), Mn(0,10 %)	11,0	6,4	84,0	4,6	62,2
Фон 1 + ЭлеГум-Медь	12,3	6,3	80,6	5,0	69,5
Фон 1 + МикроСтим-Медь Л	12,2	6,2	79,1	4,9	68,7
Фон 1 + Фитовитал	11,8	6,0	79,5	4,7	66,7
Фон 2 + МикроСтим-Медь Л	12,8	7,4	89,4	5,8	72,7
НСР <sub>05</sub>	1,3	0,6	–	–	–

Применение удобрений по сравнению с вариантами без их внесения способствовало некоторому возрастанию (в среднем за два года на 3,4-7,4 г, в зависимости от вариантов опыта) массы 1000 зерен (табл. 3). Наибольшая масса 1000 зерен у ячменя (57,7 г) наблюдалась в варианте с применением МикроСтим-Медь Л на фоне  $N_{80}P_{70}K_{120} + N_{40 \text{ карб}}$ . Это связано, вероятно, с повышенным минеральным питанием и применением микроудобрения.

Натура – это масса 1 л зерна, выраженная в граммах. Натура характеризует наполненность и плотность зерновки, ее технологические свойства. Зерно с большой натурой хорошо развито, выполнено, содержит большее количество эндосперма и меньше оболочек. Натура ячменя изменялась в зависимости от вариантов опыта от 475,4 г/дм<sup>3</sup> (контроль) до 507,7–558,4 г/дм<sup>3</sup> (в вариантах с удобрениями). Применение некорневых подкормок по вегетации ячменя, изучаемыми препаратами, а также комплексных удобрений с микроэлементами, способствовало увеличению натуре зерна. При этом обработка посевов ячменя МикроСтимом-Медь Л на высоком фоне минерального питания ( $N_{80}P_{70}K_{120} + N_{40 \text{ карб}}$ ) увеличивала по сравнению с фоном 2 массу 1000 зерен на 1,5 г, натуре зерен – на 37,6 г/дм<sup>3</sup> при максимальном значении в опыте – 558,4 г/дм<sup>3</sup>.

Таблица 3

**Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на массу 1000 зерен и натуре зерна ячменя**

Вариант	Масса 1000 зерен, г			Натура зерна, г/дм <sup>3</sup>		
	2015 г.	2016 г.	Среднее	2015 г.	2016 г.	Среднее
Без удобрений	47,2	53,4	50,3	461	490	475,4
$N_{60}P_{60}K_{90}$	48,6	58,7	53,7	505	510	507,7
$N_{90}P_{60}K_{90}$ – фон 1	49,5	59,4	54,5	509	528	518,4
$N_{80}P_{70}K_{120} + N_{40}$ в фазу начала выхода в трубку – фон 2	49,8	62,5	56,2	516	526	520,8
Фон 1 + Адоб Медь в фазу начала выхода в трубку	50,1	60	55,1	529	527	528,0
Фон 1 + Нутривант плюс (2 обработки)	50,4	60,7	55,6	533	529	531,0
Фон 1 + Кристалон (2 обработки)	50,7	60,1	55,4	535	530	532,4
Фон 1 + Экосил в фазу начала выхода в трубку	50,9	60,1	55,5	543	534	538,4
$N_{90}P_{60}K_{90}$ с Cu(0,15 %), Mn(0,10 %)	50,9	59,2	55,1	544	538	540,9
Фон 1 + ЭлеГум-Медь в фазу начала выхода в трубку	51,1	60,9	56,0	547	538	542,7
Фон 1 + МикроСтим-Медь Л в фазу начала выхода в трубку	51,2	60,4	55,8	548	539	543,6
Фон 1 + Фитовитал в фазу начала выхода в трубку	51,6	59,9	55,8	567	542	554,6
Фон 2 + МикроСтим-Медь Л в фазу начала выхода в трубку	52,1	63,2	57,7	573	544	558,4
$НСР_{05}$	0,21	0,8	0,36	16,5	13,2	10,6

Основными показателями, характеризующими экономическую эффективность результата опыта или проводимых мероприятий, являются: дополнительный вы-

ход продукции (прибавка), стоимость дополнительной продукции, прибыль, рентабельность [9].

Применение удобрений и регуляторов роста во всех вариантах опыта было экономически оправданным (табл. 4).

Таблица 4

**Экономическая эффективность применения минеральных удобрений и регуляторов роста под ячмень (в среднем за 2015–2016 гг.)**

Вариант опыта	Прибавка урожая, ц/га (сред. за 2 года)	Стоимость дополнительной продукции, руб.	Всего дополнительных затрат, руб.	Прибыль, руб.	Рентабельность, %
1	2	3	4	5	6
Без удобрений	–	–	–	–	–
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	15,7	341,6	282,9	58,8	20,8
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> – фон 1	24,8	506,1	371,2	134,8	36,3
N <sub>80</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> + N <sub>40</sub> – фон 2	29,7	597,4	464,9	132,5	28,5
Фон 1 + Адоб Медь	29,9	601,1	422,9	178,2	42,4
Фон 1 + Нутривант плюс (2 обработки)	28,4	573,7	435,6	138,1	31,7
Фон 1 + Кристалон (2 обработки)	29,8	599,3	447,9	151,4	33,8
Фон 1 + Экосил	29,2	588,3	414,5	173,8	41,9
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> с Cu (0,15 %), Mn (0,10 %)	31,4	577,3	400,2	177,1	44,3
Фон 1 + ЭлеГум-Медь	34,3	635,8	428,8	207,0	48,3
Фон 1 + МикроСтим-Медь Л	31,0	506,1	385,7	120,4	31,2
Фон 1 + Фитовитал	29,8	615,7	430,7	185,0	43,0
Фон 2 + МикроСтим-Медь Л	38,0	757,0	542,4	214,6	39,6

Наибольшая рентабельность была достигнута в варианте с обработкой посевов ЭлеГум-Медь на фоне N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> – 48,3 % (табл. 4), однако прибыль в данном варианте не была наибольшей. Максимальная прибыль получена в варианте с применением МикроСтим-Медь Л на фоне N<sub>80</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> + N<sub>40 карб</sub> – 214,6 руб.

Применение белорусского микроудобрения ЭлеГум-Медь на фоне N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> при некорневой подкормке по экономической эффективности находилось на уровне импортного микроудобрения Адоб Медь (Польша).

## ВЫВОДЫ

1. Применение МикроСтим-Медь Л, ЭлеГум-Медь и Адоб Медь фоне N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> стандартных удобрений повышало урожайность зерна ячменя на 6,2, 9,5 и 5,1 ц/га соответственно. Использование нового комплексного удобрения НРК с Cu(0,15 %), Mn(0,10 %) для основного внесения в эквивалентной дозе (N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>) со стандартными удобрениями повышало урожайность зерна на 6,6 ц/га. Обработка посевов регуляторами роста растений Экосилом и Фито-

виталом на фоне  $N_{90}P_{60}K_{90}$  увеличивала урожайность зерна ячменя на 4,4 и 5,0 ц/га соответственно. Максимальная урожайность зерна (66,2 ц/га) отмечена в варианте  $N_{80}P_{70}K_{120} + N_{40 \text{ карб}} + \text{МикроСтим-Медь Л}$ .

2. В вариантах с применением удобрений и регуляторов роста растений по сравнению с неудобренным контролем отмечается повышение массы 1000 зерен, с максимальным значением 57,7 г. в варианте  $N_{80}P_{70}K_{120} + N_{40 \text{ карб}} + \text{МикроСтим-Медь Л}$ . Наибольшее содержание сырого белка у раннеспелого сорта ячменя Батька (12,8 %), выход сырого белка (7,4 ц/га), переваримого протеина – (5,8 ц/га) и обеспеченность 1 к. ед. переваримым протеином (72,7 г) были в варианте с внесением  $N_{80}P_{70}K_{120} + N_{40} + \text{МикроСтим-Медь Л}$ .

3. Наибольшая прибыль была получена в варианте  $N_{80}P_{70}K_{120} + N_{40} + \text{МикроСтим-Медь Л}$  и составила 214,56 руб. Наиболее рентабельным вариантом опыта (48,27 %) был при использовании  $N_{90}P_{60}K_{90} + \text{ЭлеГум-Медь}$ . Белорусское микроудобрение ЭлеГум-Медь по экономической эффективности находилось на уровне микроудобрения Адоб Медь (Польша).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур: рекомендации / К.В. Коледа [и др.]; под общ. ред. К.В. Коледы, А.А. Дудука. – Гродно: ГГАУ, 2010 – 340 с.

2. Система применения удобрений: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальностям «Агрохимия и почвоведение», «Защита растений и карантин» / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапы – Гродно: ГГАУ, 2011. – 418 с.

3. *Вильдфлуш, И.Р.* Агроэкономическая оценка применения новых форм удобрений и регуляторов роста при возделывании гороха / И.Р. Вильдфлуш, О.И. Мишура, О.В. Малашевская. – Вест. Белорусской госуд. сельскохозяйственной академии – 2016 – №1 – С 75–78.

4. *Блохина, Е.А.* Урожайность и качество биомассы сорго сахарного в зависимости от условий питания при возделывании в северо-восточной части Беларуси / Е. А. Блохина // Управление питанием растений и почвенным плодородием: матер. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рожд. А.А. Каликинского. – Горки, 2016. – С. 16.

5. Применение комплексных гуминовых микроудобрений ЭлеГум-Медь: рекомендации / М.В. Рак [и др.]. – Минск: Ин-т природопользования; Ин-т почвоведения и агрохимии, 2013. – 28 с.

6. *Вильдфлуш, И.Р.* Экономическая эффективность применения новых форм удобрений, регуляторов роста и бактериального препарата при возделывании пивоваренного ячменя / И.Р. Вильдфлуш, О.И. Мишура, И.В. Глатанкова // Вест. Белорусской госуд. с./х. академии. – 2016. – № 1. – С 54–57.

7. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М., 1985. – 235 с.

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

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

**INFLUENCE OF MACRO- AND MICRONUTRIENTS AND GROWTH REGULATORS ON YIELD AND QUALITY OF BARLEY**

I.R. Vildflush, G.V. Pirogovskaya, N.V. Barbasov

**Summary**

Application MicroStim-Copper L, EleGum-Copper and Adob Copper increased the grain yield of barley on the background of  $N_{90}P_{60}K_{90}$  2,8, 4,1 and 2,2 c/ha, respectively. The highest yield was noted in the variant with application of MicroStim-Copper L on the background of the  $N_{80}P_{70}K_{120} + N_{40 \text{ carb}}$  (66,2 c/ha). The maximum content of crude protein (12,8 %), crude protein and feed units are revealed in the variant with application of MicroStim-Copper L on the background of the  $N_{80}P_{70}K_{120} + N_{40 \text{ carb}}$  (7,4 c/ha and 89,4 c/ha).

Поступила 21.04.17

УДК 631.43:631.8:633.16

**ВЛИЯНИЕ АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО**

К.Ю. Уваренко

*Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского,  
г. Харьков, Украина*

**ВВЕДЕНИЕ**

Широко известно о влиянии агрофизических параметров почвы на урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность минеральных удобрений [1, 2]. Плотность почвы – важнейшая характеристика ее физического состояния. В излишне уплотнённых почвах чаще, чем в рыхлых, нарушается воздухо- и газообмен, повышается содержание недоступной влаги, а для усвояемой – практически не остаётся места. Чрезмерно рыхлая почва не способна удерживать влагу, в ней нет необходимого контакта почвенных частиц с прорастающими семенами, а в дальнейшем – и с корневой системой растений.

Повышенная плотность сложения почвы приводит к нарушению механизмов поглощения и трансформации питательных веществ, их доставки к корневым системам и в надземную часть растений. Регулирование агрофизических параметров почв является эффективным приемом повышения эффективности минеральных удобрений.

Эффективность использования азота из почвы и удобрений снижается более чем в 3 раза при повышенной плотности по сравнению с оптимальным уровнем уплотнения ( $1,1-1,3 \text{ г/см}^3$ ) [2]. Действие азотных удобрений также связано и с количеством влаги в период максимальной потребности в элементах питания. При недостатке почвенной влаги снижается интенсивность поступления питательных веществ и, как следствие, снижается эффективность внесенных азотных удобрений [3].

Наибольшая эффективность фосфорных удобрений отмечается при влагозапасах почвы в среднем 80–90 % от наименьшей влагоемкости (НВ) [4]. Повышенная плотность сложения снижает доступность фосфора для растений из-за ухудшения качественных и количественных характеристик корневой системы. Согласно литературным данным [2] поступление фосфора в надземную часть в начальные фазы роста ячменя ярового на уплотненной почве в 1,6 раза ниже по сравнению с рыхлой.

Плотность сложения почвы существенно влияет также и на поступление калия в растения [2]. Исследованиями Л.Г.Г. Уара с соавторами [5] установлено, что влияние влажности почвы на развитие корневой системы растений проявляется через взаимодействие с плотностью сложения. При высоком уплотнении (1,3–1,4 г/см<sup>3</sup>) усвоение калия значительно меньше по сравнению с оптимальным уровнем уплотнения (1,2 г/см<sup>3</sup>). Невысокая эффективность калийных удобрений в основном определяется недостатком влаги, поэтому внесение калийных удобрений – эффективный агрономический прием для уменьшения рисков потери урожая при неблагоприятных погодных условиях, прежде всего, в условиях засухи и пониженных температур [6].

Современный уровень ведения земледелия в Украине отличается широким использованием районированных сортов ячменя ярового с потенциальной урожайностью до 80–120 ц/га. В связи с этим, в хозяйствах все чаще используются сорта интенсивного типа, которые имеют высокую потенциальную урожайность, обусловленную отзывчивостью на оптимизацию условий выращивания [7–9]. Реализовать свой потенциал эти сорта могут лишь при условии соблюдения биологически обоснованных элементов технологии их выращивания. Большое значение имеют применяемые дозы минеральных удобрений в сочетании с оптимальными агрофизическими параметрами почвы.

В ходе исследований И.Ф. Петровой [10], М.Р. Козаченко и А.Г. Наумова [11] установлено, что сорта полуинтенсивного типа способны выдерживать более длительное воздействие засухи, а так же, характеризуются меньшими, но более стабильными показателями урожайности при изменении условий выращивания по сравнению с интенсивными сортами, которые, в свою очередь, наиболее полно реагируют на повышение доз минеральных удобрений.

Таким образом, в ходе многочисленных исследований, описанных в научной литературе, установлено, что оптимизация агрофизических параметров почвы позволяет в максимальном объеме использовать элементы питания из почвы и из внесенных минеральных удобрений. Однако недостаточно исследований проведено по изучению влияния агрофизических параметров пахотного слоя почвы на эффективность минеральных удобрений и продуктивность при выращивании различных по интенсивности сортов ячменя ярового.

## МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На протяжении 2015 г. в лаборатории геоэкофизики почв ННЦ «ИПА им. А.Н. Соколовского» было проведено три лабораторно-модельных опыта, целью которых было изучить влияние влажности и плотности сложения пахотного слоя чернозема типичного на эффективность азотных, фосфорных и калийных удобрений при выращивании интенсивного и полуинтенсивного сортов ячменя ярового.

Лабораторные опыты были проведены по схеме В 3 (Бокс – 3 фактора). Изучали три уровня влажности почвы ( $X_1$ ) (низкий уровень – 60 % от НВ, оптимальный – 80 % от НВ и высокий – 100 % от НВ), три уровня плотности сложения ( $X_2$ ) (низкий – 1,0 г/см<sup>3</sup>, оптимальный – 1,2 г/см<sup>3</sup> и высокий – 1,4 г/см<sup>3</sup>) и три дозы минеральных удобрений ( $X_3$ ) (без удобрений, 45 кг/га и 90 кг/га д.в.). Исследуемая культура – ячмень яровой (интенсивный сорт – Взирець, полуинтенсивный сорт – Здобуток). Минеральные удобрения, которые использовались: азотные – в виде аммиачной селитры (опыт № 1), фосфорные – в виде суперфосфата простого (опыт № 2) и калийные – в виде 40 % калийной соли (опыт № 3).

Почва для опытов была отобрана на опытном участке ГП ОХ «Граковское», с. Коммунар Харьковского района Харьковской области. Основные характеристики чернозема типичного тяжелосуглинистого на лессовидном суглинке следующие: рН<sub>водное</sub> – 7,6; рН<sub>солевое</sub> – 6,5; содержание гумуса – 3,58 %; содержание минерального азота – 12,85 мг/кг почвы, подвижных соединений фосфора и калия – 219,27 и 225,94 мг/кг почвы соответственно. Согласно существующих градаций [12] исследуемая почва характеризуется низким уровнем обеспеченности общим азотом и высоким уровнем обеспеченности подвижными формами фосфора и калия.

Набивка сосудов почвой, расчет количества воды для полива, посев растений проведены по методике Ф.О. Юдина [13]. Три уровня уплотнения, заданных схемой опыта, были созданы искусственно деревянным уплотнителем методом трамбовки. Биологический урожай культуры был собран в фазе 4-х листьев. Полученные в ходе исследований данные были обработаны методом дисперсионного анализа [14] и с помощью специальной математической программы для обработки многофакторных опытов [15].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

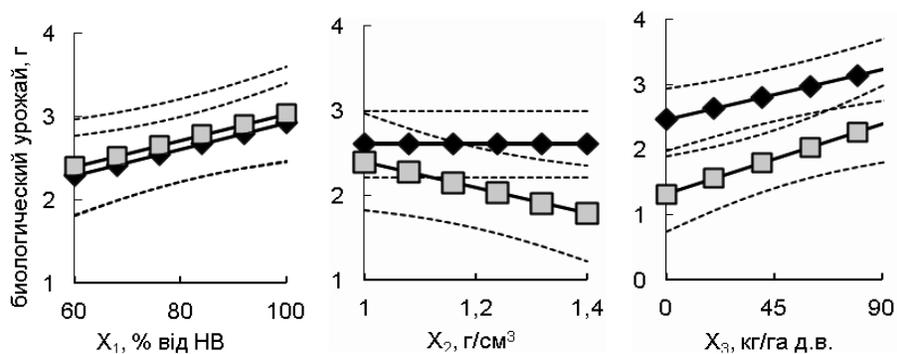
**Эффективность азотных удобрений.** В результате проведения лабораторного опыта № 1 установлено влияние агрофизических параметров почвы на эффективность азотных удобрений при выращивании различных по интенсивности сортов ячменя ярового (рис. 1). Установлено, что биологический урожай интенсивного сорта увеличивался с повышением влажности почвы на 1,8 г/сосуд по сравнению с низким уровнем увлажнения почвы (с 1,89 г при влажности 60 % от НВ до 3,7 г при 100 % от НВ).

При выращивании полуинтенсивного сорта наибольшая биологическая масса сформировалась при оптимальном уровне влажности (80 % от НВ). В этом варианте биологический урожай составил 3,1 г/сосуд, что на 44 % больше сравнительно с низким уровнем увлажнения (60 % от НВ).

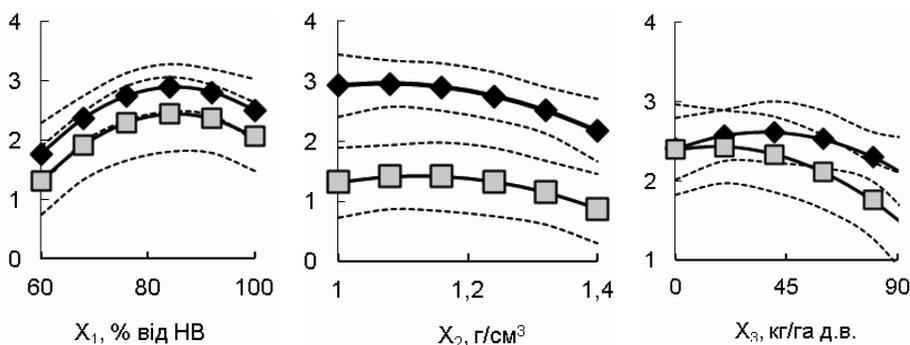
Увеличение плотности сложения почвы до 1,4 г/см<sup>3</sup> негативно влияло на развитие растений ячменя и формирование биологического урожая изучаемых сортов. Наблюдалось уменьшение урожая интенсивного сорта в 1,5 раза, при высоком уровне уплотнения в сочетании с низкими значениями других факторов (при влажности почвы 60 % от НВ и без внесения азотного удобрения). При оптимальных значениях влажности почвы и внесении азотных удобрений в дозе 45 и 90 кг/га д.в. негативного воздействия плотности сложения на биологический урожай интенсивного сорта установлено не было.

При высокой плотности ( $1,4 \text{ г/см}^3$ ) наблюдалась тенденция снижения биологического урожая полуинтенсивного сорта как при минимальных, так и при оптимальных значениях других факторов. На удобренных вариантах биологический урожай ячменя повышался, однако в зависимости от сорта эта реакция была разной. Так, высокие дозы азотного удобрения ( $90 \text{ кг/га д.в.}$ ), внесенные под полуинтенсивный сорт, были малоэффективными по сравнению с оптимальными дозами ( $45 \text{ кг/га д.в.}$ ).

Интенсивный сорт ячменя, наоборот, положительно реагировал на повышенные дозы азотных удобрений, особенно при оптимальных физических параметрах почвы. Так, в варианте с внесением  $\text{N}_{90}$ , при влажности –  $80\%$  от НВ и плотности сложения почвы  $1,2 \text{ г/см}^3$  биологический урожай интенсивного сорта был на уровне  $3,50 \text{ г/сосуд}$ , тогда как при высокой плотности почвы и оптимальной влажности уменьшался на  $30\%$  (до  $1,16 \text{ г/сосуд}$ ).



а) интенсивный сорт ( $R^2 = 0,60$ )



б) полуинтенсивный сорт ( $R^2 = 0,88$ )

◆ при оптимальных значениях других факторов  
 ■ при минимальных значениях других факторов

Рис. 1. Влияние влажности ( $X_1$ ), плотности сложения ( $X_2$ ) и доз азотных удобрений ( $X_3$ ) на биологический урожай ячменя ярового

**Эффективность фосфорных удобрений.** В результате проведенных исследований выявлено влияние влажности и плотности сложения почвы на эффективность фосфорных удобрений (рис. 2). Полученные данные свидетельствуют

о том, что низкий уровень влажности почвы приводит к снижению биологического урожая ячменя ярового. Максимальный биологический урожай интенсивного сорта (4 г/сосуд) был зафиксирован при оптимальном уровне влажности почвы. При повышении уровня увлажнения до 100 % от НВ увеличения урожая этого сорта не наблюдалось. Иная тенденция была установлена для полуинтенсивного сорта ячменя ярового: с увеличением уровня увлажнения почвы биологический урожай этого сорта увеличивался на 40 % по сравнению с урожаем, полученным при низком уровне влажности.

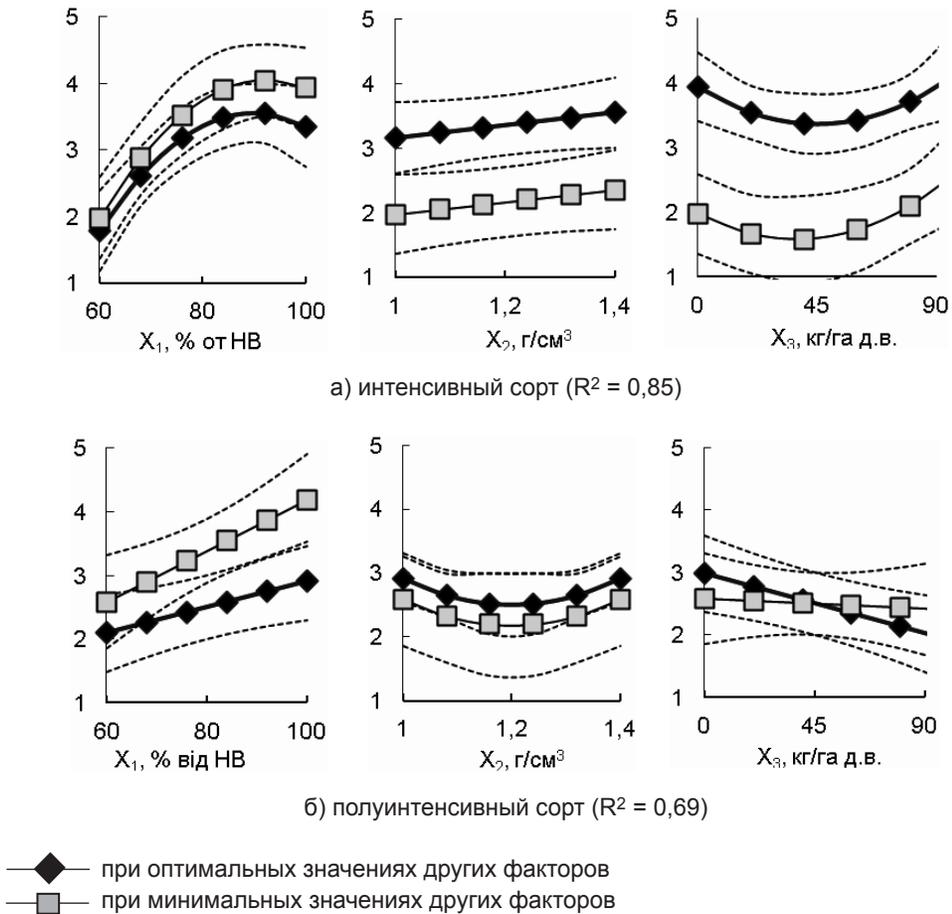


Рис. 2. Влияние влажности ( $X_1$ ), плотности сложения ( $X_2$ ) и фосфорных удобрений ( $X_3$ ) на биологический урожай ячменя ярового

В опыте не установлено негативного влияния повышенной плотности на биологический урожай изучаемых сортов ячменя ярового.

На повышенную дозу фосфорных удобрений (90 кг/га д.в.) лучше отреагировал интенсивный сорт выращиваемой культуры. При оптимальных значениях влажности и плотности почвы внесение  $P_{90}$  способствовало формированию 4 г/сосуд биологической массы, что на 70 % больше урожая, полученного при низких значениях влажности и плотности сложения почвы (2,3 г/сосуд).

Для полуинтенсивного сорта внесение фосфорных удобрений в целом оказалось малоэффективным. При внесении  $P_{90}$  в сочетании с оптимальными значениями влажности и плотности почвы биологический урожай снижался на 30 % по сравнению с вариантом без удобрений, что возможно связано с достаточно высоким содержанием подвижных форм фосфора в исследуемой почве.

**Эффективность калийных удобрений.** В опыте № 3 установлено влияние исследуемых факторов на эффективность калийных удобрений при выращивании разных по интенсивности сортов ячменя ярового. Согласно полученным результатам общий биологический урожай интенсивного сорта на 58 % превышал урожай полуинтенсивного сорта.

Установлено, что увеличение влажности почвы до 100 % от НВ при оптимальных значениях плотности сложения и внесении  $K_{45}$  способствовало росту биологической массы интенсивного сорта культуры. Максимальный биологический урожай при таких условиях был на 30 % выше по сравнению с урожаем, полученным при высоком уровне увлажнения, но в сочетании с минимальными значениями других факторов (рис. 3).

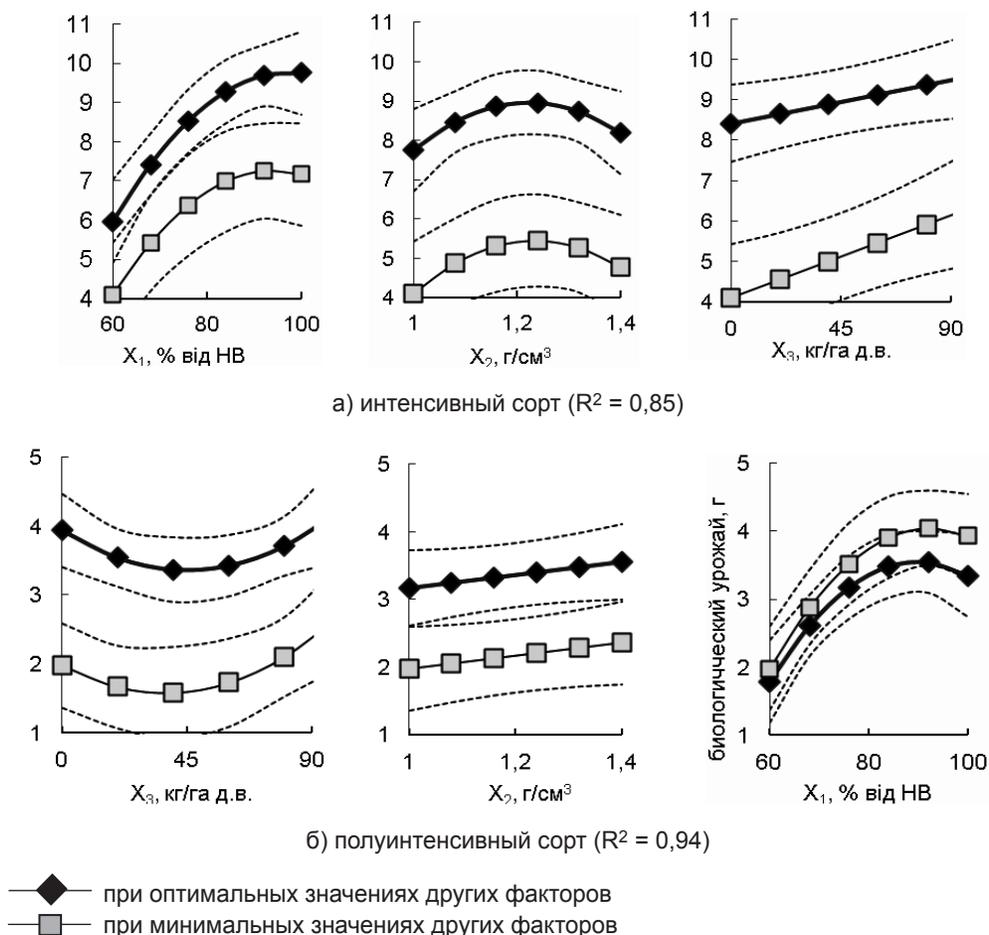


Рис. 3. Влияние влажности ( $X_1$ ), плотности сложения ( $X_2$ ) и калийных удобрений ( $X_3$ ) на биологический урожай ячменя ярового

При выращивании полуинтенсивного сорта оптимальный уровень увлажнения при оптимальном уплотнении почвы обеспечили наибольшую биологическую массу выращиваемой культуры (на 15 % больше по сравнению с максимальным увлажнением и почти в 2 раза больше по сравнению с минимальным уровнем увлажнения).

Отмечена тенденция уменьшения биологического урожая интенсивного сорта не только при высокой, но и при низкой плотности сложения почвы, как при оптимальных, так и при минимальных значениях других исследуемых факторов.

Повышение уровня уплотнения почвы не приводило к существенному уменьшению биологического урожая полуинтенсивного сорта, что, возможно, связано с лучшей приспособленностью таких сортов к неблагоприятным условиям произрастания.

По результатам исследований так же выявлено влияние применяемых доз калийных удобрений на биологический урожай изучаемых сортов культуры. Повышенные дозы в сочетании с оптимальными значениями плотности сложения и влажности почвы способствовали увеличению биологического урожая испытываемых сортов. При внесении  $K_{90}$  в сочетании с оптимальной влажностью и плотностью зафиксировано увеличение биологического урожая интенсивного сорта: на 15 % по сравнению с вариантами без удобрений и на 35 % – при минимальных значениях других изучаемых факторов.

Повышение дозы калийных удобрений с 45 до 90 кг/га д.в. при оптимальных значениях влажности и плотности почвы так же способствовало и повышению биологического урожая полуинтенсивного сорта на 14 %.

## ВЫВОДЫ

1. Установлено влияние агрофизических параметров почвы на эффективность минеральных удобрений при выращивании разных по интенсивности сортов ячменя ярового.

2. Повышение влажности почвы до 100 % от НВ способствовало увеличению биологического урожая интенсивного сорта, наибольший биологический урожай полуинтенсивного сорта получено при влажности 80 % от НВ.

3. Наблюдалось уменьшение биологического урожая интенсивного сорта культуры в 1,5 раза, при высоком уровне уплотнения в сочетании с низким уровнем увлажнения и без азотных удобрений. При высокой плотности ( $1,4 \text{ г/см}^3$ ) наблюдалась тенденция снижения биологического урожая полуинтенсивного сорта как при низких, так и при оптимальных значениях влажности и доз азотных удобрений. Негативное действие повышенной плотности на биологический урожай изучаемых сортов при внесении фосфорных удобрений выявлено не было.

4. Применение  $N_{90}$  способствовало получению максимального биологического урожая интенсивного сорта. Высокие дозы азотного удобрения, внесенные под полуинтенсивный сорт, были малоэффективными по сравнению с оптимальными дозами (45 кг/га д.в.). На повышенную дозу фосфорных удобрений лучше отреагировал интенсивный сорт. Для полуинтенсивного сорта внесение фосфорных удобрений оказалось малоэффективным. Повышенные дозы калийных удобре-

ний в сочетании с оптимальными значениями плотности сложения и влажности почвы способствовали увеличению биологического урожая обоих испытываемых сортов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Липець, Є.* Вплив щільності складення на ефективність засвоєння сільськогосподарськими культурами поживних елементів з ґрунту та добрив / Є. Липець, В.В. Медведєв, Т.Є. Линдіна // Вісник аграрної науки. – 2002. – С. 8–12.
2. *Медведєв, В.В.* Плотность сложения почв (генетический, экологический и агрономический аспекты) / В.В. Медведєв, Т.Е. Линдіна, Т.Н. Лактионова. – Харьков: Изд. «13 типографія», 2004. – 244 с.
3. *Ивойлов, А.В.* Влияние удобрений на урожайность и качество зерна ячменя в зоне неустойчивого увлажнения / А.В. Ивойлов, В.И. Копылов, М.Н. Бесонова // Агрохимия. – 2002. – № 4. – С. 23–31.
4. *Алов, А.С.* Факторы эффективности удобрений / А.С. Алов. – М., 1967. – Ч. II. Агрофизико-химические факторы. – 142 с.
5. *Yapa, L.G.G.* Effect of soil strength on root growth under different water conditions / L.G.G. Yapa, D. D. Fritton, S. T. Willatt // Plant and soil. – 1988. – Vol. 109, N. 1. – P. 9–16.
6. Калийное состояние почв Украины и эффективность калийных удобрений / А.А. Христенко и [др.] // Вестник Междунар. ин-та питания растений. – С. 29–32.
7. *Кадыров, М.А.* Селекционный процесс как объект оптимизационных исследований: идеи, реализация, приоритеты / А.М. Кадыров. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 219 с.
8. *Демидов, О.* Ячмень ярый – новые сорта / О.Демидов, В. Гудзенко // Пропозиція [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа [<http://propozitsiya.com/yachmen-yaryu-novye-sorta>]
9. *Потопляк, О.* Продуктивність сортів ячменю ярого залежно від умов мінерального живлення / О. Потопляк // Вісник Львівс. нац. аграр. ун-ту. – 2013. – № 17 (2). – С.118–122.
10. *Петрова, И.Ф.* Внедрение новых сортов как основной фактор интенсификации зернового производства / И.Ф. Петрова // Сб. науч. тр. / Таврийс. гос. агротехнолог. ун-т. – 2013. – № 2(3). – Эконом. науки. – С. 277–285.
11. Сорти ячменю ярого для сучасного сільськогосподарського виробництва / М.Р. Козаченко [та ін.] // Вісник ЦНЗ АПВ Харківс. обл. – 2014. – № 17. – С. 97–101.
12. *Медведєв, В.В.* Мониторинг почв Украины. Концепция. Итоги. Задачи / В.В. Медведєв. – 2-е изд. – Харьков: Городская типография, 2012. – 536 с.
13. *Юдин, Ф.А.* Методика агрохимических исследований: учеб. пособие / Ф.А. Юдин. – М.: Колос, 1971. – 272 с.
14. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – 5-е изд. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
15. *Єгоршин, О.О.* Планування і математична обробка багатофакторних дослідів / О.О. Єгоршин, М.В. Лісовий. – Харків: Міська друкарня, 2009. – 32 с.

**INFLUENCE OF AGROPHYSICAL PARAMETERS OF CHERNOZEM  
ON THE EFFICIENCY OF MINERAL FERTILIZERS BY THE GROWING  
SPRING BARLEY**

**K.Yu. Uvarenko**

**Summary**

It the article there are presented the results of many factorial laboratory experiments on research of the influence of agrophysical parameters (moisture and compaction) of chernozem typical heavy-loamy on the effectiveness of different doses of fertilizers (nitrogen, phosphorus and potassium) by the growing intensive and semi-intensive sorts of spring barley.

*Поступила 20.04.17*

УДК 631.82:631.491:631.445.2

**КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ  
В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ  
НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ**

**Г.В. Пироговская, О.И. Исаева, С.С. Хмелевский, В.И. Сороко**

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

**ВВЕДЕНИЕ**

Картофель – одна из важнейших сельскохозяйственных культур разностороннего использования, в некотором роде универсальная культура. Он является как кормовой культурой, так и сырьем для промышленности, возделывается повсеместно, во всех областях республики. Клубни картофеля в зависимости от сорта содержат 15–35% сухого вещества, 17–29 % крахмала, 1–2 % белка. Ценность картофеля в том, что он содержит все 8 незаменимых для человека и животных аминокислот [1–3].

Посевные площади картофеля в Республике Беларусь в 2011 г. составляли 344,7 тыс. гектар (6 % от всех посевных площадей в стране), 2012 г. – 335,2 (5,8 %), 2013 г. – 308,6 (5,4 %), 2014 г. – 310,4 (5,3 %), 2015 г. – 313,8 (5,3 %), 2016 г. – 294,6 тыс. гектар (5 %). Беларусь входит в восьмерку основных производителей картофеля (валовый сбор 872,1 тыс. т) и постоянно находится в списке лидеров по производству картофеля на душу населения (700–1000 кг) [3].

Картофель дает хорошие урожаи на разных по генезису и гранулометрическому составу почвах (средняя урожайность 203 ц/га), однако он требователен к наличию питательных веществ в доступной форме для растений. Культура отличается высокой продуктивностью и способностью потреблять и накапливать большое количество питательных элементов [4].

Важным фактором повышения урожайности клубней картофеля и улучшения его качественных показателей является применение органических и минеральных удобрений. В последнее время наряду со стандартными минеральными удобрениями в технологии возделывания картофеля применяются комплексные удобрения без добавок и с добавками микроэлементов, а также проводятся некорневые подкормки микроэлементами или удобрениями жидкими комплексными с хелатными формами микроэлементов по вегетирующим растениям.

Внесение комплексных удобрений – новый этап в использовании минеральных удобрений, обеспечивающие при правильной системе их применения более продуктивное усвоение растениями питательных элементов. Ряд ученых проводили исследования по влиянию комплексных удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур [5–9].

Цель исследований состояла в изучении влияния новых форм и доз комплексных удобрений с различным сочетанием микроэлементов на урожайность и качество картофеля при возделывании его в лизиметрическом и полевых опытах на дерново-подзолистых легкосуглинистых, связно- и рыхлосупесчаных почвах Республики Беларусь (2013–2014 гг.).

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в лизиметрическом опыте (г. Минск, лизиметрическая станция) в 2013 г. на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава (легкосуглинистой, связно- и рыхлосупесчаной). Агрохимические показатели пахотного слоя в начале звена севооборота (люпин узколистный – кукуруза – картофель) в лизиметрическом опыте приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Агрохимические показатели пахотного слоя дерново-подзолистых почв (лизиметрический опыт, осень 2010 г.)**

Почвы	рН	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
			мг/кг			
Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке	6,0	2,3	459	300	963	228
Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на связной супеси, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком с прослойкой песка на контакте	6,1	3,0	322	238	949	192
Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на супеси рыхлой, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком	5,9	2,3	348	215	536	164

Исследования в полевых опытах проводили в 2013–2014 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой, развивающейся на легком лессовидном суглинке почве в ОАО «Гастелловское» Минского района и на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,35 м рыхлым песком в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области.

Агрохимические характеристики пахотного слоя *дерново-подзолистой легкосуглинистой* почвы (0–25 см) в полевом опыте:  $pH_{KCl}$  – 5,89,  $P_2O_5$  – 579 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 373, Ca – 1482, Mg – 117,  $N-NO_3$  – 19,6 мг/кг почвы, содержание гумуса – 2,46 %; *дерново-подзолистой рыхлосупесчаной* почвы:  $pH_{KCl}$  – 5,39,  $P_2O_5$  – 293 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 295, Ca – 593, Mg – 51 мг/кг почвы, содержание гумуса – 2,69 % . Данные агрохимических показателей свидетельствуют, что в целом дерново-подзолистые почвы пригодны для возделывания картофеля.

Повторность вариантов в полевых опытах – 4-кратная, в лизиметрическом – 2-кратная, на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве общая площадь делянки составляла 27 м<sup>2</sup>, учетная – 16,8 м<sup>2</sup>, на рыхлосупесчаной – 18 м<sup>2</sup> и 10,4 м<sup>2</sup>, площадь лизиметра – 3,14 м<sup>2</sup>. Предшественником для картофеля кукуруза, под которую вносили органические удобрения (подстилочный навоз) с осени – фоном в дозе 60 т/га.

Схема лизиметрического опыта включала: контрольный вариант без внесения минеральных и органических удобрений, вариант с применением стандартных удобрений в дозе  $N_{90}P_{68}K_{135}$  (базовый вариант), варианты с комплексным удобрением без микроэлементов в дозе  $N_{90}P_{68}K_{135}$  (марка 16-12-24), а также варианты с  $N_{90}P_{68}K_{135}$  и  $N_{120}P_{90}K_{180}$  с S(5,0 %), B(0,05 %), Cu(0,03 %), Mn(0,04 %), (содержание добавок в % от массы удобрения). В базовом варианте вносили минеральные удобрения в виде стандартных – аммонизированный суперфосфат, карбамид, хлористый калий. Органические удобрения вносились фоном под предшествующую культуру – кукурузу (60 т/га подстилочного навоза).

В полевых опытах изучали новые формы комплексных удобрений с различным сочетанием микроэлементов, в том числе: на легкосуглинистой почве – NPK с S(5,0 %); NPK с S(5,0 %) и B(0,15 %); NPK с S(5,0 %), B(0,15 %), Cu(0,15 %); NPK с S(5,0 %), B(0,15 %), Cu(0,15 %) и регулятором роста растений Гидрогумат; NPK с S(5,0 %), B(0,15 %), Cu(0,15 %), Mn(0,10 %); NPK с S(5,0 %), B(0,15 %), Cu(0,15 %), Mn(0,10 %) и регулятором роста растений Гидрогумат и комплексные удобрения без добавок в дозах  $N_{90}P_{68}K_{135}$  и  $N_{120}P_{90}K_{180}$  на фоне 60 т/га органических удобрений (подстилочный навоз); на рыхлосупесчаной почве – NPK с S(5,0 %), B(0,15 %), Cu(0,15 %) и регулятором роста растений Гидрогумат при минеральной и органо-минеральной (60 т/га, подстилочный навоз) системах удобрения.

Новые формы комплексных удобрений внесены в «Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь» [10]. Схемы полевых опытов представлены в таблицах по тексту.

Объектом исследований являлся картофель Скарб, сорт включен в Государственный реестр с 1997 г., заявитель РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству». Посадка картофеля в лизиметрическом опыте (25 шт./лиз.) проведена 18 мая 2013 г., в полевом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в 2013 г. – 21 мая, в 2014 г. – 25 мая, на рыхлосупесчаной почве в 2013 г. – 18 мая, в 2014 г. – 24 апреля.

Анализ почвенных и растительных образцов проводился в соответствии с общепринятыми методиками и ГОСТ.

В почвенных образцах, отобранных перед закладкой опытов определяли следующие показатели:  $pH_{KCl}$  – потенциометрическим методом ГОСТ 26483-85; подвижные формы фосфора и калия определяли в 0,2 моль/л вытяжке HCl – по

методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91) с последующим определением фосфора на фотоэлектроколориметре, калия – на пламенном фотометре; обменные катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  – по К.К. Гедройцу (ГОСТ 26487-85); содержание гумуса – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91).

В растительных образцах определяли азот, фосфор, калий, кальций, магний после мокрого озоления (смесью серной кислоты и перекиси водорода) согласно следующим ГОСТ: азот – ГОСТ 13496.4-93, фосфор – ГОСТ 28902-91, калий – ГОСТ 30504-97, кальций – ГОСТ 26570-95, магний – ГОСТ 30502-97; содержание микроэлементов проводили методом атомно-адсорбционной спектрофотометрии: Mn (ГОСТ 27995-88, Co, Zn (ГОСТ 27996-88), Cu (ГОСТ 27995-88); определение В осуществлялось согласно ГОСТ 50688-94; сухое вещество – весовым методом (ГОСТ 27548-97); содержание незаменимых аминокислот в гидролизатах белка с использованием ВЭЖХ; содержание нитратов – ионометрический экспресс метод (ГОСТ 13496.19-86) и содержание крахмала – на весах типа ВП-5.

Результаты исследований обрабатывались статистически по Б.А. Доспехову с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на ПЭВМ [11].

Метеорологические показатели в ОАО «Гастелловское» Минского района, ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области в 2013-2014 гг. приведены по данным наблюдений Гидрометцентра и лизиметрической станции г. Минска. Гидротермический коэффициент (ГТК) определялся по формуле Г.Т. Селянинова:  $\text{ГТК} = \Sigma X / \Sigma T \cdot 10$ , где  $\Sigma X$  – сумма атмосферных осадков за период;  $\Sigma T$  – сумма положительных температур воздуха за тот же период [12].

Известно, что одним из определяющих факторов эффективности минеральных удобрений является метеорологические условия возделывания сельскохозяйственных культур. Установлено, что в засушливые годы эффективность НРК удобрений может снижаться в среднем на 36 %, а во влажные возрасти до 52 % по сравнению с годами с оптимальными метеорологическими условиями [13].

Для оценки условий увлажнения применяется показатель увлажнения – гидротермический коэффициент (ГТК), при расчете которого учитываются количество выпавших атмосферных осадков и сумма положительных температур  $>5-10$  °С. Если ГТК больше 1,6, то год считается влажный, от 1,6–1,3 – оптимальный, от 1,3 до 1,0 – слабозасушливый, от 1,0 до 0,7 – засушливый, от 0,7 до 0,4 – очень засушливый, от 0,4 до 0,2 – сухой, от 0,2 и меньше – очень сухой [14].

Метеорологические условия вегетационного периода возделывания картофеля в условиях 2013–2014 гг. приведены в таблице 2. За период проведения исследований количество атмосферных осадков различалось по годам, месяцам, в зависимости от места их выпадения, что сказывалось на урожайности и качестве картофеля.

Метеорологические условия 2013 г. при возделывании картофеля Скарб на лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» и ОАО «Гастелловское» были следующие: атмосферные осадки за апрель–сентябрь составили – 288,4 мм, сумма температур – 2713,7 °С, ГТК = 1,1, соответственно в 2014 г. – 477,5, 2580,1 и 1,9, при среднемноголетнем значении за этот период – 420 мм, сумме температур – 2440,7 °С, ГТК = 1,7. В целом, условия увлажнения в ОАО «Гастелловское» и на лизиметрической станции в 2013 г. характеризо-

вались как слабозасушливые, при этом во время активного нарастания вегетативной массы картофеля в период с апреля по июнь – оптимальные, тогда как формирование клубней проходило в засушливых (июль) и очень засушливых условиях (август). В 2014 г. вегетационный период возделывания картофеля характеризовался как влажный, ГТК составил 1,9 и был близок к среднемуголетнему значению (ГТК = 1,7).

В ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» при возделывании картофеля Скарб в 2013–2014 гг. на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве различались: 2013 г. был оптимальный (ГТК = 1,4), с обильным выпадением атмосферных осадков в мае и июле и незначительным их количеством в августе. 2014 г. был слабозасушливый (ГТК = 1,0): условия увлажнения апреля, июня и июля изменялись от слабозасушливых (ГТК = 0,9–1,0) до очень засушливых (ГТК = 0,4), в то время как май и август были влажные (ГТК ≥ 2).

Таблица 2

**Метеорологические условия вегетационного периода  
возделывания картофеля, 2013–2014 гг. (лизиметрическая станция,  
г. Минск и ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского»)**

Год	Показатели	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Сумма
<i>Лизиметрическая станция г. Минск, ОАО «Гастелловское» Минский район</i>								
2013 г.	Осадки, мм	16,9	75,3	92,5	42,2	23,7	37,8	288,4
	t °С	6,8	16,8	19,0	18,5	18,3	11,8	15,2
	Сумма t °С > 10	129,4	521,1	569,5	574,2	565,5	354,0	2713,7
	ГТК	2,8	1,5	1,7	1,6	1,6	1,7	1,1
2014 г.	Осадки, мм	13,7	83,4	113,7	74,3	166,8	25,6	477,5
	t °С	8,3	14,3	14,5	20,3	18,5	11,6	14,6
	Сумма t °С > 10	249,0	443,3	435,0	629,3	573,5	250,0	2580,1
	ГТК	0,6	1,9	2,6	1,2	2,9	1,0	1,9
Средне- много- летнее	Осадки, мм	46	61	82	90	81	60	420
	t °С	5,5	12,7	16,0	17,7	16,3	11,6	13,3
	Сумма t °С > 10	165	393,7	480	548,7	505,3	348	2440,7
	ГТК	2,8	1,6	1,7	1,6	1,6	1,7	1,7
<i>ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденский район Минская область</i>								
2013 г.	Осадки, мм	26,5	106,9	52,7	82,8	20,0	53,4	342,3
	t °С	7,4	17,4	18,8	18,0	17,8	11,4	15,1
	Сумма t °С > 10	221,3	540,1	564,1	556,6	550,8	342,0	2433,5
	ГТК	1,2	2,0	0,9	1,5	0,4	1,6	1,4
2014 г.	Осадки, мм	22,7	97,9	44,0	26,7	116,5	7,5	268,0
	t °С	8,3	14,3	14,5	20,3	18,5	13,8	13,8
	Сумма t °С > 10	248,8	442,3	435,5	628,8	573,8	248,5	2577,7
	ГТК	0,9	2,2	1,0	0,4	2,0	0,3	1,0
Средне- много- летнее	Осадки, мм	48,0	61,0	81,0	90,0	83,0	59,0	422,0
	t °С	5,3	12,4	16,1	17,6	16,3	11,7	13,1
	Сумма t °С > 10	159,0	384,4	483,0	545,6	505,3	351,0	2428,3
	ГТК	3,0	1,6	1,7	1,7	1,6	1,7	1,7

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность клубней картофеля в лизиметрическом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в контрольном варианте составила 249 ц/га, в варианте со стандартными удобрениями – 443, при внесении комплексных удобрений без микроэлементов (марка NPK 16-12-24 в дозе  $N_{90}P_{68}K_{135}$  – 468, в варианте с применением комплексных NPK с добавками S, B, Cu, Mn при дозах внесения  $N_{90}P_{68}K_{135}$  и  $N_{120}P_{90}K_{180}$  – 521 и 642 ц/га, соответственно на связносупесчаной – 276, 501, 490 и 536 ц/га, на рыхлосупесчаной почве – 204, 455, 449, 495 и 529 ц/га. Максимальная урожайность (642 ц/га) клубней картофеля получена на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в варианте с использованием комплексного удобрения с модифицирующими добавками микроэлементов при дозе  $N_{120}P_{90}K_{180}$ . Прибавка от применения комплексных удобрений с добавками S, B, Cu, Mn в дозе  $N_{90}P_{68}K_{135}$  в зависимости от гранулометрического состава дерново-подзолистых почв, находилась в пределах от 46 до 53 ц/га. Продуктивность картофеля Скарб в условиях 2013 г. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве составила: на контрольном варианте – 74,4 ц/га к.ед., в вариантах с применением стандартных и комплексных удобрений без микроэлементов – 132,9–140,4, в вариантах с применением комплексных удобрений модифицированных микроэлементами – 156,3–192,6 ц/га к.ед.; на связносупесчаной почве – 82,3 ц/га к.ед., 147,0–150,3, и 160,8 ц/га к.ед.; на рыхлосупесчаной почве продуктивность клубней картофеля изменялась от 61,2 ц/га к.ед. (контроль) до 158,7 ц/га к.ед. (комплексные удобрения с микроэлементами в дозе  $N_{120}P_{90}K_{180}$ ) (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние разных форм и доз минеральных удобрений на урожайность и качество картофеля Скарб на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава, (лизиметрический опыт), 2013 г.**

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка к NPK без добавок	Содержание нитратов, мг/кг сырого вещества клубней	Содержание крахмала, %	Продуктивность, ц/га к.ед.
<i>Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке почва</i>					
Контроль без удобрений	249	–	29,6	15,6	74,4
$N_{90}P_{68}K_{135}$ (стандартные)	443	–	80,5	14,7	132,9
$N_{90}P_{68}K_{135}$ (комплексное)	468	–	37,7	15,2	140,4
$N_{90}P_{68}K_{135}S_{4,5}B_{0,05}Cu_{0,03}Mn_{0,04}$	521	53	30,4	14,2	156,3
$N_{120}P_{90}K_{180}S_{6,0}B_{0,06}Cu_{0,04}Mn_{0,05}$	642	174	36,4	13,4	192,6
HCP <sub>05</sub>	37,5	–	–	1,2	15,3
<i>Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на связной супеси, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком с прослойкой песка на контакте почва</i>					
Контроль без удобрений	276	–	27,6	14,6	82,3
$N_{90}P_{68}K_{135}$ (стандартные)	501	–	30,6	13,3	150,3
$N_{90}P_{68}K_{135}$ (комплексное)	490	–	43,2	13,9	147,0
$N_{90}P_{68}K_{135}S_{4,5}B_{0,05}Cu_{0,03}Mn_{0,04}$	536	46	34,3	13,8	160,8
HCP <sub>05</sub>	35,1	–	–	1,1	14,9

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка к НРК без добавок	Содержание нитратов, мг/кг сырого вещества клубней	Содержание крахмала, %	Продуктивность, ц/га к.ед.
<i>Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком почва</i>					
Контроль без удобрений	204	–	29,2	14,7	61,2
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (стандартные)	455	–	35,1	13,6	136,5
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (комплексное)	449	–	40,3	14,0	134,7
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> S <sub>4,5</sub> B <sub>0,05</sub> Cu <sub>0,03</sub> Mn <sub>0,04</sub>	495	46	36,9	13,5	148,5
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> S <sub>6,0</sub> B <sub>0,06</sub> Cu <sub>0,04</sub> Mn <sub>0,05</sub>	529	80	36,9	13,5	158,7
НСР <sub>05</sub>	34,5	–	3,2	1,1	14,1

Качество клубней картофеля оценивалось по содержанию в них нитратов и крахмала. Содержание нитратов в клубнях изменялось по вариантам опыта от 27,6 до 80,5 мг/кг сырого вещества, все значения не ли предельно допустимую концентрацию (ПДК – 250 мг/кг). Содержание крахмала в клубнях на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава в условиях 2013 г. находилось на уровне от 13,3 до 15,6 %, что соответствует значениям характерным для данного сорта [15, 16].

В клубнях картофеля определялось содержание основных элементов питания и микроэлементов. Установлено, что содержание азота в клубнях изменялось по вариантам опыта в зависимости от форм и доз применяемых минеральных удобрений. При возделывании картофеля на легкосуглинистой почве содержание азота в контрольном варианте составило 1,26 %, в вариантах с применением стандартных удобрений – 1,16 %, с комплексным удобрением без микроэлементов – 1,52 %, с комплексным удобрением с добавками микроэлементов – 1,30–1,40 %. На связносупесчаной почве эти показатели были следующими – 1,05 %, 1,54, 1,36, 1,19 %; на рыхлосупесчаной почве содержание азота находилось в пределах от 1,23 % (контроль) до 1,61 % (вариант с повышенной дозой комплексного удобрения с микроэлементами).

Содержание фосфора в клубнях картофеля было в пределах 0,54–0,59 %, кальция – 0,02–0,03 %, магния – 0,05–0,08 %. Содержание калия в клубнях в контрольных вариантах составляло 2,83–2,96 %, в вариантах с применением стандартных удобрений – 2,97–3,27 %, с внесением комплексных удобрений без добавок – 3,12–3,30 %, с комплексным удобрением модифицированным микроэлементами в дозах N<sub>90</sub>P<sub>68</sub>K<sub>135</sub> и N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>180</sub> – 3,05–3,49 % (табл. 4).

В литературных источниках имеются сведения по содержанию некоторых микроэлементов в клубнях и ботве картофеля. Например, по данным П.И. Анспок содержание молибдена в клубнях картофеля находится на уровне 0,05–0,22 мг/кг сухого вещества, в ботве 0,12–0,41, меди в клубнях – 4,1–15,4 мг/кг сухого вещества [17]. В.В. Церлинг приводит оптимальные уровни содержания микроэлементов в верхних и нижних листьях растений картофеля, которые изменяются в зависимости от фазы и срока взятия анализируемой пробы: бор – 10–70 мг/кг сухого вещества, марганец – 40–473, цинк – 17–76 мг/кг сухого вещества [18].

**Содержание элементов питания в клубнях картофеля Скарб при возделывании на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава, (лизиметрический опыт), 2013 г.**

Вариант	Содержание элементов питания в клубнях, % на сухое вещество				
	N общ.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg
<i>Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке почва</i>					
Контроль без удобрений	1,26	0,56	2,96	0,02	0,05
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (стандартные)	1,16	0,58	2,97	0,02	0,06
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (комплексное)	1,52	0,59	3,24	0,02	0,08
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> S <sub>4,5</sub> B <sub>0,05</sub> Cu <sub>0,03</sub> Mn <sub>0,04</sub>	1,30	0,57	3,09	0,02	0,06
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> S <sub>6,0</sub> B <sub>0,06</sub> Cu <sub>0,04</sub> Mn <sub>0,05</sub>	1,40	0,58	3,11	0,02	0,06
<i>Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на связной супеси, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком с прослойкой песка на контакте почва</i>					
Контроль без удобрений	1,05	0,59	2,83	0,03	0,08
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (стандартные)	1,54	0,58	3,27	0,02	0,07
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (комплексное)	1,36	0,54	3,12	0,02	0,05
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> S <sub>4,5</sub> B <sub>0,05</sub> Cu <sub>0,03</sub> Mn <sub>0,04</sub>	1,19	0,56	3,05	0,02	0,06
<i>Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком почва</i>					
Контроль без удобрений	1,23	0,57	2,94	0,02	0,07
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (стандартные)	1,32	0,58	3,13	0,02	0,05
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (комплексное)	1,49	0,57	3,30	0,02	0,06
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> S <sub>4,5</sub> B <sub>0,05</sub> Cu <sub>0,03</sub> Mn <sub>0,04</sub>	1,43	0,55	3,22	0,02	0,06
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> S <sub>6,0</sub> B <sub>0,06</sub> Cu <sub>0,04</sub> Mn <sub>0,05</sub>	1,61	0,54	3,49	0,02	0,07
HCP <sub>05</sub>	0,11	0,04	0,28	0,001	0,005

Экспериментальными лизиметрическими данными установлено, что содержание микроэлементов в клубнях, ботве и корнях картофеля изменялось по вариантам опыта в зависимости от доз и форм применяемых минеральных удобрений (табл. 5).

Содержание меди в клубнях картофеля в контрольных вариантах находилось в пределах от 2,1 до 3,1 мг/кг сухого вещества, при использовании стандартных удобрений – 2,7–3,7, комплексных удобрений без добавок микроэлементов – 2,3–3,1, с внесением новых форм комплексных удобрений с микроэлементами – 2,2–3,9 мг/кг сухого вещества, при допустимом уровне содержания меди в кормах – 50 мг/кг.

Содержание марганца в клубнях на контроле составило 9,9–17,7 мг/кг сухого вещества, в вариантах со стандартными и комплексными без микроэлементов удобрениями – 10,4–16,7, с комплексными удобрениями с микроэлементами – 10,9–15,6 мг/кг сухого вещества.

Содержание цинка и кобальта в клубнях картофеля по вариантам опыта изменялось в пределах от 8,4 до 12,2 и от 0,57 до 0,87 мг/кг сухого вещества соответственно, при допустимом уровне содержания цинка в кормах – 50 мг/кг сухого вещества, кобальта – 1,0 мг/кг.

Таблица 5

Содержание микроэлементов в клубнях, ботве и корнях растений картофеля Скарб, лизиметрический опыт, 2013 г.

Вариант	Содержание микроэлементов, мг/кг сухого вещества											
	клубни				ботва				корни			
	Cu	Mn	Zn	Co	Cu	Mn	Zn	Co	Cu	Mn	Zn	Co
<i>Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке почвы</i>												
Контроль без удобрений	3,1	17,7	8,9	0,76	6,1	170,5	18,3	3,0	8,5	66,6	80,6	1,3
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (стандартные)	2,7	16,7	8,4	0,87	4,4	179,8	15,3	3,1	4,7	72,7	44,3	1,5
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (комплексное)	2,3	16,1	9,1	0,68	3,4	199,3	16,8	2,8	6,3	66,5	45,8	1,5
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> S <sub>4,5</sub> V <sub>0,05</sub> Cu <sub>0,03</sub> Mn <sub>0,04</sub>	3,9	15,1	8,9	0,79	5,2	230,4	20,6	2,7	9,5	52,7	57,4	1,6
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> S <sub>6,0</sub> V <sub>0,06</sub> Cu <sub>0,04</sub> Mn <sub>0,05</sub>	3,7	15,6	10,0	0,75	5,2	342,2	27,4	3,0	6,3	81,6	47,8	2,2
<i>Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на связной супеси, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком с прослойкой песка на контакте почвы</i>												
Контроль без удобрений	2,1	12,0	9,1	0,57	5,6	210,5	32,1	2,5	7,3	57,2	109,5	1,7
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (стандартные)	3,7	12,2	9,2	0,81	5,2	300,4	22,3	2,6	5,0	57,7	67,2	1,4
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (комплексное)	2,6	10,4	9,0	0,66	4,7	239,4	27,2	2,8	3,6	68,2	41,7	1,8
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> S <sub>4,5</sub> V <sub>0,05</sub> Cu <sub>0,03</sub> Mn <sub>0,04</sub>	2,2	13,6	9,1	0,75	4,4	266,7	25,0	2,6	6,4	75,2	65,0	1,8
<i>Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком почвы</i>												
Контроль без удобрений	3,1	9,9	12,2	0,79	5,1	202,6	24,1	2,5	7,8	39,1	96,1	1,5
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (стандартные)	3,1	11,9	10,7	0,76	7,5	319,3	34,1	3,1	8,1	74,9	90,7	1,6
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (комплексное)	3,1	12,1	10,6	0,86	4,6	200,3	44,2	3,5	7,7	78,9	59,4	2,3
N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> S <sub>4,5</sub> V <sub>0,05</sub> Cu <sub>0,03</sub> Mn <sub>0,04</sub>	2,8	10,9	10,6	0,74	5,6	279,4	28,3	3,2	8,6	53,8	72,0	2,0
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> S <sub>6,0</sub> V <sub>0,06</sub> Cu <sub>0,04</sub> Mn <sub>0,05</sub>	3,7	13,1	10,9	0,78	5,0	354,2	37,5	3,5	7,9	63,8	70,6	2,1
НСР <sub>05</sub>	0,22	1,08	0,76	0,05	0,39	18,7	1,89	0,20	0,43	5,13	5,15	0,11

Содержание бора в клубнях картофеля по вариантам лизиметрического опыта было на уровне – 8,7–18,8 мг/кг сухого вещества, в ботве – 22,0–24,9, в корнях растений – 1,8–8,3 мг/кг сухого вещества.

В ботве картофеля содержание микроэлементов было выше, чем в клубнях. Так, содержание меди по вариантам опыта находилось в пределах от 3,4 до 7,5 мг/кг сухого вещества, марганца – 170,5–354,2, цинка – 15,3–44,2, кобальта – 2,5–3,5 мг/кг сухого вещества.

Эти показатели в корнях растений картофеля составили: Cu – 3,6–9,5 мг/кг сухого вещества, Mn – 39,1–81,6, Zn – 41,7–109,5, Co – 1,3–2, мг/кг сухого вещества.

Экспериментальные данные лизиметрического опыта показывают, что наибольшее количество микроэлементов накапливается в ботве и корнях растений картофеля, при этом больше меди и цинка содержится в корнях, а марганца и кобальта – в ботве (табл. 5).

Эффективность применения комплексных удобрений с различным сочетанием микроэлементов при возделывании картофеля Скарб в полевых опытах (2013–2014 гг.) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (ОАО «Гастелловское» Минского района) приведены в таблице 6.

Внесение стандартных и новых форм комплексных удобрений с микроэлементами на легкосуглинистой почве обеспечило в условиях 2013 г. получение урожайности клубней картофеля на уровне 488–566 ц/га, с прибавкой к контрольному варианту в пределах от 190 до 268 ц/га; в 2014 г. – 413–491 ц/га (прибавка 76–154 ц/га), а в среднем за два года от 451 до 515 ц/га, с прибавкой на уровне 133–197 ц/га. При внесении в основную заправку почвы новых форм комплексных удобрений с добавками урожайность клубней картофеля в 2013 г. повышалась на 32–61 ц/га, а комплексных удобрений, модифицированных микроэлементами и регулятором роста растений Гидрогумат – на 32–52 ц/га по отношению к базовому варианту. Наиболее эффективным при возделывании картофеля в 2013 г. оказалось внесение  $N_{90}P_{56}K_{118}$  с S и B (прибавка 61 ц/га к базовому варианту) и NPK с S, B, Cu, Mn и регулятором роста растений Гидрогумат (прибавка 52 ц/га).

В условиях влажного вегетационного периода 2014 г. внесение новых форм комплексных удобрений с модифицирующими добавками примерно на уровне использования комплексного удобрения без модифицирующих добавок. Исключение составил вариант с комплексным удобрением NPK с S, B, Cu, Mn в дозе  $N_{90}P_{56}K_{118}$ , где было отмечено достоверное увеличение урожайности клубней картофеля на 45 ц/га.

В среднем за два года исследований урожайность клубней в вариантах с внесением комплексных удобрений с микроэлементами была в пределах от 479 до 515 ц/га, с прибавкой к базовому варианту в размере 3–39 ц/га. При этом наиболее эффективным было использование комплексного удобрения NPK с S, B, Cu, Mn в дозе  $N_{90}P_{56}K_{118}$ , обеспечившего увеличение урожайности клубней на 38 ц/га.

Окупаемость 1 килограмма NPK в условиях 2013 г. в зависимости от варианта опыта составила от 71 до 102 кг клубней картофеля, в 2014 г. – 29–58, в среднем за два года исследований – 51–75 кг клубней картофеля (табл. 6). Содержание нитратов в клубнях картофеля (2013 г.) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве было невысоким и, в зависимости от варианта опыта, находилось в преде-

лах от 47 до 90 мг/кг сырого вещества, при предельно допустимой концентрации (ПДК) – 250 мг/кг клубней. В условиях 2014 г. содержание нитратов в клубнях как на контроле, так и в вариантах с удобрениями было в 1,5–3,0 раза выше (97–147 мг/кг сырого вещества клубней) по сравнению с предыдущим годом, при среднем за два года – 74–111 мг/кг сырого вещества клубней.

Таблица 6

**Влияние комплексных удобрений на урожайность клубней картофеля Скарб на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, (2013–2014 гг.)**

Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка, ц/га			Окупаемость 1 кг NPK без добавок и с модифицирующими добавками		
	2013 г.	2014 г.	среднее	к контролю	к вар. 2	к базовому	2013 г.	2014 г.	среднее
1. Контроль без удобрений	298	337	318	–	–	–	–	–	–
2. N <sub>90</sub> P <sub>56</sub> K <sub>118</sub> (стандартные удобрения)	488	413	451	133	–	–	72	29	51
3. N <sub>90</sub> P <sub>56</sub> K <sub>118</sub> – комплексное – базовый вариант	505	446	476	158	25		78	41	60
4. N <sub>90</sub> P <sub>56</sub> K <sub>118</sub> S <sub>4,5</sub>	547	447	497	179	46	21	94	42	68
5. N <sub>90</sub> P <sub>56</sub> K <sub>118</sub> S <sub>4,5</sub> B <sub>0,14</sub>	566	441	504	186	53	28	102	39	71
6. N <sub>90</sub> P <sub>56</sub> K <sub>118</sub> S <sub>4,5</sub> B <sub>0,14</sub> Cu <sub>0,14</sub>	537	420	479	161	28	3	91	31	61
7. N <sub>90</sub> P <sub>56</sub> K <sub>118</sub> S <sub>4,5</sub> B <sub>0,14</sub> Cu <sub>0,14</sub> и регулятор роста растений Гидрогумат	554	448	501	183	50	25	97	42	70
8. N <sub>90</sub> P <sub>56</sub> K <sub>118</sub> S <sub>4,5</sub> B <sub>0,14</sub> Cu <sub>0,14</sub> Mn <sub>0,09</sub>	537	491	514	196	63	38	91	58	75
9. N <sub>90</sub> P <sub>56</sub> K <sub>118</sub> S <sub>4,5</sub> B <sub>0,14</sub> Cu <sub>0,14</sub> Mn <sub>0,09</sub> и регулятор роста растений Гидрогумат	550	479	515	197	64	39	95	54	75
10. N <sub>120</sub> P <sub>74</sub> K <sub>157</sub> S <sub>6,0</sub> B <sub>0,18</sub> Cu <sub>0,18</sub> Mn <sub>0,12</sub> и регулятор роста растений Гидрогумат	547	449	498	180	47	22	71	32	52
НСР <sub>05</sub>	39,3	34,9	37,2	–	–	–	–	–	–

Содержание крахмала в 2013 г. было наибольшим в контрольном варианте (без удобрений) составило 14,7 %. Внесение удобрений снижало крахмалистость клубней до 12,9–13,8 %. В то же время отмечалась тенденция незначительного увеличения содержания крахмала (до 0,8 %) в вариантах с применением комплексных удобрений с модифицирующими добавками по отношению к базовому варианту. В 2014 г. содержание крахмала в удобренных вариантах изменялось в пределах от 12,8 до 13,7 %, на контрольном варианте – 14,3 %. Применение в опыте комплексных удобрений с микроэлементами и комплексного удобрения с микроэлементами и регулятором роста растений Гидрогумат в разных дозах не оказало существенного влияния на содержание крахмала в клубнях относительно базового варианта, только в отдельных вариантах отмечена тенденция его увеличения на 0,6–0,7 % (табл. 7).

Таблица 7

**Влияние комплексных удобрений на показатели качества клубней картофеля Скарб на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, (2013–2014 гг.)**

Вариант	Крахмал, %						Товарность, %						Содержание нитратов, мг/кг сырого вещества клубней					
	2013 г.		2014 г.		среднее	+/-, к базовому	2013 г.		2014 г.		среднее	+/-, к базовому	2013 г.		2014 г.		среднее	+/-, к контролю
	13,0	12,8	13,0	13,1			13,0	12,9	13,0	12,8			13,0	13,1	13,0	12,9		
1. Контроль без удобрений	14,7	14,3	14,5	–	70,6	81,1	75,9	–	49	99	74	–	49	99	74	–	–	–
2. N <sub>90</sub> P <sub>56</sub> K <sub>118</sub> (стандартные удобрения)	12,9	13,4	13,2	–	87,5	81,4	84,5	–	51	145	98	–	51	145	98	–	24	24
3. N <sub>90</sub> P <sub>56</sub> K <sub>118</sub> – комплексное – базовый вариант	13,0	13,0	13,0	–	74,2	84,7	79,5	–	47	140	94	–	47	140	94	–	20	20
4. N <sub>90</sub> P <sub>56</sub> K <sub>118</sub> S <sub>4,5</sub>	13,3	13,0	13,2	0,2	71,4	84,5	78,0	-1,5	55	94	75	–	55	94	75	–	1	1
5. N <sub>90</sub> P <sub>56</sub> K <sub>118</sub> S <sub>4,5</sub> В <sub>0,14</sub>	13,8	12,8	13,3	0,3	80,2	83,8	82,0	2,5	59	134	97	–	59	134	97	–	23	23
6. N <sub>90</sub> P <sub>56</sub> K <sub>118</sub> S <sub>4,5</sub> В <sub>0,14</sub> Сu <sub>0,14</sub>	13,0	12,8	12,9	0,1	71,9	82,4	77,2	-2,3	70	136	103	–	70	136	103	–	29	29
7. N <sub>90</sub> P <sub>56</sub> K <sub>118</sub> S <sub>4,5</sub> В <sub>0,14</sub> Сu <sub>0,14</sub> и регулятор роста растений Гидрогумат	13,1	12,9	13,0	–	75,9	81,6	78,8	-0,7	74	141	108	–	74	141	108	–	34	34
8. N <sub>90</sub> P <sub>56</sub> K <sub>118</sub> S <sub>4,5</sub> В <sub>0,14</sub> Сu <sub>0,14</sub> Mn <sub>0,09</sub>	13,2	13,0	13,1	0,1	83,8	82,1	83,0	3,5	51	128	90	–	51	128	90	–	16	16
9. N <sub>90</sub> P <sub>56</sub> K <sub>118</sub> S <sub>4,5</sub> В <sub>0,14</sub> Сu <sub>0,14</sub> Mn <sub>0,09</sub> и регулятор роста растений Гидрогумат	13,0	13,7	13,4	0,4	74,0	84,7	79,4	-0,1	54	104	79	–	54	104	79	–	5	5
10. N <sub>120</sub> P <sub>74</sub> K <sub>157</sub> S <sub>6,0</sub> В <sub>0,18</sub> Сu <sub>0,18</sub> Mn <sub>0,12</sub> и регулятор роста растений Гидрогумат	13,6	12,8	13,2	0,2	88,0	87,5	87,8	8,3	90	131	111	–	90	131	111	–	37	37
НСР <sub>05</sub>	0,9	0,8	0,85	–	5,7	6,0	5,85	–	6,0	5,1	6,7	–	6,0	5,1	6,7	–	–	–

Метеорологические условия слабозасушливого вегетационного периода 2013 г. не способствовали получению высокого выхода товарных клубней: на контроле он составил только 70,6 %, в удобренных вариантах этот показатель повышался от 71,4–88,0 %. Наиболее высокое значение получено при внесении  $N_{120}P_{74}K_{157}$  с S, B, Cu, Mn и регулятором роста растений Гидрогумат (88,0 %), а также комплексного удобрения с S, B, Cu, Mn в дозе  $N_{90}P_{56}K_{118}$  (83,8 %), с прибавками к базовому варианту 13,8 % и 9,6 % соответственно.

В условиях 2014 г. товарность клубней картофеля в целом была несколько выше по сравнению с предыдущим годом. Так, на контроле она составляла 81,1 %, в вариантах с использованием стандартных удобрений – 81,4 %, с применением комплексных удобрений – 81,6–87,5 %. При этом отмечена тенденция увеличения товарности клубней от применяемых комплексных удобрений, а в варианте с использованием NPK с S, B, Cu, Mn и регулятором роста растений Гидрогумат ( $N_{120}P_{74}K_{157}$ ) – достоверное ее увеличение (на 6,4 %) по отношению к контролю (табл. 7).

В полевых опытах на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденский район Минская область) в 2013–2014 гг. эффективность стандартных и новых форм комплексных (NPK с S, B, Cu и регулятором роста растений Гидрогумат) удобрений при возделывании картофеля изучалась на минеральной и органо-минеральной системах удобрения (органическая система – 60 т/га подстилочного навоза). Урожайность картофеля на этой почве была достаточно высокой: на контроле она составила 184 (2013 г.) и 141 (2014 г.) ц/га, в удобренных вариантах в 2013 г. – 216–385 ц/га, в 2014 г. – 183 ц/га.

*При минеральной системе удобрения* внесение смеси стандартных удобрений ( $N_{90}P_{68}K_{135}$ ) повысило урожайность клубней в среднем за два года до 300 ц/га с прибавкой в 137 ц/га к контрольному варианту. Эффективно было внесение твердых комплексных удобрений NPK с S, B, Cu и регулятором роста растений Гидрогумат, обеспечивших увеличение урожайности до 320 ц/га, с прибавкой 157 ц/га к контрольному варианту и 20 ц/га по отношению к стандартным удобрениям, с повышением окупаемости 1 кг NPK на 7 кг клубней (табл. 8).

*Органическая система удобрения* (60 т/га подстилочного навоза) обеспечила получение урожайности клубней картофеля в среднем за 2 года на уровне 254 ц/га.

*Органо-минеральная система удобрения* способствовала дальнейшему росту урожайности картофеля до 370–385 ц/га (2013 г.) и 289–324 ц/га (2014 г.). При этом несколько снижалась отдача от 1 кг NPK в среднем за два года до 25–34 кг клубней (для сравнения 47–54 кг при минеральной системе удобрения). При увеличении дозы минеральных удобрений с 293 до 390 кг д.в. NPK не отмечено повышение урожайности клубней картофеля, при этом отдача от 1 кг NPK снижалась на 9 кг клубней. При органо-минеральной системе удобрения применение комплексных удобрений с модифицирующими добавками в годы исследований обеспечило повышение урожайности клубней при внесении  $N_{90}P_{68}K_{135}$  на 24 ц/га, а окупаемость 1 кг NPK – на 8 кг клубней, при  $N_{120}P_{90}K_{180}$  – на 19 ц/га по сравнению со стандартными туками (табл. 8).

Отмечено влияние применяемых систем удобрений на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве на показатели качества клубней картофеля. Содержание

крахмала по вариантам опыта варьировало в 2013 г. в пределах от 11,4 до 13,9 %, при наибольшей крахмалистости клубней в органической системе удобрения. В условиях 2014 г. максимальная крахмалистость отмечена в вариантах без удобрений (14,6 %) и на фоновом варианте – 14,2 %. Внесение минеральных удобрений снижало содержание крахмала на 0,5–1,6 %, органических – на 1,9 %. В вариантах с комплексными удобрениями качество урожая было несколько выше по сравнению с внесением стандартных форм удобрений – за счет тенденции повышения содержания крахмала на 0,2–0,4 % в 2013 г. и 0,1–0,2 % в 2014 г. (табл. 9).

Таблица 8

**Влияние системы удобрения на урожайность картофеля Скарб на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, (2013–2014 гг.)**

Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка к контролю, ц/га	Окупаемость 1 кг НРК без добавок и с модифицирующими добавками, кг клубней		
	2013 г.	2014 г.	среднее		2013 г.	2014 г.	среднее
1. Контроль без удобрений	184	141	163	–	–	–	–
<i>Минеральная система удобрения</i>							
2. N <sub>18</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (фон)	241	183	212			19	22
3. N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (стандартные)	338	262	300	137	53	41	47
4. N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> S <sub>4,5</sub> B <sub>0,14</sub> Cu <sub>0,14</sub> и регулятором роста растений Гидрогумат	356	284	320	157	59	49	54
<i>Органическая система удобрения</i>							
5. Подстилочный навоз (60 т/га)	216	292	254	91	–	–	–
<i>Органо-минеральная система удобрения</i>							
6. ОУ + N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (стандартные)	370	289	330	167	27	25	26
7. ОУ + N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> S <sub>4,5</sub> B <sub>0,14</sub> Cu <sub>0,14</sub> и регулятор роста растений Гидрогумат	385	322	354	191	32	36	34
8. ОУ + N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> S <sub>6,0</sub> B <sub>0,18</sub> Cu <sub>0,18</sub> и регулятор роста растений Гидрогумат	373	324	349	186	21	28	24
НСР <sub>05</sub>	14,3	13,2	13,8	–	–	–	–

Содержание нитратов в клубнях условиях 2013–2014 гг. было невысоким – в 3,1–6,3 раза ниже ПДК (250 мг/кг сырого вещества) и различалось по вариантам опыта: на контроле – 40–42, в удобренных вариантах – 54–81 мг/кг сырого вещества. В целом удобрения способствовали повышению содержания нитратов в клубнях, однако значимых колебаний по вариантам не было отмечено. Не выявлено существенного влияния комплексных удобрений на содержание нитратов, их применение незначительно (в пределах НСР) снижало или повышало этот показатель.

Товарность клубней картофеля была минимальной на контроле без внесения удобрений и составила в среднем за два года 67,7 %. При минеральной систе-

ме удобрения товарность повышалась до 71,9–78,1 %, органической – 67,7 % органо-минеральной системе – 73,5–78,1 %. Комплексные удобрения с S, B, Cu и регулятором роста растений Гидрогумат положительно влияли на качество картофеля, повышая товарность клубней при минеральной системе на 0,7 % (2013 г.) – 3,3 % (2014 г.), органо-минеральной – на 0,3–6,3 % (2013 г.) и 3,0–4,3 % (2014 г.).

Таблица 9

**Влияние системы удобрения на качество клубней картофеля Скарб на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, (2013–2014 гг.)**

Вариант	Крахмал, %			Нитраты, мг/кг сырого вещества клубней			Товарность, %		
	2013 г.	2014 г.	среднее	2013 г.	2014 г.	среднее	2013 г.	2014 г.	среднее
1. Контроль без удобрений	13,3	14,6	14,0	40	42	41	66,9	68,5	67,7
2. N <sub>18</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (фон)	12,0	14,2	13,1	54	64	59	77,1	66,7	71,9
3. N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (стандартные)	11,9	13,7	12,8	72	72	72	76,6	75,5	76,1
4. N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> S <sub>4,5</sub> B <sub>0,14</sub> Cu <sub>0,14</sub> и регулятором роста растений Гидрогумат	12,3	14,1	13,2	61	61	61	77,3	78,8	78,1
5. Подстилочный навоз (60 т/га)	13,9	12,7	13,3	75	81	78	67,0	68,3	67,7
6. ОУ + N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> (стандартные)	11,4	13,6	12,5	64	67	66	75,8	71,1	73,5
7. ОУ + N <sub>90</sub> P <sub>68</sub> K <sub>135</sub> S <sub>4,5</sub> B <sub>0,14</sub> Cu <sub>0,14</sub> и регулятор роста растений Гидрогумат	11,5	13,8	12,7	75	66	71	82,1	74,1	78,1
8. ОУ + N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> S <sub>6,0</sub> B <sub>0,18</sub> Cu <sub>0,18</sub> и регулятор роста растений Гидрогумат	11,6	13,7	12,7	65	65	65	76,1	75,4	75,8
НСП <sub>05</sub>	0,20	0,21	0,21	6,7	5,6	6,2	2,1	2,4	2,3

**ВЫВОДЫ**

1. При возделывании картофеля Скарб в лизиметрическом опыте в условиях 2013 г. применение комплексного NPK с S, B, Cu, Mn обеспечило получение достоверной прибавки урожая клубней на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (N<sub>90</sub>P<sub>68</sub>K<sub>135</sub> и N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>135</sub>) – 53–174 ц/га, при содержании нитратов на уровне 30,4–36,4 мг/кг сырого вещества (ПДК 250 мг/кг сырого вещества), крахмала – 13,4–14,2 %, соответственно на дерново-подзолистой связносупесчаной (N<sub>90</sub>P<sub>68</sub>K<sub>135</sub>) – 46 ц/га, 34,3 мг/кг сырого вещества и 13,8 %, на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной (N<sub>90</sub>P<sub>68</sub>K<sub>135</sub>) – 46–80 ц/га, при содержании нитратов – 36,9 мг/кг сырого вещества и 13,5 % крахмала.

2. В полевом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в условиях 2013–2014 гг. наиболее эффективным было внесение NPK с S, B, Cu, Mn с урожайностью на уровне 514 ц/га и прибавкой к базовому варианту (NPK

без микроэлементов) – 38 ц/га, при содержании нитратов на уровне – 90 мг/кг сырого вещества, крахмала – 13,1 %, товарности – 83,0 %; на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве на минеральной системе удобрения прибавка от внесения NPK с S, B, Cu, Mn и регулятором роста Гидрогумат составила 20 ц/га по сравнению с применением стандартных удобрений, при содержании нитратов 61 мг/кг сырого вещества, крахмала – 13,2 %, товарности – 78,1 % соответственно на органо-минеральной – 19–24 ц/га, сырого вещества – 65–71 мг/кг, товарности – 75,8–78,1 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бульба белорусская: энциклопедия / под общ. ред. И.И. Колядко. – Минск: Беларус. энцыклапедыя імя П. Броўкі, 2008. – 384 с.
2. Босак, В.Н. Система удобрения в севооборотах на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах / В.Н. Босак. – Минск, 2003. – 176 с.
3. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. – Минск, 2017. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа: 17.03.2017.
4. Комплексные удобрения: справочное пособие / В.Г. Минеев [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1986. – 252 с.
5. Применение минеральных удобрений, модифицированных мезо- и микроэлементами, под картофель: рекомендации / А.В. Коршунов [и др.]. – М.: Российская академия с/х наук, Всероссийский научно-исслед. ин-т картофельного хоз-ва, 2002. – 42 с.
6. Комплексные удобрения для сельскохозяйственных культур: перспективные разработки / В.В. Лапа [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 1(42). – С. 244–248.
7. Хох, Н.А. Влияние различных уровней органоминерального питания и ширины междурядий на продуктивность картофеля / Н.А. Хох, Д.В. Климентьева // Современные технологии сельскохозяйственного производства: материалы XII междунар. научн.-практ. конференции. – Гродно: ГГАУ, 2009. – С. 251–252.
8. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 293 с.
9. Применение новых форм комплексных удобрений под основные сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Г.В. Пироговская [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – 48 с.
10. Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / Р.А. Новицкий [и др.] ; М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Глав. гос. инспекция по семеноводству, карантину и защите растений. – Минск: Белбланкавыдат, 2014. – 457 с.
11. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
12. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2007. – 390 с.

13. Панников, В.Д. Почва, климат, удобрения и урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 521 с.

14. Гольберг, М.А. Опасные явления погоды и урожай / М.А. Гольберг, Г.В. Волобуева, А.А. Фалей. – Минск: Ураджай, 1988. – 20 с.

15. Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству» [Электронный ресурс] / РУП «Науч.-практ. центр нац. академии наук Респ. Беларусь. по картофел. и плодоовощ.» – Минск, 2017. – Режим доступа: <http://www.belbulba.by>. – Дата доступа: 20.03.2017.

16. Государственный реестр сортов / В.А. Бейня [и др.]: М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Гос. учрежд. Гос. инспекция по испытанию и охране сортов растений. – Минск: Информационно-вычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь, 2015. – 275 с.

17. Анспок, П.И. Микроудобрения: справочник / П.И. Анспок. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Агропромиздат, 1990. – 272 с.

18. Церлинг, В.В. Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В.В. Церлинг. – Минск: Наука, 1978. – 216 с.

## COMPLEX FERTILIZERS IN TECHNOLOGY OF POTATO CULTIVATION ON SOD-PODSOLIC SOILS

G.V. Pirogovskaya, O.I. Isaeva, S.S. Khmelevsky, V.I. Soroko

### Summary

The data on influence of complex fertilizers with microelements on productivity and quality of potato tubers (nitrates, starch content, the contents of basic elements and microelements) in cultivation on sod-podzolic (light loamy, coherent and loose sandy loam) soils of Belarus.

*Поступила 12.04.17*

УДК 631.81.095.337:633.33

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЖИДКИХ МИКРОУДОБРЕНИЙ МИКРОСТИМ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЛЮЦЕРНЫ

М.В. Рак, С.А.Титова, Т.Г. Николаева

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

### ВВЕДЕНИЕ

Решение проблемы производства кормов для животноводства тесно связано с возделыванием многолетних трав, из которых наиболее ценной является люцерна. Эту культуру отличает высокая продуктивность, долголетие, многоцелевое использование. Продуктивность люцерны может достигать более 500 ц/га зеленой

массы, что соответствует 100–120 ц/га к.ед. и 18–19 ц/га переваримого протеина [1, 2]. Повышение урожайности и качества люцерны невозможно без обеспечения сбалансированного питания всеми необходимыми макро- и микроэлементами. При этом научно обоснованное применение удобрений позволяет регулировать процессы обогащения растениеводческой продукции элементами минерального питания.

Для каждой культуры имеются определенные микроэлементы, недостаток или избыток которых в питании вызывает стрессовое состояние растений и значительно снижает их продуктивность [3, 4, 5]. Исходя из биологических особенностей люцерны, наибольшее значение из микроэлементов имеет молибден и бор. Эти микроэлементы участвуют в углеводном, азотном и фосфорном обмене, входят в состав ферментов, влияют на интенсивность окислительно-восстановительных реакций. Молибден положительно влияет на усвоение атмосферного азота клубеньковыми бактериями. При недостатке бора у растений происходит нарушение синтеза белка [6].

Наиболее доступной формой для растений являются микроудобрения в хелатной или органо-минеральной форме. Эти микроудобрения технологичны в применении и обладают высокой биологической активностью, поэтому быстрее включаются в физиолого-биохимические процессы в растениях [7, 8]. Большое значение имеет также использование регуляторов роста природного происхождения, получаемых на основе гуминовых веществ [9]. В связи с этим разработка новых хелатных и органо-минеральных форм микроудобрений и системы их применения при возделывании люцерны актуальна и имеет практическую значимость.

Цель исследований – изучение эффективности новых жидких микроудобрений МикроСтим-Молибден и МикроСтим-Молибден, Бор при возделывании люцерны на дерново-подзолистой супесчаной почве.

## МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по эффективности новых жидких микроудобрений с биостимулятором МикроСтим для предпосевной обработки семян и некорневой подкормки люцерны проводили в 2015–2016 гг. в полевых опытах в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района на дерново-подзолистой супесчаной почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы опытных участков:  $pH_{KCl}$  – 6,02–6,04, гумус – 2,49–3,03 %,  $P_2O_5$  – 223–234 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 309–358, В – 0,57–1,18, Cu – 1,48–2,32,  $Mn_{обм}$  – 1,73, Zn – 2,34–2,41 мг/кг почвы. Площадь делянки – 36 м<sup>2</sup>, повторность – 3-кратная.

В 2016 г. изучение влияния некорневых подкормок люцерны новыми жидкими микроудобрениями МикроСтим проводили в производственном опыте в СПК «Городея» Несвижского района Минской области на дерново-подзолистой связно-супесчаной почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы:  $pH_{KCl}$  – 6,45, гумус – 1,5 %,  $P_2O_5$  – 177 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 268, В – 0,64, Cu – 1,58,  $Mn_{обм}$  – 2,2, Zn – 2,08 мг/кг почвы. Площадь производственного опыта – 15 га.

Агротехника возделывания люцерны общепринятая для республики. В опытах возделывалась люцерна Плато и Вега. Норма высева семян люцерны – 20 кг/га. Исследования с люцерной в полевых опытах проводили на фоне  $P_{90}K_{180}$ , в производственном опыте –  $P_{35}K_{150}$ . Минеральные удобрения внесены в виде

аммофоса, суперфосфата аммонизированного и хлористого калия. На посевах люцерны применяли гербицид Базагран (2,0 л/га).

Метеорологические условия в 2015 г. были менее благоприятными для роста и развития растений люцерны. По гидротермическому коэффициенту вегетационный период характеризуется как засушливый (ГТК-0,9). Погодные условия 2016 г. для развития и накопления вегетационной массы были вполне благоприятными (ГТК-1,46).

Для расширения ассортимента жидких микроудобрений при возделывании многолетних бобовых трав в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» разработаны новые марки микроудобрений с биостимулятором МикроСтим (ТУ ВУ 100079183.006-2008, изменение № 025389/06 от 25.07.2016). Микроудобрения МикроСтим-Молибден и МикроСтим-Молибден, Бор – водорастворимые концентраты, изготовленные на основе молибдена и бора в органо-минеральной форме и регулятора роста гидрогумат. Микроудобрения представляют собой темно-коричневую однородную, непрозрачную жидкость со специфическим запахом, хорошо растворимы в воде, нетоксичны. Микроудобрение МикроСтим-Молибден содержит молибден (150 г/л), общий азот (75 г/л) и гуминовые вещества (6,0 г/л), МикроСтим-Молибден, Бор – молибден (50 г/л), бор (50 г/л), общий азот (66 г/л) и гуминовые вещества (6,0 г/л).

В опытах микроудобрения МикроСтим-Молибден и МикроСтим-Молибден, Бор в возрастающих дозах использовались для некорневой подкормки вегетирующих растений люцерны, которую проводили в фазу стеблевания (при высоте растений 8–10 см) под каждый укос. Рабочий раствор приготавливался непосредственно перед проведением обработки посевов путем разведения концентрата удобрения водой. Расход рабочего раствора 200 л/га. Для предпосевной обработки семян рабочий раствор, состоящий из воды и микроудобрения, готовился непосредственно перед посевом, тщательно перемешивался и равномерно наносился на поверхность семян. Расход рабочего раствора 10 л/т.

Закладка и проведение полевых и производственных опытов проводилась в соответствии с методикой полевых опытов. Полученные в результате проведения исследований данные подвергались статистической обработке (дисперсионный анализ – согласно методике полевого опыта Б.А. Доспехова [10] с помощью пакета Microsoft). Экономическая эффективность применения новых жидких микроудобрений рассчитывалась по методике, разработанной Институтом почвоведения и агрохимии [11]. Схемы опытов и дозы микроудобрений представлены далее в таблицах.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что при возделывании люцерны применение новых жидких микроудобрений с биостимулятором МикроСтим, содержащие молибден и бор в органо-минеральной форме, оказало существенное влияние на ее продуктивность. Уровень прибавок урожая зависел от марки микроудобрения, способа и доз внесения.

Некорневая подкормка в фазу стеблевания микроудобрением МикроСтим-Молибден, в возрастающих дозах, способствовала повышению урожайности сухой массы в среднем за два года исследований за три укоса на 8,7–9,7 ц/га, а по

укосам от 2,5 до 3,7 ц/га по сравнению с фоновым вариантом (табл. 1). Более высокие прибавки урожая обеспечивало внесение микроудобрения в дозе 0,33 и 0,66 л/га. При внесении в некорневые подкормки микроудобрения МикроСтим-Молибден, Бор, в возрастающих дозах, прибавки урожайности люцерны были выше и составили 10,4–12,3 ц/га, а по укосам – 3,1–4,4 ц/га. Наиболее эффективно было применение микроудобрения в дозе 2,0 л/га.

Таблица 1

**Влияние некорневых подкормок люцерны микроудобрениями МикроСтим на урожайность люцерны, ц/га сухой массы**

Вариант	2015 г.			2016 г.			Среднее за 2015–2016 гг.			Сумма за 3 укоса	Прибавка
	укосы										
	I	II	III	I	II	III	I	II	III		
1. P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> – фон	49,0	40,4	29,5	39,6	48,2	31,9	44,3	44,3	30,7	119,3	–
2. Фон + МикроСтим-Молибден (0,33 л/га)	52,1	43,3	31,5	42,8	51,4	34,9	47,5	47,4	33,2	128,1	8,8
3. Фон + МикроСтим-Молибден (0,66 л/га)	53,3	44,2	31,9	42,3	51,8	34,4	47,8	48,0	33,2	129,0	9,7
4. Фон + МикроСтим-Молибден (1,0 л/га)	52,8	43,5	32,5	42,1	50,6	34,3	47,5	47,1	33,4	128,0	8,7
5. Фон + МикроСтим-Молибден, Бор (1,0 л/га)	51,7	45,1	33,0	43,0	51,7	34,9	47,4	48,4	34,0	129,8	10,5
6. Фон + МикроСтим-Молибден, Бор (2,0 л/га)	53,6	44,6	32,5	43,6	52,7	36,0	48,6	48,7	34,3	131,6	12,3
7. Фон + МикроСтим-Молибден, Бор (3,0 л/га)	52,8	43,7	32,4	42,7	52,1	35,6	47,8	47,9	34,0	129,7	10,4
НСП <sub>05</sub>	2,5	2,2	1,7	1,9	1,7	1,8	2,2	2,0	1,8	6,6	

Применение новых жидких микроудобрений МикроСтим в некорневую подкормку положительно влияло на качество люцерны. Так, некорневая подкормка люцерны микроудобрением МикроСтим-Молибден, в возрастающих дозах, увеличивала выход сырого протеина с гектара на 1,9–2,9 ц/га при средневзвешенном содержании сырого протеина – 17,2–17,8 % (табл. 2). При внесении микроудобрения МикроСтим-Молибден, Бор выход сырого протеина с гектара был выше фона на 3,4–4,8 ц/га при средневзвешенном содержании сырого протеина – 18,2–18,9%.

Внесение микроудобрений МикроСтим в некорневую подкормку люцерны повышало выход кормовых единиц (табл. 3). Так, в среднем за два года исследований при некорневой подкормке люцерны микроудобрениями МикроСтим-Молибден и МикроСтим-Молибден, Бор выход кормовых единиц увеличился соответственно на 5,4–6,0 ц/га и 6,4–7,5 ц/га в сравнении с фоновым вариантом. Максимальный выход кормовых единиц получен в первом и втором укосах люцерны, что связано с наибольшей урожайностью сухой массы. Содержание нитратов в зеленой массе за годы исследований составило 147–196 мг/кг сырой массы, что не превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК – 300 мг/кг). В 2015 г. содержание нитратов колебалось от 125,0 мг/кг до 199, мг/кг, 2016 г. – от 104,0 мг/кг до 299,0 мг/кг сырой массы.

Таблица 2

**Влияние некорневых подкормок люцерны микроудобрением МикроСтим на содержание и выход сырого протеина**

Вариант	Содержание сырого протеина, %			Выход сырого протеина, ц/га		
	2015 г.	2016 г.	среднее	2015 г.	2016 г.	среднее
1. P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> – фон	18,8	14,9	16,9	22,3	17,8	20,1
2. Фон + МикроСтим-Молибден (0,33 л/га)	19,8	14,5	17,2	25,1	18,8	22,0
3. Фон + МикроСтим-Молибден (0,66 л/га)	21,0	14,6	17,8	27,2	18,8	23,0
4. Фон + МикроСтим-Молибден (1,0 л/га)	20,1	15,3	17,7	25,9	19,4	22,7
5. Фон + МикроСтим-Молибден, Бор (1,0 л/га)	20,1	16,2	18,2	26,0	20,9	23,5
6. Фон + МикроСтим-Молибден, Бор (2,0 л/га)	20,5	17,3	18,9	26,8	22,9	24,9
7. Фон + МикроСтим-Молибден, Бор (3,0 л/га)	20,9	16,9	18,9	26,9	22,0	24,5

Результаты исследований показали, что применение различных марок молибденовых удобрений способствовало повышению содержания молибдена в сухой массе люцерны (табл. 3). Некорневая подкормка люцерны в фазу стеблевания микроудобрением МикроСтим-Молибден в дозе 0,33 л/га позволила повысить содержание элемента в сухом веществе люцерны до 1,83 мг/кг. Дальнейшее повышение дозы до 0,66 л/га приводило к увеличению содержания в 3,9 раза (4,21 мг/кг сухой массы), что превышает верхнюю границу допустимого содержания молибдена в кормах. При внесении в некорневую подкормку микроудобрения МикроСтим-Молибден, Бор в дозе 1,0 л/га содержание молибдена в сухой массе составило 2,41 мг/кг, что не превышает оптимальную концентрацию элемента. Повышение дозы микроудобрения до 2,0 л/га приводило к увеличению содержания молибдена до 2,90 мг/кг сухой массы, что превышало верхнюю границу допустимого содержания молибдена в кормах. Содержание бора в сухой массе люцерны от повышения дозы удобрения увеличивалось на 0,9–3,1 мг/кг и колебалось от 18,4 до 20,6 мг/кг сухой массы.

Таблица 3

**Влияние микроудобрений МикроСтим на показатели качества люцерны (среднее 2015–2016 гг.)**

Вариант	Выход к.ед., ц/га	Содержание		
		нитратов мг/кг	Mo мг/кг сухой массы	B мг/кг сухой массы
1. P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> – фон	72,7	147	0,52	17,5
2. Фон + МикроСтим-Молибден (0,33 л/га)	78,1	167	1,83	–
3. Фон + МикроСтим-Молибден (0,66 л/га)	78,7	168	4,21	–
4. Фон + МикроСтим-Молибден (1,0 л/га)	78,1	156	–	–
5. Фон + МикроСтим-Молибден, Бор (1,0 л/га)	79,1	160	2,41	18,4
6. Фон + МикроСтим-Молибден, Бор (2,0 л/га)	80,2	158	2,90	18,7
7. Фон + МикроСтим-Молибден, Бор (3,0 л/га)	79,0	196	–	20,6

В производственных условиях применение новых жидких микроудобрений с биостимулятором МикроСтим также оказало существенное влияние на продук-

тивность люцерны. Некорневая подкормка люцерны в фазу стеблевания (при высоте растений 8–10 см) микроудобрениями МикроСтим-Молибден и МикроСтим-Молибден, Бор способствовала повышению урожайности сухой массы до 76,7–77,5 ц/га при урожайности в фоновом варианте 71,4 ц/га (табл. 4). Суммарная прибавка урожая за два укоса от микроудобрения МикроСтим-Молибден, Бор в дозе 1,0 л/га составила 6,1 ц/га, а удобрения МикроСтим-Молибден (0,33 л/га) – 5,3 ц/га сухой массы. По укосам прибавки урожая люцерны колебались от 2,5 до 3,4 ц/га сухой массы.

Таблица 4

**Влияние некорневых подкормок люцерны микроудобрениями МикроСтим на урожайность, ц/га сухой массы**

Вариант	I укос		II укос		Сумма	Прибавка
	урожайность	прибавка	урожайность	прибавка		
1. P <sub>35</sub> K <sub>150</sub> – фон	38,7	–	32,7	–	71,4	–
2. Фон + МикроСтим-Молибден (0,33 л/га)	41,2	2,5	35,5	2,8	76,7	5,3
3. Фон + МикроСтим-Молибден, Бор (1,0 л/га)	42,1	3,4	35,4	2,7	77,5	6,1
НСР <sub>05</sub>	2,0		1,7		4,9	

Применение новых жидких микроудобрений МикроСтим оказывало влияние на качество люцерны по сравнению с фоновым вариантом (табл. 5). Некорневая подкормка микроудобрением МикроСтим-Молибден за два укоса увеличивала выход сырого протеина на 1,5 ц/га, а удобрением МикроСтим-Молибден, Бор – на 1,1 ц/га. Выход кормовых единиц за два укоса в зависимости от марки микроудобрений МикроСтим был выше фонового варианта на 3,2–3,7 ц/га. Содержание нитратов в зеленой массе по всем вариантам опыта находилось ниже предельно допустимых концентраций для зеленых кормов (ПДК – 300 мг/кг). По укосам содержание нитратов колебалось от 111,0 мг/кг до 286,0 мг/кг.

Некорневая подкормка люцерны в фазу стеблевания микроудобрением МикроСтим-Молибден в дозе 0,33 л/га повышала содержание молибдена в люцерне до 1,8 мг/кг сухой массы. Применение в некорневую подкормку удобрения МикроСтим-Молибден, Бор в дозе 1,0 л/га увеличивало содержание молибдена до 2,8 мг/кг, что превышало верхнюю границу допустимого содержания молибдена в кормах (ПДК 2,5 мг/кг сухой массы). Содержание бора в сухой массе люцерны от исследуемых доз микроудобрений увеличивалось на 1,1–7,0 мг/кг и колебалось от 25,0 до 30,9 мг/кг сухой массы.

Для оценки экономической эффективности некорневых подкормок люцерны новыми жидкими микроудобрениями МикроСтим использованы полученные в полевом опыте прибавки урожайности, нормативные данные затрат и цены на текущий год. Расчеты экономической эффективности показали, что с увеличением доз микроудобрений МикроСтим-Молибден и МикроСтим-Молибден, Бор в некорневые подкормки рентабельность их снижается (табл. 6). Некорневые подкормки люцерны микроудобрениями МикроСтим-Молибден и МикроСтим-Молибден, Бор были экономически оправданы только в дозах 0,33 и 1,0 л/га при чистом доходе 10,7 и 21,1 USD/га, рентабельности – 24 и 49 % соответственно.

Таблица 5

**Влияние микроудобрений МикроСтим на показатели качества люцерны**

Вариант	Выход к.ед., ц/га	Выход сырого протеина, ц/га	Содержание			
			сырого протеина	нитратов	Мо	В
			%	мг/кг	мг/кг сухой массы	
1. P <sub>35</sub> K <sub>150</sub> – фон	43,6	12,6	17,6	119	1,5	23,9
2. Фон+МикроСтим-Молибден (0,33 л/га)	46,8	14,1	18,3	223	1,8	25,0
3. Фон+МикроСтим-Молибден,Бор (1,0 л/га)	47,3	13,7	17,7	221	2,8	30,9

Таблица 6

**Экономическая эффективность некорневых подкормок люцерны микроудобрениями МикроСтим (в расчете на 1 га)**

Вариант	Прибавка урожая, ц/га	Стоимость прибавки, USD	Затраты, USD	Чистый доход, USD	Рентабельность, %
1. P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> – фон	–	–	–	–	–
2. Фон + МикроСтим-Молибден (0,33 л/га)	8,8	53,7	43,4	10,7	24
3. Фон + МикроСтим-Молибден (0,66 л/га)	9,7	59,2	61,2	–2,1	–3
4. Фон + МикроСтим-Молибден (1,0 л/га)	8,7	53,1	76,9	–23,9	–31
5. Фон + МикроСтим-Молибден,Бор(1,0 л/га)	10,5	64,1	43,0	21,1	49
6. Фон + МикроСтим-Молибден,Бор (2,0 л/га)	12,3	75,0	59,4	15,7	26
7. Фон + МикроСтим-Молибден,Бор (3,0 л/га)	10,4	63,4	71,7	–8,3	–12

**ВЫВОДЫ**

1. При возделывании люцерны в полевом опыте некорневая подкормка в фазу стеблевания микроудобрением МикроСтим-Молибден в дозе 0,33 л/га повысила урожайность на 8,8 ц/га сухой массы и выход сырого протеина – на 1,9 ц/га при чистом доходе 10,7 USD/га и рентабельности 24 %. При этом содержание молибдена в растениях люцерны увеличилось с 0,52 до 1,83 мг/кг сухой массы, что не превышает верхнюю границу оптимальной концентрации этого элемента в кормах. Некорневая подкормка люцерны жидким микроудобрением МикроСтим-Молибден,Бор в дозе 1,0 л/га обеспечила повышение урожайности на 10,5 ц/га сухой массы и выход сырого протеина – на 3,4 ц/га при чистом доходе 21,1 USD/га и рентабельности 49 %.

2. В производственных условиях применение жидких микроудобрений МикроСтим-Молибден и МикроСтим-Молибден,Бор в некорневую подкормку люцерны в дозе 0,33 и 1,0 л/га обеспечило повышение урожайности на 5,3 и 6,1 ц/га сухой массы, выход сырого протеина – на 1,5 и 1,1 ц/га с рентабельностью 5 и 26 % соответственно. Некорневая подкормка люцерны жидким микроудобрением МикроСтим-Молибден в дозе 0,33 л/га способствовала повышению содержания молибдена в растениях с 1,5 до 1,8 мг/кг сухой массы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кукреш, Л.В.* К проблеме производства кормового белка / Л.В. Кукреш, Н.П. Лукашевич // Земляробства і ахова раслін. – 2004. – № 6. – С.3–5.
2. *Чекедь, Е.И.* Люцерна посевная / Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси (сборник научных материалов) / Е.И. Чекедь, М.Н. Крицкий, М.Б. Мороз. – Минск, 2007. – С. 225–235.
3. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: Беларус. наука, 2007. – 390 с.
4. Микроэлементы в окружающей среде: биогеохимия, биотехнология и биоремедиация / Под ред.: М.Н.В. Прасад, К.С. Саджван, Р. Найдю; пер.: Д.И. Башмаков, А.С. Лукаткин. – М.: Физматлит, 2009. – 816 с.
5. *Оберлис, Д.* Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных / Д. Оберлис, Б. Харланд, А. Скальный. – СПб.: Наука, 2008. – 542 с.
6. *Анспок, П.И.* Микроудобрения: справочник. / П.И. Анспок. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 272 с.
7. *Дятлова, Н.М.* Комплексоны и комплексонаты металлов / Н.М. Дятлова, В.Я. Темкина, К.И. Попов. – М.: Химия, 1988. – 543 с.
8. *Сургучева, М.П.* Комплексоны и комплексонаты микроэлементов и их применение в земледелии / М.П. Сургучева, А.Ю. Киреева, З.К. Благовещенская. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1993. – 46 с.
9. *Терещенкова, В.П.* Регуляторы роста растений для Северо-Запада России / В.П. Терещенкова, С.А. Доброхотов // Сельскохозяйственные вести. – 2010. – № 1. – С. 14–20.
10. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): уч. для студ. высших с.-х. учеб. завед. по агроном. спец. / Б.А. Доспехов. – 5-е изд. доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
11. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / Богдевич И.М. [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

## EFFECTIVENESS OF LIQUID MICROFERTILIZERS MICROSTIM IN LUCERNE CULTIVATION

**M.V. Rak, S.A. Titova, T.G. Nikolaeva**

On sod-podzolic sandy soil in field and production experiments with lucerne the effectiveness of different brands of liquid microfertilizers with biostimulator MikroStim was studied. It was found that foliar application of lucerne with microfertilizer MikroStim-Molybdenum in the dose 0,33 l/ha increased yield on 8,8 c/ha dry mass with the profitability 24 %. Foliar application of lucerne with microfertilizer MikroStim-Molybdenum, Boron in the dose 1,0 l/ha increased yield on 10,5 c/ha dry mass with the profitability 49 %.

*Поступила 21.04.17*

## ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ЯРОВЫХ КРЕСТОЦВЕТНЫХ КУЛЬТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЙ И ЭКОСИЛА

А.Р. Цыганов, А.С. Мастеров, Е.А. Плевко

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

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших источников пополнения ресурсов растительного масла и кормового белка, а также резервом роста производства кормов является широкое внедрение рапса ярового, редьки масличной и горчицы белой – ценнейших масличных и кормовых культур [1, 2].

В мировом земледелии масличные культуры занимают площадь более 140 млн га. Основные площади масличных культур находятся в США, Канаде, Индии, Бразилии, Аргентине, России, Молдавии и Украине.

Прогнозируется, что в ближайшие годы посевные площади под масличными культурами будут расширены во многих странах мира, что позволит в значительной мере решить проблему наращивания производства масла для продовольственных и технических целей, а также кормового белка. Для Европы, России, Беларуси и ряда других государств рапс стал важнейшей масличной культурой [3, 4, 5, 6].

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2012–2014 гг. в учебно-опытном севообороте кафедры земледелия на территории УНЦ «Опытные поля БГСХА» с горчицей белой сорта Елена, рапсом яровым сорта Гедемин и редькой масличной сорта Сабина.

В опытах применялись удобрения: мочевины (46 % N), аммонизированный суперфосфат (33 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 8 % N), хлористый калий (60 % K<sub>2</sub>O), Адоб Zn (6,2 % Zn, 2,6 % N), Адоб Mn (15,3 % Mn, 2,8 % Mg, 9,8 % N), ЭлеГум-Бор (150 г/л B, 10 г/л гуминовые вещества), Басфолиар 36 экстра (36,3 % N, 4,3 % MgO, 1,34 % Mn, 0,27 % Cu, 0,03 % Fe, 0,03 % B, 0,013 % Zn, 0,01 % Mo), Эколист Моно Бор (151 г/л B), Эколист Моно Марганец (N – 42 г/л; S – 69,5 г/л; Mn – 158 г/л).

Опыт с горчицей белой, рапсом яровым и редькой масличной заложен по следующей схеме: 1. Контроль (без удобрений); 2. N<sub>80</sub>P<sub>40</sub>K<sub>60</sub> + N<sub>40</sub> (фон); 3. Фон + Экосил (0,08 л/га); 4. Фон + Адоб Mn (1,6 л/га); 5. Фон + Эколист Моно Марганец (1 л/га); 6. Фон + Эколист Моно Бор (1 л/га); 7. Фон + ЭлеГум-Бор (1 л/га); 8. Фон + Басфолиар 36 Экстра (10 л/га); 9. Фон + Адоб Zn (1,6 л/га); 10. Фон + Адоб Zn (0,8 л/га) + Адоб Mn (0,8 л/га).

Посев редьки масличной, рапса ярового и горчицы белой был произведен сеялкой RAU Airsem 3 в 2012 г. 7 мая, в 2013 г. – 9 мая, в 2014 г. – 16 апреля.

Обработка растений горчицы, рапса и редьки проводилась регулятором роста *Экосил (тритерпеновые кислоты 50 г/л)* – это регулятор роста и индикатор иммунитета растений. Действующее вещество – сумма тритерпеновых кислот. Препаративная форма – 5%-я водная эмульсия тритерпеновых кислот, тягучая жидкость темно-зеленого цвета, негорючая, невзрывоопасная, нетоксичная для человека и животных.

Микроэлементы и регулятор роста вносились в фазу бутонизации ранцевым опрыскивателем с 200 л/га воды. Учет урожайности семян – сплошной поделяночный [7]. Агротехника возделывания общепринятая для Беларуси [8, 9].

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднекультуренная легкосуглинистая, развивающаяся на лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины 1 м моренным суглинком.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Определение высоты растений по фенологическим фазам в той или иной степени уже в процессе развития позволяет установить реакцию растений на изучаемые приемы и погодные условия.

Наибольшей высоты растения редьки масличной по всем вариантам опыта достигали в 2014 г. (140–171 см), самыми низкими были в 2012 г. (137–169 см). Однако высота растений по фазам развития зависела не только от количества осадков и теплового режима во время вегетации, но и, в большинстве случаев, от применения регулятора роста, макро- и микроудобрений.

Оценку влияния регулятора роста и удобрений на высоту растений редьки масличной можно получить, анализируя среднее из показателей за 2012–2014 гг. (рис. 1).

На делянках без удобрений высота растений в фазу бутонизации в среднем достигала 44 см, в фазу цветения – 99 см, во время зеленой спелости – 134 см, к фазе полной спелости она равнялась 138 см. Внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  обеспечило увеличение высоты стеблей на 12–22 см по сравнению с контрольным вариантом.

Изучение на фоне  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  регулятора роста показало, что *Экосил* в фазе цветения увеличивает высоту стебля только на 4 см.

Применение микроудобрений *Адоб Mn* и *Эколист Моно Mn* увеличивали высоту растений редьки масличной в пределах 4–6 см, существенной разницы между вариантами с применением микроудобрений содержащих марганец не было. При обработке растений редьки масличной в фазу бутонизации *Адоб Zn* на фоне применения удобрений в дозе  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  высота растений увеличивалась в среднем на 3–5 см, как и при применении марганцесодержащих микроудобрений.

Наибольшая высота растений была в вариантах с применением борсодержащих удобрений – *Эколист Моно Бор*, *ЭлеГум-Бор*, *Басфолиар 36 Экстра*, а так же с совместным применением *Адоб Zn* и *Адоб Mn*. Так в фазе цветения растения редьки масличной были выше фонового варианта на 5–9 см в среднем за три года. Самые высокие растения были с вариантом с применением *ЭлеГум-Бор (+9 см)*, это связано с тем, что помимо бора в данном микроудобрении содержатся гуминовые вещества, которые также оказывают положительное влияние на рост и развитие растений редьки масличной.

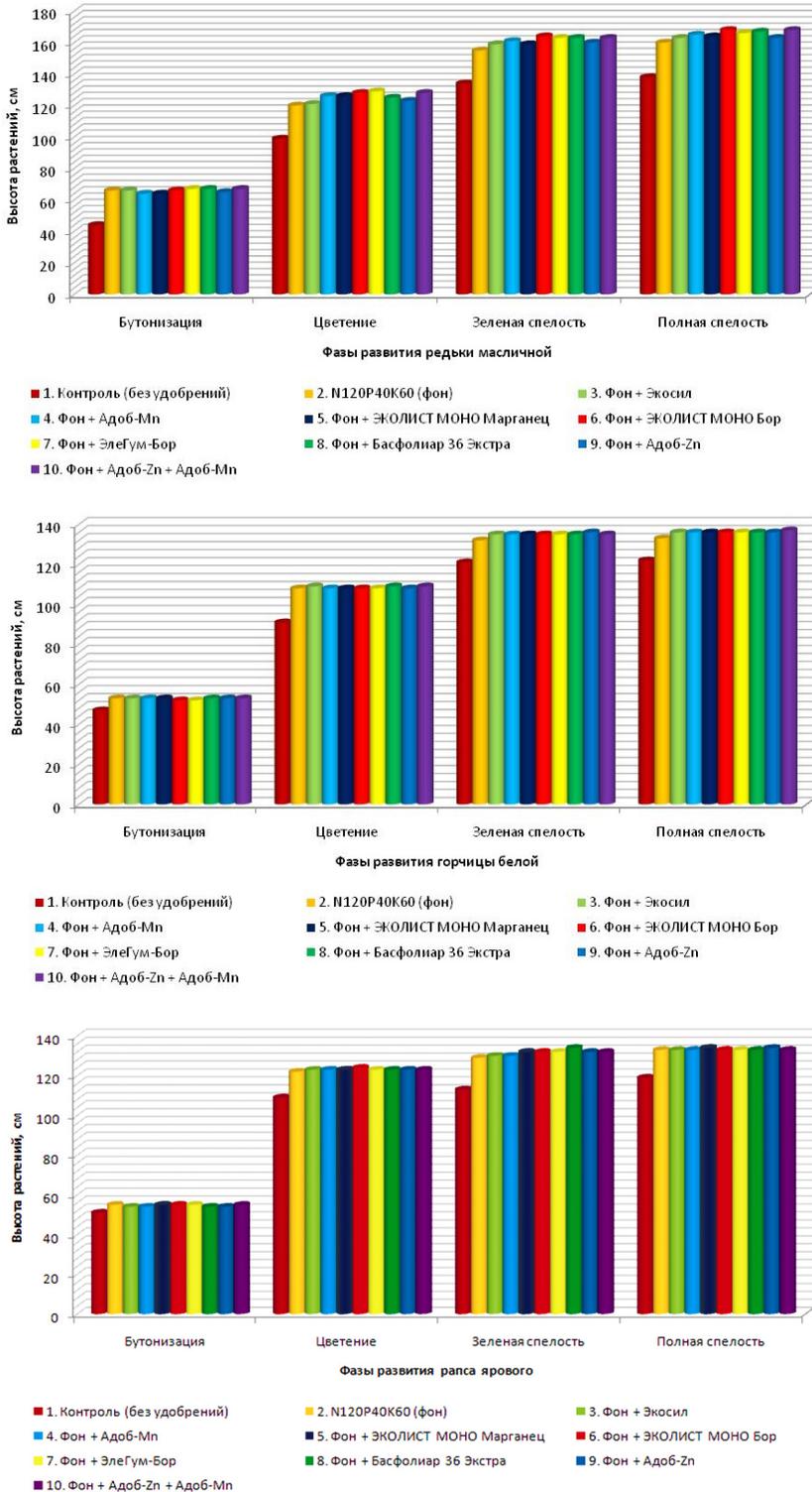


Рис. 1. Динамика роста растений крестоцветных культур

В фазе полной спелости высота редьки масличной незначительно отличалась по вариантам. В контрольном варианте высота растений в среднем за три года составила 138 см, при применении удобрений в дозе  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  высота растений была 160 см, что на 22 см выше контрольного.

При применении регулятора роста Экосил высота растений увеличилась на 3 см. При применении микроудобрений высота растений повысилась по сравнению с фоном на 3–8 см.

На делянках без удобрений высота растений горчицы белой в фазу бутонизации в среднем достигала 47 см, в фазу цветения – 91 см, во время зеленой спелости – 121 см, к фазе полной спелости она равнялась 122 см. Внесение перед посевом минеральных удобрений в дозе  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$ , обеспечило увеличение высоты стеблей на 6–17 см по сравнению с контрольным вариантом.

Изучение на фоне  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  регулятора роста Экосил показало, что он незначительно влияет на рост растений в фазе зеленой и полной спелости в виде увеличения высоты стебля на 3 см.

Применение микроудобрений увеличивали высоту растений горчицы белой на 3–4 см, существенной разницы между вариантами с применением микроудобрений не было.

Изменения высоты растений в фазу цветения, по сравнению с фоном, не было. В фазах зеленой и полной спелости средняя высота растений горчицы белой во всех вариантах с применением регулятора роста и микроэлементов была выше на 3–4 см по сравнению с фоном.

Наибольшей высоты растения рапса ярового по всем вариантам опыта достигали в 2014 и 2012 гг., самыми низкими были в 2013 г. Однако высота растений по фазам развития зависела не только от количества осадков и теплового режима во время вегетации, но и, в большинстве случаев, от применения регулятора роста, макро- и микроудобрений.

На делянках без удобрений высота растений ярового рапса в фазу бутонизации в среднем достигала 51 см, в фазу цветения – 109 см, во время зеленой спелости – 113 см, к фазе полной спелости она равнялась 119 см. Внесение перед посевом минеральных удобрений, в дозе  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  обеспечило увеличение высоты стеблей на 4–15 см по сравнению с контрольным вариантом.

Изучение на фоне  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  регулятора роста показало, что Экосил незначительно влияет на рост растений рапса ярового по всем фазам развития.

Применение микроудобрений существенного влияния на высоту растений рапса ярового не оказывали, так как высота растений по вариантам опыта колебалась незначительно.

Определение количества сухого вещества, также как и высоты растений, дает возможность иметь данные по реакции растений в самом процессе развития на действие удобрений и регулятора роста.

Масса 100 сухих растений редьки масличной в фазе бутонизации в контрольном варианте составляла 180 г, фазе цветения – 231 г, зеленой спелости – 440 г, а к фазе полной спелости – 511 г (рис. 2).

Внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  обеспечило увеличение сухого вещества по этим фазам на 34, 46, 379 и 359 г соответственно по сравнению с контрольным вариантом.

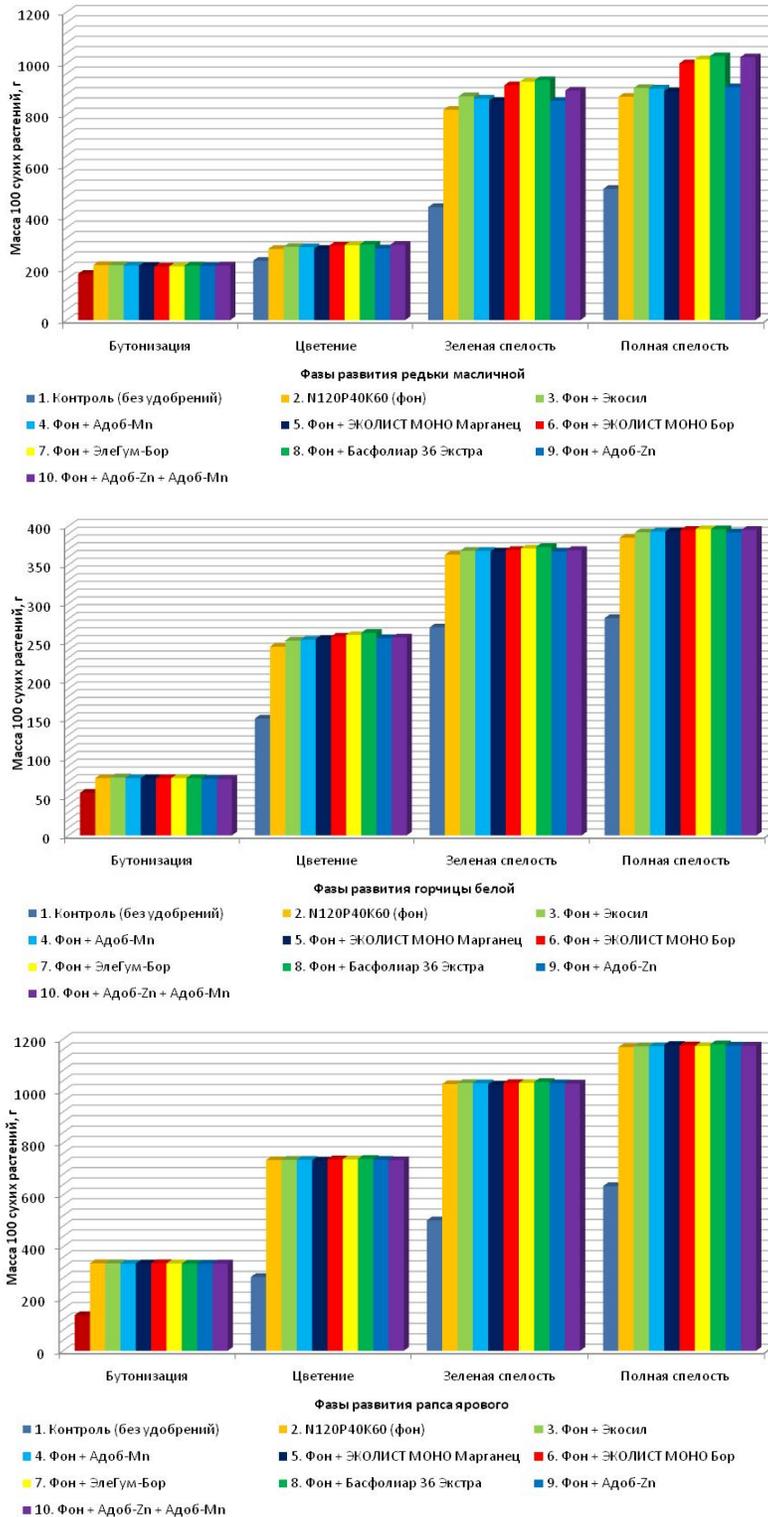


Рис. 2. Динамика накопления сухого вещества растениями крестоцветных культур

Увеличение накопления сухого вещества при использовании регулятора роста Экосил в фазе бутонизации, в среднем за три года, наблюдалось в фазах зеленой и полной спелости масса 100 сухих растений увеличилась на 53 и 34 г соответственно.

При обработке посевов редьки масличной в фазе бутонизации однокомпонентными микроудобрениями Адоб Zn и Адоб Mn и Эколист Моно Марганец в среднем за три года масса 100 сухих растений по сравнению с фоном увеличивалась только к фазе зеленой спелости и была наименьшей по сравнению с другими вариантами с применением микроудобрений и составила 35–44 г. В фазе полной спелости масса 100 сухих растений была самой низкой из вариантов опыта с применением микроудобрений (21–37 г).

После опрыскивания растений редьки масличной комплексным препаратом Басфолиар 36 Экстра в фазу бутонизации масса 100 сухих растений увеличилась на 17 г в фазе цветения, на 116 г в фазе зеленой спелости и на 158 г в фазе полной спелости на фоне  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$ .

По сравнению с вариантом опыта, где применялся комплексный препарат Басфолиар 36 Экстра, в вариантах с применением Эколист Моно Бор, ЭлеГум-Бор и совместным применением Адоб Zn и Адоб Mn масса 100 сухих растений была меньше. Так в фазе цветения масса 100 сухих растений редьки масличной повысилась на 13–16 г, в фазе зеленой спелости – на 75–109 г, полной спелости – на 130–154 г.

Масса 100 сухих растений горчицы белой в фазе бутонизации в контрольном варианте составляла всего 55 г, фазе цветения – 151 г, зеленой спелости – 269 г, а к фазе полной спелости – 281 г.

Внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  обеспечило увеличение сухого вещества по фазам на 19, 93, 94 и 104 г соответственно, по сравнению с контрольным вариантом.

При использовании регулятора роста Экосил в фазу бутонизации, накопление сухого вещества в среднем за три года было достоверным только в фазах зеленой и полной спелости, масса 100 сухих растений увеличилась на 5 и 7 г соответственно.

При опрыскивании посевов горчицы белой в фазе бутонизации однокомпонентными микроудобрениями Адоб Zn и Адоб Mn и Эколист Моно Марганец в среднем за три года увеличение массы 100 сухих растений по сравнению с фоном было достоверным только к фазе полной спелости, прибавка составила 7 и 8 г соответственно.

После обработки растений горчицы белой комплексным препаратом Басфолиар 36 Экстра к фазе цветения масса 100 сухих растений увеличилась на 18 г, к фазе зеленой спелости – на 10 г, полной спелости – на 11 г по сравнению с фоном.

Ниже результаты были в вариантах с применением Эколист Моно Бор, ЭлеГум-Бор и совместным применением Адоб Zn и Адоб Mn. В этих вариантах опыта в фазе зеленой спелости масса 100 сухих горчицы белой повысились на 6–8 г, в фазе полной спелости – на 10–11 г.

Масса 100 сухих растений ярового рапса в фазе бутонизации в контрольном варианте составляла 137 г, фазе цветения – 284 г, зеленая спелость – 502 г, а к фазе полной спелости масса – 634 г.

Внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  обеспечило увеличение сухого вещества по этим фазам на 200, 450, 525 и 535 г соответственно по сравнению с контрольным вариантом.

При использовании регулятора роста Экосил, в фазу бутонизации, в накопление сухого вещества в среднем за три года исследований на рапсе яровом существенной разницы не отмечено.

Азот входит в состав всех органических веществ. Без этого элемента невозможен рост и развитие растений.

В опытах с редькой масличной содержание и потребление азота в растениях в каждой фазе развития изменялось под влиянием макро- и микроудобрений и регулятора роста (табл. 1).

Таблица 1

**Содержание азота в растительных образцах, %**

Вариант	Фазы развития		
	цветение	зеленая спелость	полная спелость
<i>Редька масличная</i>			
1. Контроль (без удобрений)	1,10	1,18	0,49
2. $N_{120}P_{40}K_{60}$ (фон)	1,17	1,28	0,65
3. Фон + Экосил	1,70	1,65	0,67
4. Фон + Адоб Mn	2,00	1,29	1,02
5. Фон + Эколист Моно Марганец	1,75	1,54	0,93
6. Фон + Эколист Моно Бор	1,56	1,82	0,57
7. Фон + ЭлеГум-Бор	1,57	1,77	0,68
8. Фон + Басфолиар 36 Экстра	1,50	1,68	0,54
9. Фон + Адоб Zn	2,04	1,74	0,63
10. Фон + Адоб Zn + Адоб Mn	2,07	2,08	0,75
<i>Горчица белая</i>			
1. Контроль (без удобрений)	1,14	0,9	1,47
2. $N_{120}P_{40}K_{60}$ (фон)	1,19	1,13	1,96
3. Фон + Экосил	1,51	1,70	2,73
4. Фон + Адоб Mn	1,55	1,74	2,19
5. Фон + Эколист Моно Марганец	1,67	1,77	2,23
6. Фон + Эколист Моно Бор	1,89	1,76	2,12
7. Фон + ЭлеГум-Бор	1,47	1,68	2,54
8. Фон + Басфолиар 36 Экстра	1,94	2,08	3,3
9. Фон + Адоб Zn	1,59	1,51	1,91
10. Фон + Адоб Zn + Адоб Mn	2,07	1,82	2,84
<i>Рапс яровой</i>			
1. Контроль (без удобрений)	0,81	0,81	0,72
2. $N_{120}P_{40}K_{60}$ (фон)	0,84	0,97	0,76
3. Фон + Экосил	1,11	1,17	0,9
4. Фон + Адоб Mn	1,01	1,07	1,08
5. Фон + Эколист Моно Марганец	1,08	1,08	1,01
6. Фон + Эколист Моно Бор	1,78	1,52	0,54
7. Фон + ЭлеГум-Бор	1,40	1,38	0,55
8. Фон + Басфолиар 36 Экстра	1,27	1,38	0,72
9. Фон + Адоб Zn	0,85	1,04	0,87
10. Фон + Адоб Zn + Адоб Mn	1,15	1,24	0,74

Так, в фазу цветения наименьшее содержание азота в растениях наблюдалось в контрольном варианте без применения удобрений. При применении макроудобрений в дозе  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  содержание азота составило 1,17 %. При использовании регулятора роста содержание азота в растениях увеличилось на 0,53 %. Наибольшее содержание азота было в вариантах с применением Адоб Zn, а совместное применение Адоб Zn и Адоб Mn составило 2,04 %, 2,07 % и 2,0 % соответственно.

При использовании микроудобрений, содержащих бор, и комплексного препарата Басфолиар 36 Экстра, содержание азота в растительных образцах редьки масличной повысилось на 0,33–0,4 % по сравнению с фоном, и составило 1,5–1,57 %.

В фазе зеленой спелости в контроле и фоновом варианте содержание азота было на уровне 1,18–1,28 %. В сравнении с фоном содержание азота повысилось в вариантах опыта, где применялись борсодержащие микроудобрения: Басфолиар 36 Экстра – на 0,4 %, Эколист Моно Бор – на 0,54 %, ЭлеГум-Бор – на 0,49 %.

Совместное применение Адоб Zn и Адоб Mn повысило содержание азота в растительных образцах лишь на 0,8 %.

К фазе полной спелости содержание азота значительно снизилось по всем вариантам опыта. Самое низкое содержание было в контрольном варианте – 0,49 %, а при применении минеральных удобрений – 0,65 %. При применении Адоб Mn и Эколист Моно Марганец содержание азота в растительных образцах было на уровне 1,02 и 0,93 % соответственно. В варианте с совместным применением Адоб Zn и Адоб Mn содержание азота повысилось по сравнению с контролем на 0,1 %.

При использовании Эколист Моно Бор и Басфолиар 36 Экстра содержание азота в растительных образцах было ниже, чем в контроле, на 0,08 и 0,11 %.

В фазу цветения наименьшее содержание азота в растениях горчицы белой наблюдалось в контрольном варианте без применения удобрений – 1,14 %. При применении макроудобрений в дозе  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  содержание азота увеличилось всего на 0,05 %, что было незначительно. При использовании регулятора роста Экосил содержание азота в растениях увеличилось на 0,32 %. Наибольшее содержание азота было в вариантах с совместным применением Адоб Zn и Адоб Mn, Басфолиар 36 Экстра и Эколист Моно Бор и составило 2,07 %, 1,94 % и 1,89 % соответственно.

В фазе зеленой спелости в контроле и фоновом варианте содержание азота было на уровне 0,9 и 1,13 %. Содержание азота увеличилось также в вариантах опыта где применялись Басфолиар 36 Экстра – на 0,14%, ЭлеГум-Бор – на 0,21 %. В варианте с совместным применением Адоб Zn и Адоб Mn снизилось содержание азота в растительных образцах на 0,25 %. Снижение содержания азота в растительных образцах наблюдалось в вариантах с применением Адоб Zn на 0,08 %, Эколист Моно Бор – на 0,13%.

К фазе полной спелости содержание азота повысилось по всем вариантам опыта. Самое низкое содержание было в контрольном варианте – 1,47 %, а при применении минеральных удобрений 1,96 %.

При применении Басфолиар 36 Экстра и совместным применением Адоб Zn и Адоб Mn содержание азота в растительных образцах было наивысшим и составило 3,3 и 2,84% соответственно.

В фазе цветения в контроле и фоновом варианте содержание азота в растениях ярового рапса было равным 0,81 и 0,84 %. В варианте с применением Адоб Zn содержание азота в растительных образцах изменилось незначительно.

Все остальные варианты показали значительное увеличение содержания азота в растительных образцах. Так наибольшее содержание азота было в вариантах с применением Эколист Моно Бор – 1,78 % и ЭлеГум-Бор – 1,40 %.

Так, в фазу зеленой спелости наименьшее содержание азота в растениях наблюдалось в контрольном варианте без применения удобрений и составило 0,81 %. При применении удобрений в дозе  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  содержание азота увеличилось на 0,16 %. При использовании регулятора роста Экосил содержание азота в растениях увеличилось на 0,2 %, по отношению к фоновому варианту с применением только макроудобрений. Наибольшее содержание азота было в вариантах с совместным применением ЭлеГум-Бор, Басфолиар 36 Экстра и Эколист Моно Бор составило 1,38 %, 1,38 % и 1,52 % соответственно.

К фазе полной спелости содержание азота снизилось по всем вариантам опыта. В контрольном варианте без применения удобрений содержание азота было на уровне 0,72 %, в варианте с применением макроудобрения содержание азота составило 0,76 %. Самое низкое содержание было в варианте с применением Эколист Моно Бор – 0,54 % и ЭлеГум-Бор – 0,55 %. Внесение Адоб Mn (1,08 %), Адоб Zn (0,87 %) и Эколист Моно Марганец (1,01 %) на яровом рапсе способствовало сохранению азота в растительных образцах на прежнем уровне.

## ВЫВОДЫ

1. На увеличение высоты растений редьки масличной значительное влияние оказали минеральные удобрения в дозе  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  и внесение в фазу бутонизации микроудобрений Эколист Моно Бор, ЭлеГум-Бор, Басфолиар 36 Экстра, Адоб Zn + Адоб Mn на фоне  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$ . Накопление сухого вещества растениями редьки масличной увеличивалось к фазам зеленой и полной спелости при применении  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  и внесении Басфолиар 36 Экстра и Экосила. Содержание азота в растениях редьки масличной к фазе полной спелости снижалось по всем вариантам опыта, выше его содержание наблюдалось в вариантах с применением Адоб Zn и Адоб Zn + Адоб Mn по сравнению с фоновым вариантом.

2. Высота растений горчицы белой изменялась только под действием минеральных удобрений в дозе  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$ . Применение микроудобрений и Экосила увеличивали высоту растений горчицы белой на 3–4 см, существенной разницы между вариантами с применением микроудобрений не было. Внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  обеспечило увеличение сухого вещества по всем фазам развития по сравнению с контрольным вариантом. По сравнению с фоном от внесения микроудобрений и регулятора роста Экосил существенного увеличения сухого вещества не наблюдалось. К фазе полной спелости горчицы белой содержание азота увеличилось по всем вариантам опыта. Наибольшее содержание азота было в вариантах с применением Адоб Zn + Адоб Mn, Басфолиар 36 Экстра, Эколист Моно Бор и Экосил.

3. На высоту и накопление сухого вещества растениями ярового рапса значительное влияние оказало внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$ .

Применение на их фоне регулятора роста Экосила и микроудобрений существенного влияния на высоту и накопление сухого вещества растениями рапса не оказало. К фазе полной спелости содержание азота в растениях ярового рапса снизилось по всем вариантам опыта. Внесение Адоб Mn, Адоб Zn и Эколист Моно Марганец на яровом рапсе к фазе полной спелости не изменяло содержание азота в растительных образцах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белик, Н.Л.* Биологические основы технологии возделывания рапса ярового и редьки масличной в Центральном Черноземье: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.09 / Н.Л. Белик. – Тамбов, 2002. – 517 л.
2. *Казанцев, В.П.* Рапс, сурепица и редька масличная в Сибири / В.П. Казанцев. – Новосибирск, 2001. – 116 с.
3. *Горлов, С.Л.* Состояние, перспективы и научное обеспечение производства рапса в РФ / С.Л. Горлов, Э. Б. Бочкарева // Рапс: масло, белок, биодизель: материалы междунар. науч.-практ. конф., Жодино, 25–27 сент. 2006 г. / под общ. ред. М.А. Кадырова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2006. – С. 21–26.
4. *Наумова, М.* Особенности возделывания масличных культур в Пензенской области / М. Наумова // Главный агроном. – 2013. – № 7. – С. 22–24.
5. *Пиллюк, Я.Э.* Рапс Беларуси – состояние и перспективы / Я.Э. Пиллюк // Рапс: масло, белок, биодизель: материалы междунар. науч.-практ. конф., Жодино, 25–27 сент. 2006 г. / под общ. ред. М.А. Кадырова. – Минск, 2006. – С. 5.
6. *Пиллюк, Я.Э.* Рапс: успехи и резервы повышения урожайности / Я.Э. Пиллюк // Наше сельское хозяйство. – 2009. – № 2. – С. 12–17.
7. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта (с основами стат. обраб. результатов исслед.) / Б.А. Доспехов. – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
8. *Возделывание ярового рапса на маслосемена // Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сб. отраслевых регламентов / НАН Беларуси, Науч.-практ. центр Нац. академии наук Беларуси по земледелию; рук. разр. Ф.И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В.Г. Гусакова, Ф.И. Привалова. – Минск, 2012. – С. 380–395.*
9. *Пиллюк, Я.Э.* Рапс в Беларуси (биология, селекция и технология возделывания) / Я.Э. Пиллюк. – Минск: Бизнесофсет, 2007. – 239 с.

## DYNAMICS OF THE DEVELOPMENT OF SPRING MUSTARD FAMILY CROPS DEPENDING ON THE APPLICATION OF MICROFERTILIZERS AND ECOSIL

A.R. Tsyganov, A.S. Masterov, E.A. Plevko

### Summary

Studies on sod-podzolic light loamy soil made it possible to reveal regularities in the change in biometric indices and nitrogen content in plant samples of olive oil, white mustard and spring rapeseed with the use of microfertilizers and the growth regulator Ecosil.

The increase in the height and accumulation of dry matter by radish plants, oilseed, white mustard and spring rapeseed mustard was significantly influenced by mineral fertilizers in a dose of  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  and introduction of micro fertilizers into the budding phase of microfertilizers. Ecolist Mono Bor, EleGum-Bor, Basfoliar 36 Extra, Adob Zn + Adob Mn, a growth regulator of Ecosil against the background of  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$ .

Поступила 17.05.17

УДК 631.46:631.11:631.442

## **БИНАРНАЯ КОМПОЗИЦИЯ *A. BRASILENSE* + *B. CIRCULANS* И ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЛЯ ИНОКУЛЯЦИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЭРОДИРОВАННЫХ ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ**

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

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Бактериальные удобрения служат дополнительным средством повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур, частичного снижения химической нагрузки и экологизации растениеводства. В настоящее время наибольший интерес вызывают многокомпонентные микробные препараты, способные оказывать полифункциональное действие на сельскохозяйственные культуры. Многофункциональность – один из способов повышения эффективности микробных препаратов [1].

Учитывая синергетический эффект азотного и калийного питания, перспективна разработка бинарного биоудобрения, содержащего азотфиксирующие и калиймобилизующие бактерии. В коллекции Института почвоведения и агрохимии имеются штаммы и изоляты азотфиксирующих – *Azospirillum* sp. и калиймобилизующих бактерий *Bacillus* sp.

Накопленные к настоящему времени научные данные свидетельствуют о положительном воздействии ассоциативных бактерий *Azospirillum brasilense* на рост и урожайность многих злаковых культур [2, 3]. Большинство исследователей считают, что их положительное действие обусловлено комбинацией следующих механизмов: стимуляция роста и адаптационный эффект [3], улучшение использования воды [3, 4] и элементов питания из почвы и удобрений [3, 8], азотфиксация [5], бактериальная нитратредукция [3], фосфатмобилизация [7], биоконтроль, влияние на иммунитет растений, синтез сидерофоров [8]. Существенными преимуществами *Azospirillum* spp. является их высокая подвижность, как фактор успешной колонизации корней, а также способность

трансформироваться в цистоподобные образования при неблагоприятных условиях [8, 9].

В отношении биологической мобилизации калия наиболее активными признаны распространенные в умеренной зоне слизиобразующие бациллы [10, 11]. В состав микробных слизей входят полисахариды и уроновые кислоты, содержащие карбоксильные и фенольные группы, способные образовывать комплексные связи с элементами минералов, что приводит к их постепенному высвобождению из кристаллической решетки и переходу в растворимое состояние. Слизеобразование является также защитным фактором, обеспечивающим выживание бактерий в ризосфере и при неблагоприятных экологических условиях. Кроме того, многие представители *Bacillus* spp. способны синтезировать и выделять в окружающую среду антибактериальные и антигрибные вещества – антибиотики [13]. Слизеобразующие бациллы способны к фосфатмобилизации [12].

Перспективно совместить в одном биоудобрении азоспириллы и слизиобразующие бациллы и оценить их совместное воздействие на растения в лабораторных и полевых условиях. Для этого необходимо провести отбор активных, конкурентоспособных и технологичных штаммов азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий и определить их биологическую совместимость.

Цель исследований – отбор активных штаммов азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий, изучение их совместимости в условиях *in vitro*, разработка бинарной бактериальной композиции и оценка ее эффективности на посевах озимой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых почвах.

## МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований служили штаммы и изоляты собственной коллекции Института почвоведения и агрохимии: ассоциативные азотфиксирующие бактерии *p. Azospirillum* и калиймобилизующие бактерии *p. Bacillus*. Исследования проводили путем постановки модельных лабораторных и полевых экспериментов. Микробиологические исследования включали: микроскопию, физиолого-биохимическое тестирование (СИБ), определение титра (метод предельных разведений, посев на твердые питательные среды) [14–17].

Отбор активных, конкурентоспособных, технологичных штаммов азотфиксаторов и калиймобилизаторов проводили на основании оценки их полезных свойств по нитрогеназной активности [18]; мобилизации калия в лабораторных опытах с минералами в качестве единственных источников калия (мусковит, гидромусковит) [19]; фосфатмобилизации – с трикальцийфосфатом в качестве единственного источника фосфора [12].

В лабораторных исследованиях использовали питательные среды, оптимальные для роста отобранных штаммов и различимости колоний по цвету для визуальной оценки результатов. Состав сред (г/л) приведен ниже.

*Картофельный агар (КА)*: 200 г очищенного картофеля варят в 1 л дистиллированной воды в течение 30 минут. Полученный отвар охлаждают и фильтруют через ватный фильтр, фильтрат с рН 6,8 стерилизуют при температуре 121 °С в течение 20 мин при 1 атм. [14].

*Среда DN*: яблочная кислота – 3,6;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0,4;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  – 0,1;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,2;  $\text{NaCl}$  – 0,1;  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – 0,02;  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – 0,01;  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 0,002; спиртовой раствор бромтимолблау (0,1 %) – 5,0 мл или конго красный (0,25 %) – 15 мл; агар – 2,0 %; 1000 мл воды; pH – 6,4 – 6,6 [22].

*Среда Nfb*: яблочная кислота – 5,0;  $\text{KOH}$  – 4,0;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  – 0,5;  $\text{NaCl}$  – 0,1;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,2;  $\text{CaCl}_2$  – 0,02;  $\text{FeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,5;  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  – 0,01;  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 0,002; бромтимоловый синий (0,5 % спиртовой раствор) – 2 мл; агар – 1,75; 1000 мл воды; pH 6,8 [23, 24].

**Лабораторные опыты по оценке совместимости бактерий *A. brasilense* и *B. circulans* на плотных питательных средах.** Биологическую совместимость бактериальных компонентов *in vitro* определяли диффузионными методами на плотных питательных средах [20, а также методом совместного культивирования в жидких средах [21]. Использовали суточные культуры бактерий, выращенные в жидких питательных средах. При использовании метода капель культуру *A. brasilense* наносили на поверхность плотной питательной среды. После впитывания капли на ее поверхность наносили равную по объему каплю *B. circulans*, чтобы примерно наполовину покрыть первую каплю. В совмещенной части капель обе культуры развиваются, конкурируя друг с другом. После высыхания второй капли чашки с посевами помещали в термостат (28 °C) и инкубировали в перевернутом состоянии. Контролями служили совмещенные капли индивидуальных культур. При исследовании методом перпендикулярных штрихов культуру *A. brasilense* высевали штрихом на поверхность плотной среды в чашки Петри, затем перпендикулярно от края чашки подсеивали штрихом суточную культуру *B. circulans*. Для определения биосовместимости бактериальных культур методом капли-штриха *A. brasilense* наносили на поверхность картофельного агара и DN с конго красным и оставляли при комнатной температуре до полного впитывания. После этого от края чашки наносили радиально штрихом культуру *B. circulans*. Опыты выполняли в трехкратном повторении с изменением порядка чередования культур. Результат учитывали визуально по наличию признаков подавления роста культур.

**Модельный опыт по оценке совместимости бактерий *A. brasilense* и *B. circulans* в жидких средах.** В эксперименте использовали стерильные среды – картофельную и Nfb, стерильные водопроводную воду и физраствор. В три конические колбы емкостью 300 мл вносили по 100 мл жидкой питательной среды (физраствора). Для их засева использовали суточные культуры *A. brasilense* и *B. circulans*. В первую и вторую колбы засевали по 5 мл культуральной жидкости *A. brasilense* и *B. circulans* отдельно (титры  $3,0 \cdot 10^9$  КОЕ/мл); в третью засевали смесь культур в соотношении 1:1 (по 2,5 мл культуральной жидкости каждого вида). Посевы помещали в термостат при 28 °C на трое суток. В опыте предусмотрено выращивание культур в обычных условиях и на качалке (195 об./мин). Все испытуемые бактериальные культуры хранили при комнатной температуре в течение 6 месяцев. Через определенные промежутки времени в препаратах определяли значения титров бактерий.

**Лабораторный эксперимент по изучению влияния азотфиксирующих и калиймобилизирующих бактерий на развитие проростков яровой пшеницы.** Исследуемые бактерии выращивали на картофельном агаре при температуре 28 °C в течение 24 часов. Суточные культуры использовали для приготовления

суспензии клеток исследуемых штаммов бактерий путем разведения в стерильном физрастворе до конечного титра  $1 \cdot 10^8$  КОЕ/мл. Предварительно откалиброванные по размеру и выполненности семена яровой пшеницы выдерживали 1 час в суспензиях *A. brasilense* и *B. circulans*. В контрольном варианте семена выдерживали в дистиллированной воде. В каждом варианте опыта использовали по 60 семян. После обработки семена (10 штук на каждое повторение) раскладывали в чашки Петри на увлажненную дистиллированной водой фильтровальную бумагу и помещали в термостат при 28 °С на 5 суток с контролем увлажнения. По истечении 5-ти суток определяли биометрические показатели развития проростков пшеницы: среднюю длину проростка, суммарную длину корешков одного растения, число корешков.

**Полевые опыты для оценки эффективности монокультур и бинарной композиции на посевах озимой пшеницы.** Заложены два полевых опыта на эродированных на дерново-подзолистых почвах в Центральной и Северной почвенно-экологических провинциях республики. Стационарные опыты заложены по геоморфологическому профилю от водораздельной равнины до подножья склона. На водоразделе расположена незероэродированная почва, в верхней части склона – среднеэродированная, в средней – сильноэродированная почва. Изучаемые факторы – степень эродированности почвы, системы удобрения, инокуляция посевов монокультурами бактерий и бинарной бактериальной композицией.

Влияние бинарной бактериальной композиции на урожайность озимой пшеницы изучено на эродированных дерново-подзолистых почвах на мощных моренных суглинках при разных системах удобрения (ОАО «Межаны», Браславский р-н). Агрохимические свойства пахотного слоя почвы: гумус – 1,5–2,1 %; рН – 6,1–6,3;  $P_2O_5$  – 177–280 и  $K_2O$  – 127–185 мг/кг. Севооборот зерноотравной: озимая пшеница + пожнивные (2016 г.), горох + пожнивные (2017 г.), ячмень + клевер (2018 г.). Изготовлен бинарный инокулянт с соотношением компонентов 1:1 (титры – *A. brasilense* –  $1,6 \cdot 10^9$  КОЕ/мл, *B. circulans* –  $1,6 \cdot 10^9$  КОЕ/мл). Инокуляция посевов озимой пшеницы проведена весной в фазе кущения на водоразделе, слабо-, средне- и сильноэродированной почвах на вариантах с отвальной вспашкой. Системы удобрения: контроль, NPK и NPK + навоз (в расчете на положительный баланс гумуса). Дозы минеральных удобрений в 2016 г. –  $N_{90+30+30}P_{70}K_{120}$ .

Влияние моноинокулянтов и бинарной бактериальной композиции на урожайность озимой пшеницы изучено на дерново-подзолистых почвах на мощных лессовидных суглинках («Стоковые площадки», Минский р-н). Агрохимические свойства пахотного слоя почвы: гумус – 0,8–2,5 %; рН – 5,2–5,9;  $P_2O_5$  – 290–330 и  $K_2O$  – 180–230 мг/кг. Севооборот зерноотравной: многолетние травы 2 г.п. (2011 г.); вико-овсяная смесь (2012 г.); яровой рапс (2013 г.); яровая пшеница (2014 г.); однолетние травы (2015 г.); озимая пшеница (2016 г.). Инокуляция посевов озимой пшеницы проведена весной в фазе кущения моноинокулянтами *A. brasilense* и *B. circulans* (титры  $1,5 \cdot 10^9$  КОЕ/мл) и бинарным инокулянтом *A. brasilense* + *B. circulans* (титр  $1,5 \cdot 10^9$  КОЕ/мл в соотношении 1:1) на всех элементах склона в вариантах с внесением  $N_{100+30}P_{60}K_{100}$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведена серия лабораторных экспериментов, изучены культуральные, морфологические и физиологические свойства штаммов и изолятов азотфиксирующих (р. *Azospirillum*) и калиймобилизующих (р. *Bacillus*) бактерий. По критериям высокой активности по целевым свойствам, азотфиксации и калиймобилизации, а также по наличию дополнительного приспособительного механизма, фосфатмобилизации, для создания бинарной микробной композиции отобраны наиболее активные штаммы. Нитрогеназная активность отобранного штамма *Azospirillum brasilense* в чистой культуре варьирует в пределах 130–135 мкг N<sub>2</sub>/сосуд. Активность мобилизации калия из мусковита для отобранного штамма *Bacillus circulans* составила 13,6 мг К/10г, из гидромусковита – 10,3 мг К/10г. Перспективные штаммы характеризовались способностью к мобилизации фосфора из ортофосфата кальция: фосфатмобилизующая активность *A. brasilense* составила 308 мг/л Р, *B. circulans* – 144 мг/л Р.

**Исследование биологической совместимости бактерий *A. brasilense* и *B. circulans*.** Оценка антагонистической активности микроорганизмов выполнена с применением диффузионных методов. К ним относятся метод перпендикулярных штрихов, метод блоков или лунок, метод капель, напыления, агаровых слоев и другие. Эти методы основаны на диффузии антибиотических метаболитов испытываемых бактерий в толщу агаровой среды, содержащей тест-культуру. В экспериментах использованы картофельный агар (КА) и среда DN с конго красным.

Проведена серия лабораторных экспериментов по изучению биологической совместимости бактерий *A. brasilense* и *B. circulans* *in vitro* с применением метода капель (рис. 1), перпендикулярных штрихов и капли-штриха (рис. 2). Анализ результатов экспериментов, проведенных разными диффузионными методами, показал, что штаммы *A. brasilense* и *B. circulans* биологически совместимы и могут использоваться в качестве компонентов бинарного бактериального инокулянта.

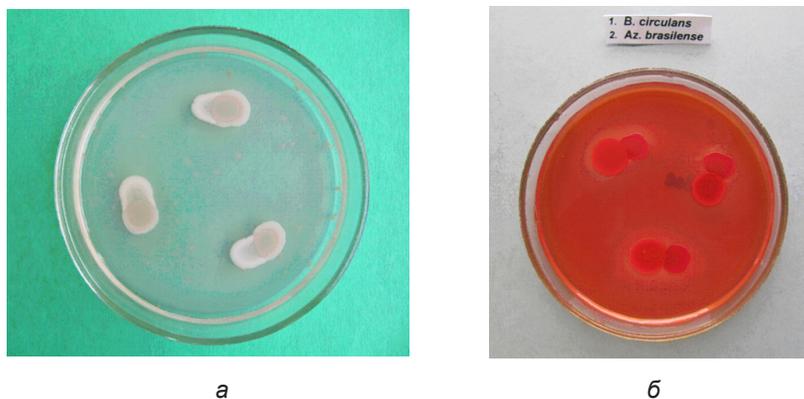
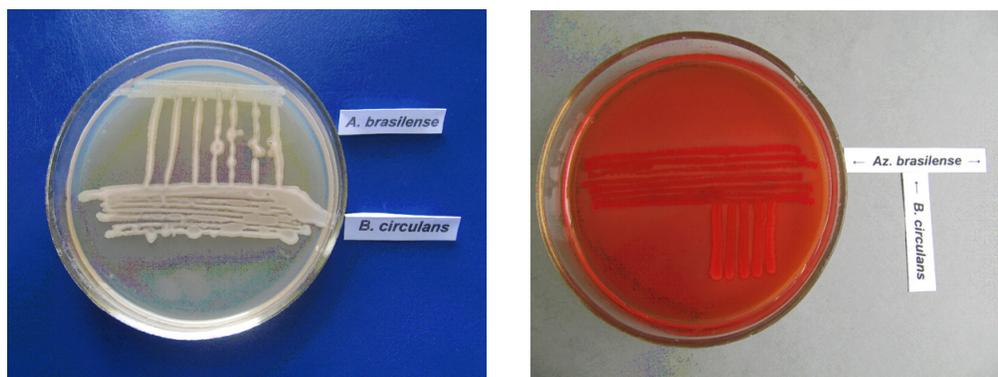


Рис. 1. Совместное культивирование бактерий *A. brasilense* и *B. circulans* (метод капель) на:  
а – картофельном агаре; б – среде DN с конго красным



а



б

Рис. 2. Совместное культивирование бактерий *A. brasilense* и *B. circulans*: а – метод перпендикулярных штрихов на картофельном агаре и среде DN с конго красным; б – метод капли-штриха на среде DN с конго красным и картофельном агаре

**Лабораторный эксперимент по изучению влияния азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий на развитие проростков яровой пшеницы.** Гормональный эффект считается одним из основных факторов повышения урожайности при использовании микробных удобрений. Стимуляция развития корневой системы повышает способность инокулированных растений использовать элементы минерального питания и воду.

В лабораторном эксперименте с 5-суточными проростками пшеницы инокуляция семян *A. brasilense* приводила к увеличению средней длины проростков яровой пшеницы на 21 %, суммарной длины корешков (в расчете на одно растение) – на 44 %, число корешков – на 9 %. Влияние *B. circulans* на ростовые процессы было менее выражено, средняя длина проростков увеличилась на 20 %, суммарная длина корешков одного растения – на 36 %, число корешков – на 9 %. Совместное действие азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий *A. brasilense* + *B. circulans* стимулировало длину проростка на 20 %, суммарную длину корешков одного растения – на 39 %, число корешков – на 10 % (табл. 1).

Таблица 1

**Биометрические показатели развития проростков яровой пшеницы  
при разных способах обработки семян**

Вариант	Средняя длина проростка		Суммарная длина корешков 1 растения		Число корешков	
	мм	%	мм	%	шт.	%
Контроль	47,1	100	178,3	100	4,41	100
Поверхностная стерилизация	51,3	109	197,0	110	4,55	103
<i>A. brasilense</i>	57,2	121	257,5	144	4,80	109
<i>B. circulans</i>	56,4	120	242,1	136	4,80	109
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	56,6	120	247,6	139	4,85	110
НСП <sub>05</sub>	6,14		29,20		0,11	

**Длительный модельный эксперимент по изучению динамики накопления титров бактерий *A. brasilense* и *B. circulans* при совместном и раздельном культивировании в жидких средах и растворах.** К основным показателям качества микробной композиции относятся биологическая эффективность препарата, титр активных компонентов, а также сохранность их полезных качеств при длительном хранении. Отобранные штаммы удовлетворяют требованиям технологичности – не являются патогенными, не представляют опасности для человека и окружающей среды, характеризуются высокой скоростью роста на недорогих субстратах (картофельный агар), сохранением титров и отсутствием заражения посторонней микрофлоры при длительном культивировании.

Экспериментальные данные свидетельствуют о возможности совместного культивирования *A. brasilense* и *B. circulans* в жидких средах и растворах. По данным 6-месячного модельного эксперимента титры и свойства *A. brasilense* и *B. circulans* в бинарной композиции были сравнимы с таковыми при культивировании монокультур бактерий на разных средах и при различных условиях культивирования (табл. 2, 3). Загрязнение посторонней микрофлорой отсутствовало в течение 6-месячного культивирования.

Таким образом, в результате лабораторных исследований установлено, что отобранные для бинарной композиции штаммы бактерий *A. brasilense* и *B. circulans* технологичны, оказывают положительное влияние на проростки пшеницы, не угнетают друг друга при совместном культивировании на плотных питательных средах, сохраняют титры при длительном хранении в жидких средах и физрастворах.

**Оценка эффективности бинарной бактериальной композиции в полевых опытах на эродированных дерново-подзолистых почвах.** В полевом опыте на дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках (ОАО «Межаны») изучено влияние бинарной бактериальной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* на урожайность озимой пшеницы в зависимости от степени эродированности и системы удобрения. На разных элементах склона отмечено повышение урожайности при минеральной и органо-минеральной системах удобрения по сравнению с контролем. По почвенно-эрозионной катене наблюдается снижение урожайности от водораздела к сильноэродированной почве.

Таблица 2

## Титры бактерий в жидких средах при разных условиях культивирования

Вариант	Титр, КОЕ/мл									
	исходный	3 сут.	2 нед.	4 нед.	6 нед.	8 нед.	10 нед.	12 нед.	4 мес.	6 мес.
<i>Картофельная среда</i>										
<i>A. brasilense</i>	1,6·10 <sup>8</sup>	7,6·10 <sup>8</sup>	9,4·10 <sup>9</sup>	7,2·10 <sup>9</sup>	4,8·10 <sup>9</sup>	2,9·10 <sup>9</sup>	6,3·10 <sup>8</sup>	1,1·10 <sup>8</sup>	4,3·10 <sup>6</sup>	220
<i>B. circulans</i>	1,5·10 <sup>8</sup>	5,4·10 <sup>8</sup>	7,3·10 <sup>9</sup>	9,8·10 <sup>9</sup>	7,9·10 <sup>9</sup>	7,6·10 <sup>9</sup>	1,5·10 <sup>9</sup>	3,6·10 <sup>8</sup>	7,6·10 <sup>6</sup>	440
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	0,8·10 <sup>8</sup> 0,8·10 <sup>8</sup>	4,2·10 <sup>8</sup> 4,6·10 <sup>8</sup>	5,7·10 <sup>9</sup> 6,6·10 <sup>9</sup>	5,0·10 <sup>9</sup> 5,6·10 <sup>9</sup>	3,0·10 <sup>9</sup> 4,1·10 <sup>9</sup>	1,9·10 <sup>9</sup> 2,7·10 <sup>9</sup>	6,3·10 <sup>8</sup> 8,7·10 <sup>8</sup>	1,7·10 <sup>8</sup> 3,4·10 <sup>8</sup>	1,8·10 <sup>6</sup> 3,1·10 <sup>6</sup>	140 420
<i>Картофельная среда с дополнительной аэрацией на качалке</i>										
<i>A. brasilense</i>	1,6·10 <sup>8</sup>	7,2·10 <sup>8</sup>	9,8·10 <sup>9</sup>	9,9·10 <sup>9</sup>	7,4·10 <sup>9</sup>	4,4·10 <sup>9</sup>	1,1·10 <sup>9</sup>	9,4·10 <sup>8</sup>	4,9·10 <sup>6</sup>	340
<i>B. circulans</i>	1,5·10 <sup>8</sup>	5,8·10 <sup>8</sup>	8,3·10 <sup>9</sup>	1,3·10 <sup>10</sup>	9,8·10 <sup>9</sup>	6,3·10 <sup>9</sup>	1,5·10 <sup>9</sup>	7,3·10 <sup>8</sup>	6,7·10 <sup>6</sup>	620
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	0,8·10 <sup>8</sup> 0,8·10 <sup>8</sup>	3,9·10 <sup>8</sup> 3,3·10 <sup>8</sup>	6,8·10 <sup>9</sup> 6,2·10 <sup>9</sup>	5,4·10 <sup>9</sup> 6,5·10 <sup>9</sup>	4,8·10 <sup>9</sup> 5,9·10 <sup>9</sup>	2,2·10 <sup>9</sup> 3,6·10 <sup>9</sup>	8,5·10 <sup>8</sup> 1,1·10 <sup>9</sup>	3,4·10 <sup>8</sup> 6,0·10 <sup>8</sup>	2,0·10 <sup>6</sup> 4,1·10 <sup>6</sup>	210 550
<i>Физ. раствор, 0,9 % NaCl</i>										
<i>A. brasilense</i>	1,6·10 <sup>8</sup>	5,2·10 <sup>8</sup>	8,1·10 <sup>8</sup>	8,2·10 <sup>8</sup>	6,4·10 <sup>8</sup>	6,5·10 <sup>8</sup>	8,2·10 <sup>7</sup>	2,9·10 <sup>7</sup>	8,7·10 <sup>4</sup>	≈ 0
<i>B. circulans</i>	1,5·10 <sup>8</sup>	3,8·10 <sup>8</sup>	4,5·10 <sup>8</sup>	4,6·10 <sup>8</sup>	3,8·10 <sup>8</sup>	3,4·10 <sup>8</sup>	6,4·10 <sup>7</sup>	1,4·10 <sup>7</sup>	4,1·10 <sup>4</sup>	≈ 0
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	0,8·10 <sup>8</sup> 0,8·10 <sup>8</sup>	2,9·10 <sup>8</sup> 2,3·10 <sup>8</sup>	5,9·10 <sup>8</sup> 2,3·10 <sup>8</sup>	5,3·10 <sup>8</sup> 2,9·10 <sup>8</sup>	3,5·10 <sup>8</sup> 3,1·10 <sup>8</sup>	3,1·10 <sup>8</sup> 2,9·10 <sup>8</sup>	6,3·10 <sup>7</sup> 7,9·10 <sup>7</sup>	7,2·10 <sup>6</sup> 1,1·10 <sup>7</sup>	2,4·10 <sup>4</sup> 4,2·10 <sup>4</sup>	27 44
<i>Физ. раствор, 0,9 % NaCl с дополнительной аэрацией на качалке</i>										
<i>A. brasilense</i>	1,6·10 <sup>8</sup>	5,6·10 <sup>8</sup>	8,8·10 <sup>8</sup>	8,6·10 <sup>8</sup>	6,3·10 <sup>8</sup>	6,0·10 <sup>8</sup>	5,3·10 <sup>7</sup>	4,8·10 <sup>7</sup>	1,9·10 <sup>5</sup>	≈ 0
<i>B. circulans</i>	1,5·10 <sup>8</sup>	5,6·10 <sup>8</sup>	9,3·10 <sup>8</sup>	6,1·10 <sup>8</sup>	5,8·10 <sup>8</sup>	5,6·10 <sup>8</sup>	9,0·10 <sup>7</sup>	6,6·10 <sup>7</sup>	8,7·10 <sup>4</sup>	16
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	0,8·10 <sup>8</sup> 0,8·10 <sup>8</sup>	3,7·10 <sup>8</sup> 2,9·10 <sup>8</sup>	5,7·10 <sup>8</sup> 4,9·10 <sup>8</sup>	4,5·10 <sup>8</sup> 5,7·10 <sup>8</sup>	2,9·10 <sup>8</sup> 4,9·10 <sup>8</sup>	2,7·10 <sup>8</sup> 5,1·10 <sup>8</sup>	6,1·10 <sup>7</sup> 9,8·10 <sup>7</sup>	4,9·10 <sup>7</sup> 6,2·10 <sup>7</sup>	4,3·10 <sup>4</sup> 1,1·10 <sup>5</sup>	20 64

Примечание. Отклонения от средних величин до ±7,2 % для картофельной среды; до ±5,1 % для раствора NaCl.

Таблица 3

Титры бактерий в жидких средах при разных условиях культивирования

Вариант	Титр, КОЕ/мл							
	исходный	6 сут.	2 нед.	4 нед.	6 нед.	3 мес.	4 мес.	6 мес.
<i>Nfb</i>								
<i>A. brasilense</i>	2,4·10 <sup>8</sup>	7,1·10 <sup>9</sup>	8,3·10 <sup>9</sup>	6,4·10 <sup>9</sup>	4,9·10 <sup>9</sup>	7,6·10 <sup>8</sup>	7,2·10 <sup>6</sup>	1,3·10 <sup>4</sup>
<i>B. circulans</i>	2,7·10 <sup>8</sup>	5,0·10 <sup>9</sup>	7,6·10 <sup>9</sup>	7,4·10 <sup>9</sup>	7,0·10 <sup>9</sup>	8,8·10 <sup>8</sup>	6,5·10 <sup>6</sup>	3,4·10 <sup>4</sup>
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	1,2·10 <sup>8</sup> 1,4·10 <sup>8</sup>	3,2·10 <sup>9</sup> 4,0·10 <sup>9</sup>	3,5·10 <sup>9</sup> 6,6·10 <sup>9</sup>	2,8·10 <sup>9</sup> 5,3·10 <sup>9</sup>	2,5·10 <sup>9</sup> 4,9·10 <sup>9</sup>	3,6·10 <sup>8</sup> 6,1·10 <sup>8</sup>	3,1·10 <sup>6</sup> 4,1·10 <sup>6</sup>	2,1·10 <sup>4</sup> 3,7·10 <sup>4</sup>
<i>Nfb</i> с дополнительной аэрацией на качалке								
<i>A. brasilense</i>	2,4·10 <sup>8</sup>	8,5·10 <sup>9</sup>	1,1·10 <sup>10</sup>	9,9·10 <sup>9</sup>	9,5·10 <sup>9</sup>	8,7·10 <sup>8</sup>	1,6·10 <sup>7</sup>	1,5·10 <sup>4</sup>
<i>B. circulans</i>	2,7·10 <sup>8</sup>	6,8·10 <sup>9</sup>	1,3·10 <sup>10</sup>	9,8·10 <sup>9</sup>	8,3·10 <sup>9</sup>	6,9·10 <sup>8</sup>	2,5·10 <sup>7</sup>	5,7·10 <sup>4</sup>
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	1,2·10 <sup>8</sup> 1,4·10 <sup>8</sup>	3,2·10 <sup>9</sup> 4,7·10 <sup>9</sup>	4,4·10 <sup>9</sup> 6,6·10 <sup>9</sup>	4,9·10 <sup>9</sup> 5,9·10 <sup>9</sup>	4,0·10 <sup>9</sup> 5,8·10 <sup>9</sup>	2,1·10 <sup>8</sup> 3,7·10 <sup>8</sup>	1,2·10 <sup>7</sup> 9,1·10 <sup>6</sup>	4,3·10 <sup>4</sup> 1,9·10 <sup>4</sup>
<i>К.ж.</i> (водопроводная вода)								
<i>A. brasilense</i>	2,4·10 <sup>8</sup>	7,2·10 <sup>8</sup>	2,3·10 <sup>9</sup>	8,5·10 <sup>8</sup>	7,9·10 <sup>8</sup>	2,5·10 <sup>7</sup>	1,9·10 <sup>5</sup>	1,0·10 <sup>3</sup>
<i>B. circulans</i>	2,7·10 <sup>8</sup>	5,1·10 <sup>8</sup>	1,7·10 <sup>9</sup>	9,0·10 <sup>8</sup>	6,6·10 <sup>8</sup>	4,3·10 <sup>7</sup>	2,8·10 <sup>5</sup>	6,9·10 <sup>2</sup>
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	1,2·10 <sup>8</sup> 1,4·10 <sup>8</sup>	5,0·10 <sup>8</sup> 4,9·10 <sup>8</sup>	1,1·10 <sup>9</sup> 1,9·10 <sup>9</sup>	4,6·10 <sup>8</sup> 6,8·10 <sup>8</sup>	2,7·10 <sup>8</sup> 3,3·10 <sup>8</sup>	9,7·10 <sup>6</sup> 2,3·10 <sup>7</sup>	1,4·10 <sup>5</sup> 2,0·10 <sup>5</sup>	5,1·10 <sup>2</sup> 7,1·10 <sup>2</sup>
<i>К.ж.</i> (водопроводная вода) с дополнительной аэрацией на качалке								
<i>A. brasilense</i>	2,4·10 <sup>8</sup>	7,7·10 <sup>8</sup>	4,3·10 <sup>9</sup>	2,8·10 <sup>9</sup>	8,9·10 <sup>8</sup>	6,4·10 <sup>7</sup>	4,2·10 <sup>5</sup>	2,7·10 <sup>3</sup>
<i>B. circulans</i>	2,7·10 <sup>8</sup>	8,1·10 <sup>8</sup>	6,9·10 <sup>9</sup>	5,7·10 <sup>9</sup>	5,6·10 <sup>8</sup>	8,1·10 <sup>7</sup>	3,2·10 <sup>5</sup>	4,4·10 <sup>3</sup>
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	1,2·10 <sup>8</sup> 1,4·10 <sup>8</sup>	5,0·10 <sup>8</sup> 6,6·10 <sup>8</sup>	1,6·10 <sup>9</sup> 2,4·10 <sup>9</sup>	4,2·10 <sup>8</sup> 6,5·10 <sup>8</sup>	3,9·10 <sup>8</sup> 5,3·10 <sup>8</sup>	3,5·10 <sup>6</sup> 6,6·10 <sup>6</sup>	8,6·10 <sup>4</sup> 2,3·10 <sup>5</sup>	1,1·10 <sup>3</sup> 6,2·10 <sup>3</sup>

Примечание. Отклонения от средних величин до ±5,8 % для среды Nfb; до ±4,8 % для H<sub>2</sub>O.

Установлено, что бинарная инокуляция посевов *A. Brasilense* + *B. circulans* эффективна по всей почвенно-эрозионной катене. Урожайность зерна озимой пшеницы в вариантах без инокуляции при минеральной системе удобрения составила – 39,4–52,5 ц/га, при органо-минеральной – 43,1–56,98 ц/га, на контроле без удобрений – 38,4–46,1 ц/га. Прибавки урожайности зерна озимой пшеницы при минеральной системе удобрения составили – 2,9–3,9 ц/га, при органо-минеральной – 4,3–4,8 ц/га, на контроле без удобрений – 4,7–5,2 ц/га (табл. 4).

Таблица 4

**Влияние бинарной бактериальной композиции на урожайность озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках в зависимости от степени эродированности и системы удобрения (ОАО «Межаны», 2016 г.)**

Почва	Контроль			NPK			NPK + навоз		
	б/инок.	бинар-ная инок.	при-бавка	б/инок.	бинар-ная инок.	при-бавка	б/инок.	бинар-ная инок.	при-бавка
Неэрод.	46,1	51,3	5,2	52,5	56,0	3,5	56,9	61,7	4,8
Слабо-	44,7	49,4	4,7	49,2	52,1	2,9	50,1	54,5	4,4
Средне-	42,4	47,5	5,1	50,7	53,9	3,2	49,5	53,9	4,4
Сильно-	38,4	43,3	4,9	39,4	43,3	3,9	43,1	47,4	4,3
НСР <sub>05</sub> Фактор А (почва) 3,45; Фактор В (удобрения) 3,22; Фактор С (бактеризация) 3,04									

Примечание. Бинарная инокуляция – *A. Brasilense* + *B. Circulans*.

На дерново-подзолистых почвах, сформированных на лессовидных суглинках, проведено сравнение эффективности бинарной инокуляции с применением моноинокулянтов на посевах озимой пшеницы. Установлена более высокая эффективность бинарной инокуляции *A. Brasilense* + *B. circulans* по сравнению с монокультурами бактерий на всех элементах склона: на водоразделе, средне- и сильноэродированных почвах прибавки от моноинокулянтов *A. brasilense* и *B. circulans* составили – 3,9 и 2,5, 3,5 и 2,6, 3,5 и 3,6 ц/га, а от бинарного инокулянта *A. Brasilense* + *B. circulans* – 3,6, 4,1 и 4,6 ц/га соответственно (табл. 5). Отмечена тенденция повышения эффективности инокуляции на сильноэродированной почве в условиях стресса.

Таблица 5

**Влияние моно- и бинарной инокуляции на урожайность озимой пшеницы (ц/га) на дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках в зависимости от степени эродированности («Стоковые площадки», 2016 г.)**

Вариант	Неэродированная		Среднеэродиро-ванная		Сильноэродиро-ванная	
	урожаи-ность	прибавка	урожаи-ность	прибавка	урожаи-ность	прибавка
Контроль	61,4	–	54,2	–	45,9	–
<i>A. brasilense</i>	65,3	<b>3,9</b>	57,7	<b>3,5</b>	49,4	<b>3,5</b>
<i>B. circulans</i>	63,9	<b>2,5</b>	56,8	<b>2,6</b>	49,5	<b>3,6</b>
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	65,0	<b>3,6</b>	58,3	<b>4,1</b>	50,5	<b>4,6</b>
НСР <sub>05</sub> Фактор А (бактеризация) 3,39; Фактор В (почва) 2,93						

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По критериям высокой активности по целевым свойствам, азотфиксации, калиймобилизации, а также по наличию дополнительного приспособительного механизма, фосфатмобилизации, для создания бинарной микробной композиции из собственной коллекции отобраны активные штаммы *A. brasilense* и *B. circulans*, которые удовлетворяют требованиям технологичности, не патогенны, не опасны для человека и окружающей среды, характеризуются высокой скоростью роста на недорогих субстратах, сохранением титров и отсутствием заражения посторонней микрофлорой при длительном культивировании.

В лабораторных экспериментах с применением диффузионных методов установлена биологическая совместимость бактерий *A. brasilense* и *B. circulans*. В длительном модельном эксперименте изучена динамика накопления титров *A. brasilense* и *B. circulans* при совместном и раздельном культивировании в жидких средах в течение 6 месяцев; установлена возможность длительного совместного культивирования с сохранением титров и свойств активных агентов; загрязнение посторонней микрофлорой отсутствовало.

Разработана бинарная бактериальная композиция. Для тестирования в полевых опытах изготовлены бинарный инокулянт *A. brasilense*+*B. circulans* и моноинокулянты *A. brasilense* и *B. circulans*. На дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках, проведено сравнение эффективности бинарной инокуляции с применением моноинокулянтов на посевах озимой пшеницы; установлена более высокая эффективность бинарной инокуляции по сравнению с монокультурами на всех элементах склона: на водоразделе, средне- и сильноэродированных почвах прибавки от моноинокулянтов составили – 3,9 и 2,5, 3,5 и 2,6, 3,5 и 3,6 ц/га, а от бинарного инокулянта *A. Brasilens* + *B. circulans* – 3,6, 4,1 и 4,6 ц/га соответственно. На дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках, изучено влияние бинарной бактериальной композиции на урожайность озимой пшеницы в зависимости от степени эродированности почвы и системы удобрения. Установлена эффективность бинарной инокуляции *A. brasilense*+*B. circulans* по почвенно-эрозионной катене – прибавки урожайности зерна при минеральной системе удобрения составили 2,9–3,9 ц/га, при органо-минеральной – 4,3–4,8 ц/га, на контроле без удобрений – 4,7–5,2 ц/га.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bashan, Y.* Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture / Y. Bashan, H. Levanony. – Can. J. Microbiol. – 1990. – Vol. 36. – P. 591–608.
2. *Okon, Y.* Agronomic application of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation / Y. Okon, C.A. Labandera-Gonzalez // Soil Biol. Biochem. – 1994. – V. 26. – P. 1591–1601.
3. *Boddy, R.M.* Nitrogen fixation associated with grasses and cereals: Recent progress and perspectives for future / R.M. Boddy, J. Dobereiner // Fertilizer Research. – 1995. – V. 42. – P. 241–250.
4. *Okon, Y.* Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots / Y. Okon, Y. Kapulnik // Plant Soil. – 1986. – V. 90. – P. 3–16.

5. *Kapulnik, Y.* Contribution of nitrogen fixed by *Azospirillum* to N nutrition of spring wheat in Israel. / Y. Kapulnik, Feldman, Y. Okon and Y. Henis // *Soil Biol. Biochem.* – 1985. – V. 17. – P. 509–515.
6. *Boddy, R.M.* Nitrogen fixation associated with grasses and cereals: Recent progress and perspectives for future / R.M. Boddy, J. Dobereiner // *Fertilizer Research.* – 1995. – V. 42. – P. 241–250.
7. Изучение способности штамма *A. brasilense* к мобилизации ортофосфатов кальция / Н.А. Михайловская [и др.] // *Почвенные исследования и применение удобрений.* – 2003. – Вып. 27. – С. 325–332.
8. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? / I.R. Kennedy [et al.] // *Soil Biol. Biochem.* – 2004. – V. 36, № 8. – P. 1229–1244.
9. *Sadasivan, L.* Cyst production and brown pigment formation in aging cultures of *Azospirillum brasilense* ATCC 29145 / L. Sadasivan and C.A. Neyra // *J. Bacteriol.* – 1987. – V. 169. – P. 1670–1677.
10. *Аристовская, Т.В.* Микробиология процессов почвообразования / Т.В. Аристовская. – Л.: Наука, 1980. – 187 с.
11. *Звягинцев, Д.Г.* Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.Л. Бабьева, Г.М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.
12. Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н.А. Михайловская [и др.] // *Почвоведение и агрохимия.* – 2007. – № 1(38). – С. 225–231.
13. *Gottschalk, G.* 1986. Bacterial metabolism / G.Gottschalk. – Springer, 1986, New York, N.Y. – 359 p.
14. *Теппер, Е.З.* Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. – М.: Агропромиздат, 1987. – 239 с.
15. Справочник по методам исследований в микробиологии и вирусологии / под ред. М.О. Бергера – М.: Медицина, 1982. – 464 с.
16. *Лысак, Л.В.* Методы оценки бактериального разнообразия почв и идентификации почвенных бактерий / Л.В. Лысак, Т.Г. Добровольская, И.Н. Скворцова. – М.: МАКС Пресс, 2003. – 120 с.
17. Инструкция по применению систем индикаторных бумажных (СИБ), утвержденная начальником департамента Государственного контроля качества, эффективности и безопасности лекарственных средств и медицинской техники Р.У. Хабриева 25.01.1999 г.
18. *Умаров, М.М.* Ассоциативная азотфиксация / М.М. Умаров. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 132 с.
19. *Михайловская, Н.А.* Количественная оценка активности калиймобилизующих бактерий и их эффективность на посевах озимой ржи / Н.А. Михайловская // *Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных навук.* – 2006. – № 3. – С. 41–46.
20. *Егоров, Н.С.* Руководство к практическим занятиям по микробиологии / Н.С. Егоров. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 217 с.
21. Практикум по биологии почв: учеб. пособие / Г.М. Зенова [и др.]; МГУ, ф-т почвоведения; под ред. Д.Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 31 с.
22. Acetylene reduction (nitrogen fixation) associated with corn inoculated with *Spirillum*. / L.E. Barber [et al] // *Appl. Env. Microbiol.* – 1976. – Vol. 32, № 1. – P. 108–113.

23. Методы общей бактериологии / под ред. Ф. Герхардта [и др.]. – М.: Мир, 1984. – Т.1. – 340 с.

24. Ecological distribution of *Spirillum lipoferum* / J. Dobereiner [et al.] // Can. J. Microbiol. – 1976. – Vol. 22, № 10. – P. 1464–1473.

## **BINARY COMPOSITION A.BRASILENSE + B.CIRCULANS AND ITS EFFICIENCY FOR INOCULATION OF WINTER WHEAT ON ERODED SOD-PODZOLIC LOAMY SOILS**

**N.A. Mikhailovskaya, T.B. Barashenko, T.V. Pogirnitskaya, S.V. Dyusova**

### **Summary**

For the development of binary bacterial composition compatible strains of bacteria *A. brasilense* and *B. circulans* (own collection) were selected in experiments *in vitro* with application of diffusion methods. Binary bacterial composition was developed and tested in field experiments with winter wheat growing on eroded soddy-podzolic soils on loess and moraine loams. Most efficiency of binary inoculation (*A. brasilense* + *B. circulans*) compared application of monoinoculants was observed at all slope elements.

*Поступила 21.04.17*

УДК 631.811:631.622

## **ЭКОЛОГО-АГРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВ УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ**

**Н.Н. Мирошниченко<sup>1</sup>, А.М. Бердников<sup>2</sup>, Л.В. Потапенко<sup>2</sup>,  
Е.П. Чмель<sup>3</sup>, М.Н. Пархоменко<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского,  
г. Харьков, Украина*

<sup>2</sup>*Институт сельскохозяйственной микробиологии и агропромышленного  
производства НААН, г. Чернигов, Украина*

<sup>3</sup>*Черниговский политехнический университет,  
г. Чернигов, Украина*

<sup>4</sup>*Институт земледелия НААН, г. Киев, Украина*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В связи со спецификой природно-климатических и геохимических условий, в Украинском Полесье невозможно обеспечить устойчивость земледелия и повышение почвенного плодородия без оптимизации системы удобрения, с обязательным использованием мелиорирующих средств и биологических препаратов [1]. Особенно высокий экологический риск привносят интенсивные технологии выращивания сельскохозяйственных культур, которые влекут за собой избыточную минерализацию гумуса, потери влаги и биогенных элементов, усиливают про-

цессы эрозии, в том числе и внутрпочвенной. Вследствие этого интенсификация сельскохозяйственного производства зачастую не дает ожидаемой отдачи, а земледелие становится все более затратным и неустойчивым [2]. Кроме того, в последние годы конъюнктура рынка требует производства «прибыльных» культур в нарушение оптимальных для Полесья севооборотов [3]. Если этот процесс не ограничить рамками закона, например, как это сделано в Нидерландах, то он может набрать стихийный характер и привести к полному хаосу в земледелии.

Севообороты полесской зоны в классическом земледелии были 7–10-польными с относительно широким набором культур, предназначенных для покрытия потребностей как товарного зерна и картофеля, так и кормов для животноводства. Последнее, в свою очередь, обеспечивало севооборот органическими удобрениями на уровне 10–12 т/га, что гарантировало устойчивое земледелие и расширенное воспроизводство почвенного плодородия. В связи с резким сокращением поголовья крупного рогатого скота, в настоящее время в зоне Полесья вносится 1–3 т/га навоза, что требует поиска альтернативных источников органического вещества.

На основе многолетних исследований М.А. Бобрицкая [4] в свое время пришла к выводу, что 13 млн га дерново-подзолистых супесчаных почв европейской части бывшего СССР нуждаются в защите от внутрпочвенного стока, и на таких почвах необходимо учитывать потери биогенных элементов в силу инфильтрации атмосферных осадков. Таких почв в зоне Полесья Украины насчитывается свыше 3,3 млн га. Земледелие на таких почвах, независимо от его направленности – традиционной, альтернативной или органической, в наибольшей степени нуждается в агротехнических приемах, способствующих повышению коэффициентов использования влаги, питательных веществ почвы и удобрений [5–6].

Цель данной работы – разработка и изучение оптимальных моделей зональных агротехнологий, которые должны свести к минимуму непроизводительные потери биогенных элементов, а коэффициенты использования питательных веществ почвы и удобрений культурными растениями приблизить к максимальным уровням. Для достижения поставленной цели был выбран лизиметрический метод, который является одним из наиболее надежных способов учета непроизводительных потерь влаги и биогенных элементов в почве [7].

## **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Исследования проводились в период с 2006 по 2013 г. в стационарной лизиметрической установке Института сельскохозяйственной микробиологии и агропромышленного производства НААН, имеющей 48 бетонных секций (ячеек), размещенных двумя параллельными рядами. Посевная площадь лизиметрической ячейки 3,8 м<sup>2</sup>, высота почвенного слоя 155 см, масса почвы 10,5 т. Почва лизиметрического опыта дерново-подзолистая супесчаная, типичная для почв Черниговского Полесья. Заполнение лизиметров почвой проводили в 1970 г. с учетом мощности каждого генетического горизонта в такой последовательности: 115–155 см – материнская порода, 75–115 см – иллювиальный переходный к породе, 38–75 см – иллювиальный, 23–38 см – элювиальный, 0–23 см – гумусово-элювиальный (пахотный).

Агрохимическая характеристика почвы пахотного слоя: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,1 %, рН солевой вытяжки – 5,0, гидrolитическая кислотность

(по Каппену) – 25 ммоль/кг, содержание  $P_2O_5$  (по Кирсанову) – 170,0 мг/кг,  $K_2O$  (по Масловой) – 62,0 мг/кг. В лизиметрических водах определяли:  $NO_3$  – дисульфифеноловым методом,  $P_2O_5$  – фотоколориметрически,  $K_2O$  – методом пламенной фотометрии, Ca и Mg – трилонометрически [8].

Схема опыта предусматривала бессменное выращивание отдельных культур, а также содержание земли в залежи и под чистым паром на фоне различных систем удобрения: минеральной, органической, органо-минеральной, сидеральной (основной сидерат – люпин узколистный в пожнивной культуре), альтернативной (сидерация и внесение минеральных удобрений), а также контроля без внесения удобрений. Кроме того, в 2009–2013 гг. изучали эффективность различных норм внесения кальцийсодержащего мелиоранта (дефекат) под кукурузу на зерно в сочетании с инокуляцией (0,5 л/га) семян препаратом комплексного удобряющего и ростостимулирующего действия Биогран, производимого на основе *Azospirillum brasilense* 410 [9].

Погодные условия за годы проведения исследований имели отличия: при среднемноголетней норме 557 мм, в годы проведения исследований количество осадков варьировало от 365 мм до 537 мм. В частности, на протяжении вегетации 2011–2012 гг. наблюдалось увлажнение, близкое к среднемноголетним показателям (88–92 % от нормы), а в 2010 и 2013 годах были более засушливые условия (72–74 % от нормы).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее на объекте исследований было установлено, что осадки в зоне Черниговского Полесья существенно минерализованы [2]. На 1 га пашни ежегодно выпадает около 14 кг соединений минерального азота, а также (в пересчете на оксиды) 35 кг кальция, 22 кг магния, 26 кг серы, 7 кг калия и натрия, с существенными отклонениями по годам (табл. 1).

Таблица 1

Поступление биогенных элементов с атмосферными осадками за гидрологический год, кг/г

Химические соединения	Содержание элементов в атмосферных осадках, мг/л (над чертой) и поступление с атмосферными осадками, кг/га (под чертой)				
	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	среднее
$NO_3$	<u>1,8</u> 6,8	<u>1,9</u> 6,6	<u>1,7</u> 7,2	<u>2,2</u> 8,8	<u>1,9</u> 7,4
$NH_4$	<u>1,5</u> 5,6	<u>1,6</u> 5,9	<u>1,7</u> 7,2	<u>2,0</u> 5,8	<u>1,7</u> 6,1
$K_2O$	<u>1,6</u> 6,8	<u>1,6</u> 5,9	<u>2,0</u> 8,5	<u>1,8</u> 6,9	<u>1,8</u> 7,0
$Na_2O$	<u>1,5</u> 6,8	<u>1,6</u> 5,9	<u>1,7</u> 6,8	<u>1,6</u> 7,2	<u>1,6</u> 6,7
CaO	<u>9,5</u> 35,7	<u>9,4</u> 34,4	<u>9,4</u> 39,8	<u>12,6</u> 30,6	<u>10,2</u> 35,1
MgO	<u>5,0</u> 18,8	<u>5,4</u> 19,8	<u>6,2</u> 26,2	<u>5,8</u> 24,0	<u>5,6</u> 22,2
$SO_4$	<u>8,0</u> 30,0	<u>5,0</u> 18,3	<u>6,0</u> 25,4	<u>9,0</u> 30,4	<u>7,0</u> 26,0

Дерново-подзолистые почвы Полесья имеют промывной тип водного режима, интенсивность которого во многом определяется растительным покровом. Процессы инфильтрации и вымывания наиболее интенсивно протекают в позднеосенний и ранневесенний периоды, когда почва не занята растительностью. Средние потери влаги на инфильтрацию при восьмилетней (2006–2013 гг.) монокультуре пшеницы озимой составили 61 мм, или 11 % от среднемноголетней нормы выпавших осадков (табл. 2). Под яровыми культурами количество утраченной влаги было несколько большим, а под многолетними травами – уменьшалось до 46 мм. Что же касается пропашных культур – кукурузы и картофеля, то потери влаги были в 1,6–1,7 раз выше относительно пшеницы озимой. Под чистым паром инфильтрация составила 28 % к годовому количеству осадков.

Таблица 2

**Потери влаги из дерново-подзолистой супесчаной почвы под сельскохозяйственными культурами при их бессменном выращивании, мм**

Растительность (культуры)	Потери влаги на инфильтрацию, мм							
	без удобрений (контроль)		органоминеральная система удобрения (7,5 т навоза + N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> P <sub>60</sub> )		органическая система удобрения (10 т/га навоза)		альтернативная система удобрения (сидерат + N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> P <sub>60</sub> )	
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%
Пар чистый	156	256	–	–	–	–	–	–
Многолетние травы (залежь)	38	62	–	–	–	–	–	–
Пшеница озимая	61	100	79	100	85	100	66	100
Овес	73	120	85	108	89	105	78	118
Картофель	95	156	123	156	156	184	102	155
Кукуруза	102	167	119	151	161	189	106	161
Люпин	80	131	88	111	93	109	80	121
Многолетние травы (клевер)	46	75	54	68	60	71	–	–

Таким образом, для наиболее экономного расходования влаги в севооборотах насыщенность пропашными культурами должна приближаться к доле трав, площади под чистым паром целесообразно уменьшить до минимума, а озимые зерновые колосовые предпочтительнее яровым. Кроме того, уменьшению потерь влаги способствует альтернативная система удобрения, предусматривающая запахивание зеленой массы пожнивной культуры люпина.

Потери биогенных элементов определялись не только количеством профильтрованной влаги, но и концентрацией их в почвенном растворе (табл. 3). Как правило, наиболее высокая концентрация биогенных элементов наблюдается под чистым паром, наиболее низкая – под многолетними травами. При внесении разных видов удобрений и их сочетаний концентрация азота, кальция и магния в почвенном растворе существенно возрастала и достигала максимальных значений при внесении исключительно навоза – до 118, 82 и 42 мг/дм<sup>3</sup> соответственно (в пересчете на оксиды).

Таким образом, вследствие различий в объеме и концентрации инфильтрата, потери наиболее подвижных элементов (азота, кальция, магния) могут изменяться в зависимости от типа растительности в два и более раз (табл. 4). К примеру, если на фоне без удобрений вымывание нитратов под озимой пшеницей составило 25,0 кг/га, а СаО – 18,9 кг/га, то под кукурузой – 77,5 кг/га и 61,2 кг/га, соответственно.

Таблица 3

Концентрация биогенных элементов в лизиметрических водах дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от растительности и системы удобрения, мг/дм<sup>3</sup>

Растительность (культуры)	Концентрация биогенных элементов в почвенном растворе, мг/дм <sup>3</sup> (в пересчете на оксиды)											
	без удобрений (контроль)			органоминеральная система удобрения (7,5 т навоза + N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> P <sub>60</sub> )			органическая система удобрения (10 т/га навоза)			альтернативная система удобрения (сидерат + N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> P <sub>60</sub> )		
	NO <sub>3</sub>	CaO	MgO	NO <sub>3</sub>	CaO	MgO	NO <sub>3</sub>	CaO	MgO	NO <sub>3</sub>	CaO	MgO
Пар чистый	172	85	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Залежь – многолетние травы	24	16	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Пшеница озимая	41	31	20	58	40	25	66	52	40	44	35	22
Овес	46	40	22	58	46	26	70	60	42	39	39	19
Картофель	75	61	20	92	69	30	114	82	32	70	64	21
Кукуруза	76	60	22	90	59	28	118	63	24	80	56	23
Люпин	50	40	18	64	42	24	70	46	24	54	36	14
Многолетние травы (клевер)	28	22	18	34	30	22	36	32	24-	-	-	-

Таблица 4  
**Потери биогенных элементов из дерново-подзолистой супесчаной почвы под сельскохозяйственными культурами**

Растительность (культуры)	NO <sub>3</sub>		CaO		MgO		NO <sub>3</sub>		CaO		MgO	
	кг/га	%	кг/га	%	кг/га	%	кг/га	%	кг/га	%	кг/га	%
	Без удобрений (контроль)						Органо-минеральная система удобрения (7,5 т навоза + N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> P <sub>60</sub> )					
Чистый пар	112,3	449	132,6	702	40,7	337	–	–	–	–	–	–
Залежь – многолетние травы	12,9	52	6,1	32	6,8	56	–	–	–	–	–	–
Пшеница озимая	25,0	100	18,9	100	12,2	100	45,8	100	31,6	100	19,8	100
Овес	33,6	134	29,2	154	16,1	132	49,3	108	39,1	124	22,1	112
Картофель	71,3	285	58,0	307	19,0	156	113,2	247	84,9	269	36,9	186
Кукуруза	77,5	310	61,2	324	22,4	184	107,1	234	70,2	222	33,3	168
Люпин	40,0	160	32,0	169	14,4	118	56,3	123	37,0	117	21,1	107
Многолетние травы (клевер)	12,9	52	10,1	53	8,3	68	18,4	40	16,2	51	11,9	60
	Органическая система удобрения (10 т/га навоза)						Альтернативная система удобрения (сидерат + N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> P <sub>60</sub> )					
Чистый пар	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Залежь – многолетние травы	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Пшеница озимая	56,1	100	44,2	100	34,0	100	29,0	100	23,1	100	14,5	100
Овес	62,3	111	53,4	121	37,4	109	30,4	105	30,4	132	14,8	102
Картофель	177,8	317	127,9	289	49,9	147	71,4	246	65,3	283	21,4	148
Кукуруза	190,0	339	101,4	229	38,6	114	84,8	292	59,4	257	24,4	168
Люпин	65,1	116	42,8	97	22,3	66	43,2	149	28,8	125	11,2	77
Многолетние травы (клевер)	21,6	39	19,2	43	14,4	42	–	–	–	–	–	–

Что же касается системы удобрения, то наименьшие потери биогенных элементов наблюдаются в почве без применения удобрений и при альтернативной системе удобрения, наиболее высокие – при органической системе, а органо-минеральная система занимает промежуточное положение. В связи с этим, для снижения непродуктивных потерь биогенных элементов при проектировании рациональных севооборотов целесообразно органическую и органо-минеральную систему удобрения сочетать с сидерацией в промежуточных посевах.

При минеральной и органической системах удобрения в лизиметрических водах отмечена максимальная концентрация также и водорастворимого органического вещества, фосфора и калия (табл. 5). В частности, под такой пропашной культурой, как картофель, при запахивании сидератов вымывание органического вещества, фосфора и калия было на уровне варианта без применения удобрений, а при сочетании сидерации с внесением минеральных удобрений – значительно снижалось относительно минеральной системы удобрения. Таким образом, с целью уменьшения потерь влаги, органического вещества и биогенных элементов минеральную систему удобрения целесообразно сочетать с промежуточной сидерацией.

Таблица 5

**Вымывание лабильного гумуса и элементов питания из дерново-подзолистой супесчаной почвы под картофелем, 2010–2013 гг.**

Вариант опыта	Концентрация в лизиметрических водах, мг/л			Потери из слоя почвы 155 см, кг/га		
	лабильный гумус	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	лабильный гумус	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Без удобрений	22,0	2,6	4,0	16,0	2,8	4,6
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	48,2	5,0	6,8	32,4	3,6	7,0
Навоз, 40 т/га	56,0	6,4	12,0	38,8	4,0	7,6
Сидерат	24,0	2,2	5,6	14,0	2,8	3,0
Навоз + N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	62,0	7,8	14,0	40,0	7,0	8,1
Сидерат + N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	30,2	3,4	5,0	14,0	3,2	5,0

Несмотря на то, что альтернативная система удобрения, сочетающая сидерацию и минеральные удобрения, обеспечила урожайность картофеля на 6 % ниже органо-минеральной системы, полученная продукция имела высокие пищевые качества, особенно по содержанию нитратов в клубнях (табл. 6).

Таблица 6

**Урожайность картофеля и качество клубней на дерново-подзолистой супесчаной почве при различных системах удобрения**

Вариант опыта	Урожайность, т/га	Показатели качества клубней			
		крахмал, %	белок, %	витамин С, мг%	нитраты, мг/кг
Без удобрений	8,6	12,8	1,6	9,6	64
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	22,4	12,4	1,8	12,0	214
Навоз, 40 т/га	16,8	13,0	2,0	12,6	202
Сидерат	17,4	13,0	1,9	12,0	56
Навоз + N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	31,2	12,6	2,0	14,0	142
Сидерат + N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	29,4	13,0	2,2	13,0	91
НСР <sub>0,95</sub>	1,6	0,5	0,01	0,7	3,0

Создание оптимальных условий минерального питания растений на почвах дерново-подзолистого типа тесно связано с регулированием почвенной кислотности [10–12]. Существенна роль кальцийсодержащих мелиорантов также и в аккумуляции гумусовых веществ, однако известкование дерново-подзолистых почв полной нормой внесения кальцийсодержащих материалов по гидролитической кислотности является достаточно дорогостоящим и не всегда оправданным мероприятием [13–14].

В результате исследований установлено, что внесение известковых материалов по полной гидролитической кислотности обусловило увеличение урожайности зерна кукурузы в среднем за 5 лет с 7,40 до 8,20 т/га (табл. 7). При уменьшении нормы внесения кальция вдвое урожайность возростала только на 0,6 т/га, а при уменьшении вчетверо – на 0,2 т/га, а статистически достоверный прирост был получен на протяжении первых трех лет.

Таблица 7

**Урожайность кукурузы на зерно в бессменном посеве  
при химической мелиорации и инокуляции семян  
(среднее за 2009–2013 гг.)**

Варианты опыта	Урожайность зерна кукурузы, т/га	
	без инокуляции	инокуляция Биограном
N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>120</sub> (фон)	7,40	7,80
Фон+CaCO <sub>3</sub> по 1 г.к.	8,20	8,60
Фон+CaCO <sub>3</sub> по 1/2 г.к.	8,00	8,92
Фон+CaCO <sub>3</sub> по 1/4 г.к.	7,60	8,48
Фон+CaCO <sub>3</sub> по 1/4 г.к. через год	8,02	8,90
НСП <sub>0,5</sub> т/га	0,26	0,29

Как следует из приведенных данных, эффективность инокуляции семян био-препаратом снижается как при отсутствии известкования почвы, так и при его избыточном проведении. Наиболее высокая продуктивность растений и наибольшая прибавка урожая получена при сочетании биопрепарата и относительно невысоких доз кальция (1/2 г.к. раз в 5 лет или 1/4 г.к. через год).

Еще одним аргументом в пользу снижения норм известкования есть то, что внесение дефеката по полной гидролитической кислотности резко увеличивает вымывание азота и фосфора, очевидно, из-за усиления минерализации гумуса (табл. 8). Кроме повышения риска нитратного и фосфатного загрязнения природных вод, это ведет к обеднению корнеобитаемого слоя почвы органическим азотом и фосфором.

Выявленная закономерность также характерна для миграции кальция за пределы корнеобитаемого слоя: под действием известкования в полной дозе потери его повысились в 3 раза, при внесении по 1/2 г.к. – в 2 раза, а при еще более низкой норме – только на 34–21 %. Следовательно, с точки зрения ресурсосбережения, внесение дефеката полной нормой при выращивании кукурузы на зерно в бессменных посевах малоцелесообразно. Наряду с этим, инокуляция семян кукурузы Биограном оказала положительное влияние на снижение потерь практически всех биогенных элементов.

## Инфильтрационные потери биогенных элементов из дерново-подзолистой почвы (среднее за 2009–2013 гг.), кг/га

Вариант опыта	Потери биогенных элементов на инфильтрацию, кг/га (над чертой – без инокуляции, под чертой – с инокуляцией Биограном)				
	NO <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>120</sub> (фон)	<u>70,0</u>	<u>76,0</u>	<u>24,0</u>	<u>4,8</u>	<u>6,4</u>
	64,0	72,0	18,0	4,0	5,6
Фон+CaCO <sub>3</sub> по 1 г.к.	<u>128,1</u>	<u>210,0</u>	<u>42,0</u>	<u>6,2</u>	<u>3,6</u>
	114,0	192,0	34,0	5,6	3,4
Фон+CaCO <sub>3</sub> по 1/2 г.к.	<u>92,0</u>	<u>140,1</u>	<u>30,1</u>	<u>6,0</u>	<u>4,0</u>
	84,1	135,0	24,5	5,0	3,4
Фон+CaCO <sub>3</sub> по 1/4 г.к.	<u>80,1</u>	<u>92,2</u>	<u>28,4</u>	<u>5,0</u>	<u>4,2</u>
	70,1	71,1	20,5	5,0	3,4
Фон+CaCO <sub>3</sub> по 1/4 г.к. через год	<u>84,0</u>	<u>102,0</u>	<u>29,0</u>	<u>5,4</u>	<u>4,0</u>
	72,0	94,0	20,8	5,4	3,5
НСР <sub>0,99</sub>	<u>3,1</u>	<u>1,7</u>	<u>0,6</u>	<u>0,02</u>	<u>0,014</u>
	0,8	0,7	0,2	0,04	0,01

## ВЫВОДЫ

В зависимости от сельскохозяйственной культуры и системы удобрения, вымывание биогенных элементов из дерново-подзолистой супесчаной почвы варьируют в таких пределах: нитраты (в пересчете на азот) – 2,9–43 кг/га, кальций (в пересчете на CaO) – 6,1–127,9 кг/га, магний (в пересчете на MgO) – 6,8–49,9 кг/га.

Наибольшие потери отмечены в почве под паром и пропашными культурами при минеральной и органической системой удобрения. В зависимости от системы удобрения, под культурой картофеля из почвы вымывается водорастворимого органического вещества – 14–40 кг/га, фосфора (в пересчете на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – 2,8–7,0 кг/га, калия (в пересчете на K<sub>2</sub>O) – 3,0–8,1 кг/га.

Определены пути регулирования баланса влаги и биогенных элементов в дерново-подзолистых супесчаных почвах. Наилучшими с точки зрения ресурсосбережения технологическими приемами являются увеличение доли озимых зерновых в севообороте, выращивание сидеральной культуры в пожнивных посевах, внесение кальцийсодержащих мелиорантов нормой 1/2 г.к. раз в 5 лет или 1/4 г.к. через год, инокуляция семенного материала биопрепаратом комплексного действия. В комплексе эти мероприятия могут свести к минимуму непроизводительные потери влаги и биогенных элементов для наиболее эффективного использования почвенно-климатического потенциала зоны Полесья.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Милащенко, Н.З. Экологические проблемы в интенсивном земледелии: [Труды ВИУА] / Н.З. Милащенко. – М., 1990. – С. 3–10.
2. Наукові основи агропромислового виробництва Чернігівської області / І.В. Гриник [та ін.]. – Чернігів: РВК «Деснянська правда», 2004. – 344 с.

3. Сайко, В.Ф. Сівозміни у землеробстві України / В.Ф. Сайко, П.І. Бойко. – Київ: Аграрна наука, 2002 – 146 с.
4. Бобрицкая, М.А. Потери азота и других элементов при выщелачивании из слабокультуренной дерново-подзолистой почвы / М.А. Бобрицкая // Баланс азота в дерново-подзолистых почвах. – М., 1966. – С. 18–22.
5. Кисіль, В.І. Агрохімічні аспекти екологізації землеробства / В.І. Кисіль. – Харків: Вид. «13 типографія». – 167 с.
6. Мазур, Г.А. Відтворення і регулювання родючості легких ґрунтів / Г.А. Мазур. – Київ: Аграрна наука, 2008. – 308 с.
7. Бердников, О.М. Лизиметрические исследования в агрохимии и агроэкологии / О.М. Бердников, Л.М. Скачок, Л.В. Потапенко, Т.Б. Милютенко // Сборник научных трудов ННЦ «Институт земледелия». – 2013. – Вып. 1–2. – С. 38–45.
8. Аринушкина, Е.Н. Руководство по химическому анализу почв / Е.Н. Аринушкина. – 2-е изд. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 487 с.
9. Рекомендації з ефективного застосування мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур / С.І. Мельник [та ін.]. – Київ, 2007. – 53 с.
10. Панников, В.Д. Лизиметрия – эффективный метод агрохимических исследований / В.Д. Панников // Сельское хозяйство за рубежом. – 1980. – № 6. – С. 2–7.
11. Мазур, Г.А. Вплив вапнування і тривалого удобрення на врожайність культур сівозміни в умовах західного Полісся / Г.А. Мазур, В.М. Польовий, М.М. Лаврук // Науковий вісник Національного аграрного університету. – Київ, 2005. – Вип. 91. – С. 60–65.
12. Кулаковская, Т.Н. Минеральные удобрения и плодородие почв / Т.Н. Кулаковская // Плодородие почвы и урожай. – Вильнюс: Периодика, 1974. – С. 82–90.
13. Трускавецький, Р.С. Основи управління родючістю ґрунтів / Р.С. Трускавецький, Ю.Л. Цапко. – Харків: ФОП Бровін О.В., 2016. – 388 с.
14. Сипко, А.О. Відтворення вмісту гумусу слабо-кислому сірому лісовому ґрунті за хімічної меліорації в умовах Правобережного Лісостепу / А.О. Сипко, Г.С. Гончарук // Вісник аграрної науки. – 2014. – № 1. – С. 55–58.

## **ECOLOGICAL AND AGROCHEMICAL ASSESSMENT OF FARMING ON THE SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOILS OF UKRAINIAN POLISSYA**

**M.M. Miroshnychenko, A.M. Berdnykov, L.V. Potapenko,  
E.P. Chmel, M.N. Parkhomenko**

### **Summary**

The studies were carried out in the stationary lysimetric system with soddy-podzolic sandy loam soils of Ukrainian Polissya in 2006–2013. The effect of individual crops, fertilizer systems, calcium-containing mutters and inoculation of seeds on the infiltration losses of moisture, water-soluble organic matter and nutrients (N, P, K, Ca, Mg) has been studied. The largest losses were in the soil under steam and tilled crops so as under the mineral and organic fertilizer system. Ways of regulation the balance of moisture

and biogenic elements in sod-podzolic sandy loamy soils have been determined. From the point of view of resource saving, the best technological methods are the increase of winter cereals in crop rotation, using the green manure, inoculation of the seeds and application of calcium-containing matters by the half of norm every 5 years or quarter of the norm every year.

УДК 635.25:631.17:631.8

## **СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В РАСТЕНИЯХ И ВЫНОС ИХ С УРОЖАЕМ ЛУКА РЕПЧАТОГО**

**И.Н. Гордиенко, Р.П. Гладких**

*Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева,  
г. Харьков, Украина*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Условия минерального питания влияют не только на урожай, но и на содержание и соотношение питательных элементов в растениях. Многие исследования посвящены вопросу использования овощными растениями питательных веществ.

Внесение минеральных и органических удобрений, способствуют повышению содержания азота, фосфора и калия во всех культурах и особенно при внесении полного минерального удобрения (NPK) [1].

Лук репчатый – одно из самых требовательных овощных растений к питательным веществам. На 100 ц товарного урожая использует 25–54 кг азота, 11–17 кг фосфора и 17–45 кг калия. Прибавка урожайности лука от удобрений составляет 66–70 ц/га без снижения качества продукции [2, 3, 4].

Потребление растениями элементов минерального питания является сложным физиологическим процессом, который зависит от биологических особенностей растения и условий окружающей среды, в которой развивается растительный организм. Сильное влияние на вынос питательных веществ имеют и погодные условия, особенно засуха, резко снижает сбор товарной продукции, тем самым вызывает повышение расхода азота, фосфора и калия на формирование единицы урожая, потому что элементы, которые поступают в растение, далеко не полностью используются в процессах фотосинтеза. Установлено, что в благоприятные годы усвоения азота из почвы под влиянием внесения азотных удобрений было более интенсивным, чем в засушливые. Вместе с тем с повышением уровня азотного питания растений увеличивается поступление в растение фосфора и калия. В благоприятных погодных условий достигается экономное использования элементов питания. В практических целях чаще всего потребность растений в питательных веществах характеризуют их выносом, имея в виду при этом величину хозяйственного выноса элементов минерального питания, отчуждаемых из почвы с фактически собранным урожаем [5]. Величина выноса азота, фосфора и калия на формирование единицы основной продукции и соответствующего количества

побочной на практике позволяет установить оптимальную норму удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур с учетом их потребности и почвенно-климатических условий [6]. Поэтому, определение величины выноса в длительных полевых опытах является весьма актуальным.

Цель исследований – определить влияние различных систем внесения удобрений на вынос основных элементов питания и формирования урожая лука репчатого.

## МЕТОДИКА И ОБЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2000–2002 гг. в длительном стационарном опыте (с 1968 г.) в лаборатории агрохимии Института овощеводства и бахчеводства Национальной академии аграрных наук Украины. Почва опытного участка – чернозем типичный малогумусный. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы перед началом опыта были такими: содержание гумуса – 4,7–4,8%, сумма поглощенных оснований – 26,0–28,7 мг/экв., гидролитическая кислотность – 3,4–4,0 мг/экв на 100 г почвы, степень насыщенности основаниями – 86,6–89,4%, подвижного фосфора – 10,2–11,0 и обменного калия – 17,1–18,1 мг/100 г почвы [6].

В стационарном опыте удобрения вносили по схеме: 1. Без удобрений (контроль); 2. Навоз + NPK; 3. Навоз + NPK; 4. Навоз; 5. NPK; 6 Навоз + NPK; 8. Навоз + NPK; 9. Навоз + 1/2 NPK; 10. Навоз + 1/2 NPK; 11. Навоз +1/4 NPK; 12. Навоз.

Использовали такие удобрения: полуперепревший навоз крупного рогатого скота, перегной, аммиачную селитру, суперфосфат гранулированный, калий хлористый. Чередование культур в 9-ти польном овощекормовом севообороте: ячмень с подсевом многолетних трав (люцерна), трава 1 года, трава 2 года, огурец, ярая пшеница, лук, помидор, капуста поздняя, столовые корнеплоды.

Осенью 1999, 2000 и 2001 гг. под лук вносили перегной в вар. 6, 7 из расчета 36 т/га; вар. 8, 11 – 21 т/га; вар. 9 – 7 т/га; вар.10 – 14 т/га; вар. 12 – 28 т/га; навоз вносили под предшествующую культуру (огурец) в вар. 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 и 12 согласно схемы опыта.

Под лук вносили оптимальную дозу минеральных удобрений –  $N_{90}P_{90}K_{90}$  вразброс под вспашку на зябь на глубину 23–25 см в уменьшенных в 2 и 4 раза ( $N_{45}P_{45}K_{45}$  и  $N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$ ) локально весной перед посевом с заделкой на глубину – 5–6 см.

В надземной массе растений и луковицах с одной вытяжки определяли содержание общего азота, фосфора и калия после мокрого озоления: азот – объемным методом по Кельдалю, фосфор – по Денеже колориметрически с серным гидразином, калий – на пламенном фотометре, сухое вещество – высушиванием при 105 °С.

Исследования проводили с острым сортом лука Золотистый.

Общая площадь делянки – 58,8 м<sup>2</sup> (8,4 × 7), учетная – 23,5 м<sup>2</sup> (5,6 × 4,2). Повторность вариантов в опыте 4-кратная. Предпосевную обработку почвы, посев, уход за растениями и уборку урожая осуществляли в соответствии ДСТУ 6012-2008 [7].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты наших исследований показали, что на всех удобренных вариантах урожайность лука была значительно выше (на 3,7–6,0 т/га, или на 25,9–42,0 %), чем на контроле без удобрений, где она составила 14,3 т/га и была самой низкой в опыте (табл. 1).

Таблица 1

## Влияние удобрений на урожай и качество лука репчатого

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка урожая		Сухое вещество, %	Общий сахар, %	Аскорбиновая кислота, мг %	Нитраты, мг/кг сырой массы
		т/га	%				
1. Без удобрений (контроль)	14,3	–	–	10,35	7,73	7,09	83
2. Последействие 7т/га навоза + N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	18,0	3,7	25,9	11,7	8,07	6,54	107
3. Последействие 14т/га навоза + N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	19,6	5,3	37,1	10,80	8,07	7,24	146
4. Последействие 21т/га навоза	19,0	4,7	32,9	11,39	8,47	6,40	167
5. N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	19,7	5,4	37,8	11,19	8,28	7,15	193
6. 36 т/га перегноя	18,2	3,9	27,3	10,55	8,26	6,81	200
7. 36 т/га перегноя + N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	18,0	3,7	25,9	11,28	8,38	6,79	204
8. 21 т/га перегноя + N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	18,2	3,9	27,3	11,15	8,64	7,18	251
9. 7 т/га перегноя + N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	18,5	4,2	29,4	11,48	8,36	6,24	249
10. 14 т/га перегноя + N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	19,7	5,4	37,8	11,33	7,98	6,58	248
11. 21 т/га перегноя + N <sub>22,5</sub> P <sub>22,5</sub> K <sub>22,5</sub>	20,3	6,0	42,0	11,16	8,09	7,04	263
12. Последействие 28 т/га перегноя	19,1	4,8	33,6	11,78	8,58	7,24	263
НСР <sub>05</sub>		2,7	–	1,25	0,74	1,16	103

В варианте с внесением только минеральных удобрений в дозе N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> (вар. 5) получили существенную прибавку урожая 5,4 т/га, или 37,8 %, что было выше, чем по последействию 7 и 14 т/га навоза (вар. 2 и 3). Внесение под лук 14 т/га перегноя с 1/2 дозы минеральных удобрений (вар. 10) локально по урожайности не уступала варианту 5 с полной дозой минеральных удобрений вразброс (N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>).

Наибольшую прибавку урожая (6,0 т/га, или 42,0 %) получено при внесении 21 т/га перегноя и 1/4 дозы минеральных удобрений (N<sub>22,5</sub>P<sub>22,5</sub>K<sub>22,5</sub>) локально (вар. 11).

Лук репчатый также эффективно использует последействие 21 и 28 т/га навоза (вар. 4 и 12), прибавка урожая составила 4,7–4,8 т/га при НСР<sub>05</sub> 2,7.

При внесении 36 т/га перегноя, а также от совместного применения 36, 21 и 7 т/га перегноя с 1/2 дозой минеральных удобрений урожайность в этих вариантах колебалась от 18,0 до 18,5 т/га и была на уровне варианта 2.

В вариантах с применением удобрений сухого вещества было в пределах от 10,5 % до 12,3 %, общего сахара – от 7,4 % до 8,4 %, аскорбиновой кислоты – от 6,2 до 7,5 мг %. Все системы удобрения способствовали повышению содержания нитратов в луковицах до 107–263 мг/кг сырого вещества (в контроле без удобрений – 83 мг/кг сырого вещества) при ПДК 90 мг/кг сырой массы.

Для теоретического обоснования эффективных систем удобрений определяли содержание питательных элементов в продуктивной и непродуктивной частях урожая (табл. 2).

В среднем за годы исследований содержание азота в луковицах колебалось в пределах 2,10–3,37%, фосфора – 0,90–1,05%, калия – 1,78–2,50%, в листовой массе соответственно 2,16–2,24%, 0,58–0,63 и 1,67–2,85%.

Содержание азота по вариантам опыта изменялось в интервале 2,10–3,37%, фосфора – 0,58–1,05 %, а калия – 1,67–2,85%. Наблюдалась тенденция к уменьшению содержания азота в луковицах в варианте с внесением удобрений. Отмечено, что минеральные и органические удобрения не оказывали влияния на содержание фосфора в луковицах и листовой массе растений.

От внесения минеральных удобрений в дозе  $N_{90}P_{90}K_{90}$  количество калия в луковицах в сравнении с контролем возросло на 0,34 %, а в листьях – на 0,81 %. В варианте с внесением под лук 36 т/га перегноя этот показатель увеличился на 0,56% в луковицах и на 0,95% в листьях.

Таблица 2

**Содержание азота, фосфора и калия в растениях лука репчатого, вынос и потребление на 10 т товарного урожая**

Вариант	Урожайность, т/га	Содержание в продуктивной части урожая, %			Содержание в непродуктивной части урожая, %			Вынос питательных элементов, кг/га			Использование на 10 т товарного урожая, кг		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1. Без удобрений (контроль)	14,3	3,37	1,05	1,74	2,21	0,6	1,67	44	18	35	31	13	24
3. Последствие 14 т/га навоза + $N_{90}P_{90}K_{90}$ вразброс	19,6	2,10	0,91	2,02	2,16	0,61	2,65	62	25	66	32	13	34
5. $N_{90}P_{90}K_{90}$ вразброс	19,7	2,40	0,98	2,08	2,24	0,58	2,48	70	26	65	36	13	32
6. 36 т/га перегноя	18,2	2,30	0,90	2,30	2,23	0,61	2,62	64	27	73	38	15	40
10. 14 т/га перегноя + $N_{45}P_{45}K_{45}$ локально	19,7	2,35	1,01	2,50	2,23	0,63	2,85	64	29	84	33	15	43

Наибольшее содержание калия обеспечило внесение 14 т/га перегноя с 1/2 дозой минеральных удобрений ( $N_{45}P_{45}K_{45}$ ) – 2,50 % в луковицах и 2,85 % в листьях, что на 0,76 кг и на 1,18 кг/га больше, чем на контроле.

Вынос элементов питания товарной и нетоварной продукцией увеличивается после внесения удобрений. При этом относительный вынос азота и калия был значительно больше, чем фосфора.

Так, вынос элементов питания с 1 га в среднем за годы исследований в варианте опыта без удобрений составил: N – 44 кг, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 18 и K<sub>2</sub>O – 35 кг.

От внесения полного минерального удобрения в дозе N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> показатель выноса увеличился: азота до 70 кг, фосфора и калия до 26 и 65 кг соответственно.

Применение минеральных удобрений по фону последствий 14 т/га навоза (огурец) не влияло на эти показатели.

Вынос азота и фосфора в вариантах с внесением 36 т/га перегноя и 14 т/га перегноя с уменьшенной на 1/2 дозой минеральных удобрений (N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub>) оставался почти на одном уровне и не превышал 64 и 29 кг соответственно. Наибольший относительный вынос калия (84 кг/га) был в варианте опыта, где вносили 14 т/га перегноя совместно с N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub>.

В контрольном варианте на формирование 10 т товарной продукции лука репчатого расходуется 31 кг азота, 13 кг фосфора и 24 кг калия. Потребление азота и фосфора в зависимости от системы удобрения почти не изменялось и колебалось в пределах 32–38 кг/га и 13–15 кг/га. Потребление калия существенно увеличивалось при использовании 34 т/га перегноя (вар. 6) и 14 т/га перегноя + N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> (вар. 10).

## ВЫВОДЫ

Внесение минеральных и органических удобрений способствует росту товарной урожайности лука репчатого. Самый высокий уровень урожайности лука 19,7–20,3 т/га получен при внесении N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> вразброс, а также 14 и 21 т/га перегноя совместно с N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> и N<sub>22,5</sub>P<sub>22,5</sub>K<sub>22,5</sub> локально в рядок соответственно [10].

С повышением уровня урожайности растет вынос элементов питания. Наибольший относительный вынос калия (84 кг/га) был в варианте опыта, где вносили 14 т/га перегноя с N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> локально.

При внесении полной дозы минеральных удобрений N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> вразброс растения лука на формирование 10 т товарной продукции используют 36 кг азота, 13 кг фосфора и 32 кг калия. При внесении половинной дозы минеральных удобрений (N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub>) локальным способом совместно с 14 т/га перегноя возросло использование калия до 43 кг.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гончаренко, В.Е.* Вынос питательных веществ единицей продукции сельскохозяйственных культур / В.Е. Гончаренко, Л.А. Ткач, Л.П. Ходеева // Нормативные показатели выносов и коэффициентов использования питательных веществ сельскохозяйственными культурами из минеральных удобрений и почвы. – М., 1986. – С. 60–63.
2. *Ходеева, Л.П.* Оптимизация питательного режима почвы и повышения урожайности лука репки в зависимости от применения удобрений / Л.П. Ходеева // Вестник аграрной науки. – 1998. – 2 с.
3. *Васюта, В.* Интенсивная технология выращивания лука репчатого в степной зоне Украины / В. Васюта, Ю. Лютая // Овощеводство. – 2004. – № 10–11. – С. 37–39.

4. *Гордиенко, И.Н.* Продуктивность лука в зависимости от системы удобрения / И.Н. Гордиенко, Р.П. Гладких // Вестник Сумского национального аграрного университета. Агрономия и биология. – № 7 – С. 97–101.

5. Земледелие с основами почвоведения и агрохимии / В.П. Гудзь [и др.]. – 2-е изд., перераб. и дополн. – К.: Центр учебной литературы, 2007. 408 с.

6. *Марчук, И.У.* Удобрения и их использование / И.В. Марчук, В.М. Макаренко, В.Е. Розстальный. – М.: Аристей, 2014. – 263 с

7. ДСТУ 6012-2008 Лук. Технология выращивания. Общие требования.

## **NUTRIENTS CONTENT IN PLANTS AND THEIR REMOVAL WITH THE ONION HARVEST**

**I.N. Gordienko, R.P. Gladkih**

### **Summary**

There was investigated the quantity of consumption of basic nutrients by onions in this article. It was determined that the increase in the yield level increases the removal of nutrition elements. It was noted that by applying the full dose of mineral fertilizers  $N_{90}P_{90}K_{90}$  separately, for the onion plant by forming 10 tons of commercial products 36 kg of nitrogen, 13 kg of phosphorus and 32 kg of potassium were used. The use of elements, by applying  $N_{90}P_{90}K_{90}$  with aftereffect 14 t/ha of manure was not changed significantly, and by applying a half dose of mineral fertilizers ( $N_{45}P_{45}K_{45}$ ) locally, together with 14 t/ha of humus, the use of potassium increased to 43 kg.

*Поступила 03.04.17*

УДК 633.791:631.535:631.811.982:631.589.3

## **ВЛИЯНИЕ СУБСТРАТА И КОНЦЕНТРАЦИИ АУКСИНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЧЕРЕНКОВАНИЯ ОЗДОРОВЛЕННЫХ IN VITRO РАСТЕНИЙ ХМЕЛЯ НА СТАДИИ АДАПТАЦИИ EX VITRO**

**О.А. Гашенко, М.С. Кастрицкая, Н.В. Кухарчик**

*Институт плодоводства,  
аг. Самохваловичи, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В хмелеводстве к посадочному материалу предъявляют особые требования. Изреженность хмельников наблюдается, в основном, в первый год после посадки, частичная причина этого – недоброкачественный посадочный материал. Посадка стандартными саженцами обеспечивает стопроцентную густоту стояния растений, урожайность хмеля в первый же год жизни может достичь до 5–7 ц/га

и при высокой агротехнике возделывания в течение всего периода эксплуатации не снижаться ниже 10 ц/га [1].

Хмель относится к культурам с небольшим коэффициентом размножения. Со стандартного куста хмеля можно заготовить до 4 стеблевых черенков или 12–13 тыс. шт./га, в т.ч. 9 тыс. шт./га – стандартных. Для ускоренного размножения хмеля используют метод выращивания саженцев из зеленых черенков. Суть метода в том, что заготовленные из зеленых побегов черенки укореняются при высокой влажности почвы и воздуха под пленочными укрытиями в течение трех недель. В дальнейшем укорененные черенки растут и развиваются до формирования саженцев в условиях открытого грунта. При таком способе выращивания посадочного материала вегетационный период растений после начала корнеобразования черенков составляет всего лишь 80–85 дней. В этот короткий период жизни саженцы не успевают формироваться до стандарта, у многих саженцев отсутствуют почки возобновления. Саженцы с хорошо развитой корневой системой, но без почек возобновлений при пересадке на хмельники плохо приживаются [1].

Наиболее полно можно реализовать потенциал бесполого размножения хмеля путем микроклонального размножения. Этот метод позволяет в сравнительно короткое время и в ограниченном пространстве получить многочисленное потомство и во много раз увеличить коэффициент размножения. Меристемы помещают в стерильные условия на подобранную для каждого вида растений и его сортов питательную среду, культивируют при высокой интенсивности освещения (2,5–3 тыс. лк) и оптимальной для роста температуре (+21...+23 °С). Этот способ в настоящее время перенесен в производство, что позволяет получать большое количество саженцев от одного растения. Несмотря на то, что метод *in vitro* дорогостоящий, он позволяет получать оздоровленный материал от пораженных вирусными, бактериальными и грибными болезнями растений [2, 3–6], а также возможность получать в больших количествах вегетативное потомство трудно размножаемых в обычных условиях сортов и видов растений [1, 7]. Посадочный материал следует заготавливать от типичных для каждого сорта растений [5].

Перенос выращенных в пробирках растений в нестерильные условия сопровождается интенсивным ростом и это позволяет еще в зимних условиях ускоренно размножать адаптируемые растения зелеными черенками. Однако следует учитывать, что в зимний период процесс корнеобразования заторможен и без применения ауксинов, укореняемость зеленых черенков невысокая. Для стимуляции корнеобразования, черенки можно обработать 3-индолилуксусной кислотой (60 мг/л) в течение 24 ч, при этом укореняемость зеленых черенков в зимних условиях достигает 90 %. Приживаемости зеленых черенков и выходу нормальных саженцев способствует также увеличение продолжительности светового дня (не менее 16 ч) [8].

Цель исследования – оценка влияния типа субстрата (агроперлит, БИОНА-311) и концентрации индолилмасляной кислоты (0, 10, 100 мг/л) на эффективность черенкования оздоровленных *in vitro* растений хмеля на стадии адаптации *ex vitro*.

## МЕТОДИКА И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в отделе биотехнологии РУП «Институт плодородства». Материалом для исследований служили черенки адаптированных растений-регенерантов хмеля сортов Рита, Tettnanger, Vor.

*Адаптация в условиях ex vitro.* Процесс адаптации растений-регенерантов после культуры in vitro проводили в два этапа:

1-й этап адаптации ex vitro (длительность 14–20 дней). Растения, укорененные в условиях in vitro, при адаптации высаживали на субстраты БИОНА-112 и агроперлит.

2-й этап адаптации (постадаптация) проводили на торфяном субстрате (длительность 35–45 дней).

В результате проведенной работы был получен посадочный материал хмеля с закрытой корневой системой, который в дальнейшем использовался для зеленого черенкования.

Для укоренения зеленых черенков в условиях ex vitro в качестве субстратов использовали агроперлит и БИОНА–311. Черенки высаживали в мини-парники 450×200×70. На каждый вид субстрата высаживали черенки, не обработанные раствором ИМК (контроль) и предварительно погруженные базальной частью в раствор ИМК в концентрации 10 мг/л (экспозиция 24 часа) и 100 мг/л (экспозиция 10 с). Условия укоренения: освещение – 2,5–3 тыс. лк, температура – +21...+23 °С, фотопериод – 16/8 ч. Длительность укоренения – 6 недель. Повторность опыта трехкратная, количество черенков на повторность – 10 шт.

Влияние типа субстрата и концентрации ИМК на морфологическое развитие черенков хмеля оценивали по следующим показателям: доля укоренившихся черенков (%), длина прироста (см), среднее количество корней (шт.), средняя длина корней (см).

Показатель коэффициент развития корневой системы вычисляли по формуле

$$N_{\text{корней}} \cdot L_{\text{корней}} / 10,$$

где  $N_{\text{корней}}$  – число корней на растение-регенерант;  $L_{\text{корней}}$  – средняя длина корней [9].

Статистическую обработку данных проводили в программе *Statistica 7.0*, используя ANOVA, двухфакторный анализ (первый фактор – тип субстрата, второй фактор – концентрация ИМК), критерий Дункана ( $p < 0,05$ ) для сравнения средних значений ( $n = 3$ ). Построение графиков проводили в программе *Microsoft Excel*.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Сорт Рита.** Получены хорошие результаты в контрольных вариантах опыта по укоренению черенков сорта Рита на обоих типах субстрата без использования ИМК (93,33 % и 96,67 %). Применение ИМК в концентрации 100 мг/л на БИОНА-311 увеличило выход укоренившихся черенков до 100 %. Однако, при использовании ИМК в низкой концентрации 10 мг/л (экспозиция 24 часа) доля укоренившихся черенков на БИОНА-311 была низкой (83,33 %) и достоверно отличалась от всех вариантов опыта. При укоренении на агроперлите влияние ИМК на долю укорененных черенков не выявлено (рис. 1). Вероятно, растения

хмеля сорта Рита обладают высоким уровнем эндогенных ауксинов, что способствует хорошему ризогенезу зеленых черенков без использования экзогенных регуляторов.

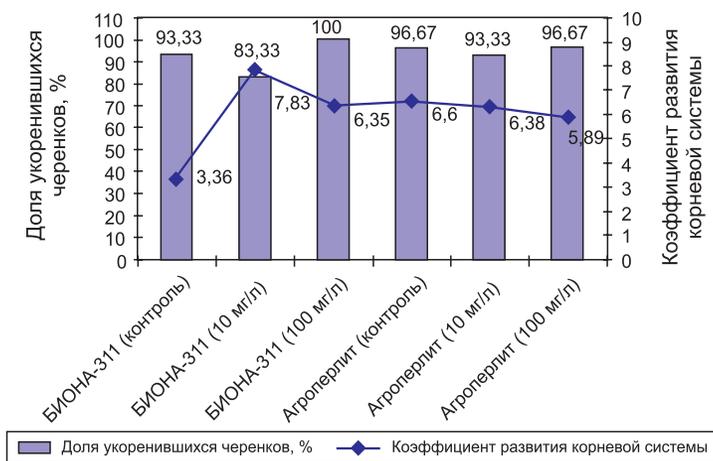


Рис. 1. Эффективность укоренения черенков хмеля сорта Рита

Выявлены отличия в морфологическом развитии черенков данного сорта в разных вариантах опыта. Установлено достоверное влияние типа субстрата ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,05$ ), концентрации ИМК ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,001$ ) и двух факторов вместе ( $p < 0,01$ ) на длину прироста черенков и среднее количество корней. Ни один из выше указанных факторов не оказывал влияния на среднюю длину корней.

Использование ИМК стимулировало закладку корневых зачатков, что отчетливо видно на субстрате БИОНА-311, где при использовании ИМК (10 и 100 мг/л) среднее количество корней на черенок увеличилось на 19,33 и 9,67 шт. соответственно по сравнению с контролем (10 шт.). На агроперлите данная тенденция сохраняется, но достоверной разницы по вариантам опыта уже нет. Средняя длина корней у черенков достоверно не отличалась по вариантам опыта и варьировала от  $2,33 \pm 0,54$  до  $3,53 \pm 0,24$  см (табл. 1). В целом коэффициент развития корневой системы у черенков сорта Рита во всех вариантах опыта, за исключением контрольного варианта на субстрате БИОНА-311 (3,36), был высокий – от 5,89 до 7,83.

Таблица 1

**Влияние концентрации ИМК и типа субстрата на морфологические показатели развития зеленых черенков сорта Рита (сред. знач.  $\pm$  станд. ошибка)**

Субстрат	Концентрация ИМК, мг/л	Длина прироста, см	Среднее количество корней, шт.	Средняя длина корней, см
БИОНА-311	0 (контроль)	$5,33 \pm 0,28$ b	$10,00 \pm 0,58$ d	$3,53 \pm 0,24$ a
	10	$4,90 \pm 0,46$ b	$29,33 \pm 3,28$ c	$2,67 \pm 0,34$ a
	100	$3,73 \pm 0,69$ ab	$19,67 \pm 1,33$ a	$3,27 \pm 0,49$ a
Агроперлит	0 (контроль)	$2,43 \pm 0,47$ a	$20,33 \pm 0,33$ ab	$3,20 \pm 0,25$ a
	10	$0,13 \pm 0,13$ c	$25,67 \pm 2,33$ bc	$2,50 \pm 0,06$ a
	100	$2,70 \pm 0,70$ a	$24,00 \pm 1,00$ abc	$2,33 \pm 0,54$ a

Примечание. Данные с одинаковыми буквами по столбцам статистически не различаются при  $p < 0,05$  (критерий Дункана).

Преимуществом микроукоренения на субстрате БИОНА-311 черенков сорта Рита является интенсивное развитие их наземной части. Так средняя длина прироста черенков на ионообменном субстрате варьировала от  $3,73 \pm 0,69$  до  $5,33 \pm 0,28$  см, тогда как на агроперлите от  $0,13 \pm 0,13$  до  $2,70 \pm 0,70$  см, что можно объяснить высоким содержанием макро- и микроэлементов в ионообменном субстрате по сравнению с «бедным» агроперлитом.

**Сорт Tettnanger.** Процент укоренения черенков сорта Tettnanger на субстратах БИОНА-311 и агроперлит без использования ИМК (контроль) составил 86,67 % и 80,0 %. Использование ИМК в концентрации 10 мг/л (экспозиция 24 часа) вело к снижению доли укоренившихся черенков до 76,67 % на субстрате БИОНА-311 и до 60,0 % на субстрате агроперлит, хотя дальнейшее увеличение концентрации до 100 мг/л увеличивало этот показатель до 96,67 % и 86,67 % соответственно (рис. 2).

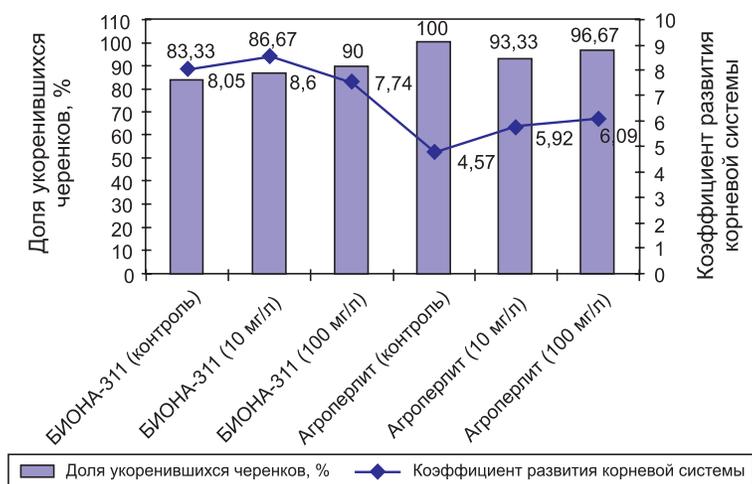


Рис. 2. Эффективность укоренения черенков хмеля сорта Tettnanger

Коэффициент развития корневой системы черенков во всех вариантах опыта был высокий (не менее 4,09) и достоверно не отличался по вариантам опыта (рис. 2). Использование субстрата БИОНА-311 не вело к интенсивному развитию корневой системы черенков (образование большого количества корней и удлинение корневой системы) по сравнению с агроперлитом, хотя в литературе отмечается, что ионообменные субстраты положительно влияют на развитие корневой системы, что связано с труднодоступностью элементов минерального питания, содержащихся в частичках ионита [10]. Но, следует отметить интенсивное развитие наземной части черенков на ионообменном субстрате. Прирост черенков в контрольном варианте составил  $4,97 \pm 0,64$  см и при использовании ИМК в высокой концентрации в качестве корнестимулятора –  $5,80 \pm 0,50$  см, что достоверно превышало прирост черенков в вариантах опыта на агроперлите как в контроле ( $1,93 \pm 0,55$  см), так и с использованием ИМК в двух концентрациях ( $1,33 \pm 0,29$ ;  $1,80 \pm 0,38$ ) (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние концентрации ИМК и типа субстрата на морфологические показатели развития зеленых черенков сорта Tettnanger (сред. знач. ± станд. ошибка)**

Субстрат	Концентрация ИМК, мг/л	Длина прироста, см	Среднее количество корней, шт.	Средняя длина корней, см
БИОНА-311	0 (контроль)	4,97±0,64 <sup>b</sup>	12,33±1,86 <sup>a</sup>	3,67±0,29 <sup>a</sup>
	10	2,63±0,37 <sup>a</sup>	22,33±1,76 <sup>b</sup>	2,87±0,26 <sup>a</sup>
	100	5,80±0,50 <sup>b</sup>	15,00±0,58 <sup>a</sup>	4,03±0,41 <sup>a</sup>
Агроперлит	0 (контроль)	1,93±0,55 <sup>a</sup>	12,33±1,33 <sup>a</sup>	3,30±0,36 <sup>a</sup>
	10	1,33±0,29 <sup>a</sup>	16,00±1,53 <sup>a</sup>	3,00±0,52 <sup>a</sup>
	100	1,80±0,38 <sup>a</sup>	12,33±1,20 <sup>a</sup>	3,47±0,18 <sup>a</sup>

Примечание. Данные с одинаковыми буквами по столбцам статистически не различаются при  $p < 0,05$  (критерий Дункана).

**Сорт Вог.** Получены хорошие результаты и по укоренению черенков хмеля сорта Вог. На субстрате БИОНА-311 доля укоренившихся черенков составила от 83,33 % до 90,00 %. Максимальный выход укорененных черенков наблюдали при использовании субстрата агроперлит в сочетании как с обработкой, так и без обработки черенков ИМК (93,33–100 %) (рис. 3).

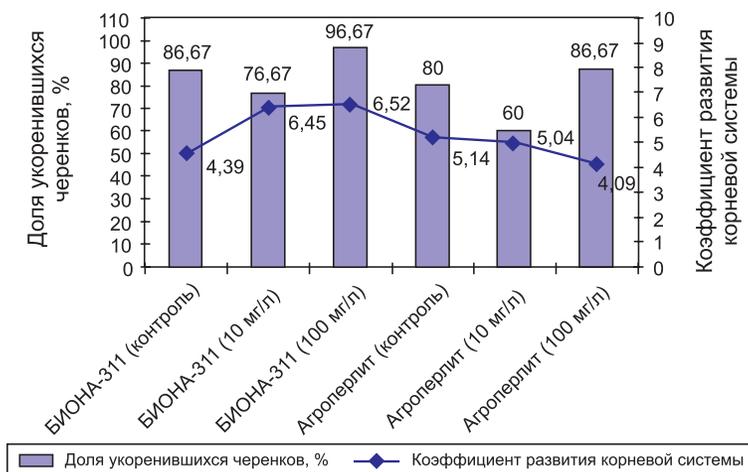


Рис. 3. Эффективность укоренения черенков хмеля сорта Вог

Установлено достоверное влияние типа субстрата ( $p < 0,001$ ) на длину прироста и среднюю длину корней черенков сорта Вог, а также достоверное влияние оказал тип субстрата ( $p < 0,001$ ), концентрация ИМК ( $p < 0,001$ ) и совместное действие двух факторов ( $p < 0,05$ ) на количество корней черенков сорта Вог.

У хмеля сорта Вог, как и у сортов Рита и Tettnanger, наблюдается интенсивное развитие наземной части черенков при укоренении на субстрате БИОНА-311 (прирост черенков составил от  $4,10 \pm 0,61$  до  $4,97 \pm 0,79$  см). Прирост черенков на агроперлите был достоверно ниже, чем на ионообменном субстрате, всего  $0,07 \pm 0,07 - 0,43 \pm 0,03$  см в зависимости от варианта опыта. У сорта Вог ионообменный субстрат положительно влиял на рост корневой системы (средняя длина корней в 2 раза больше, чем на агроперлите), что в целом вылилось в высокие

показатели коэффициента развития корневой системы черенков на данном типе субстрата (от 7,74 до 8,60). Коэффициент развития корневой системы черенков на агроперлите не превысил 6,09 (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние концентрации ИМК и типа субстрата на морфологические показатели развития зеленых черенков сорта Вог (сред. знач.±станд. ошибка)**

Субстрат	Концентрация ИМК, мг/л	Длина прироста, см	Среднее количество корней, шт.	Средняя длина корней, см
БИОНА-311	0 (контроль)	4,97±0,39 <sup>b</sup>	18,67±0,67 <sup>ab</sup>	4,03±0,09 <sup>b</sup>
	10	4,10±0,61 <sup>b</sup>	20,33±1,20 <sup>b</sup>	4,33±0,49 <sup>b</sup>
	100	4,97±0,79 <sup>b</sup>	15,67±1,45 <sup>a</sup>	4,77±0,64 <sup>b</sup>
Агроперлит	0 (контроль)	0,13±0,13 <sup>a</sup>	17,33±1,20 <sup>ab</sup>	2,67±0,12 <sup>a</sup>
	10	0,07±0,07 <sup>a</sup>	28,00±1,53 <sup>c</sup>	2,13±0,22 <sup>a</sup>
	100	0,43±0,03 <sup>a</sup>	24,67±1,20 <sup>c</sup>	2,43±0,38 <sup>a</sup>

*Примечание.* Данные с одинаковыми буквами по столбцам статистически не различаются при  $p < 0,05$  (критерий Дункана).

Проведена оценка стоимости укорененных черенков хмеля, полученных с оздоровленных в культуре *in vitro* и адаптированных растений, при использовании ионообменного субстрата БИОНА-311 и агроперлита (табл. 4). В расчете учитывалась эффективность черенкования оздоровленных *in vitro* растений хмеля на стадии адаптации *ex vitro* составляющая, в среднем по субстратам, 90,19 %, а также стоимость адаптированного растения и количество получаемых с него черенков, установленные в предыдущих исследованиях.

Таблица 4

**Расчет себестоимости черенкования оздоровленных *in vitro* растений хмеля на стадии адаптации *ex vitro* (за 2016 г.)**

Статья затрат	Единицы измерения	Количество	Стоимость единицы, руб.	Итого, руб.
Зар. плата мл. науч. сотрудника (с начислениями)	месяцев	1,5	341,58	512,37
Электроэнергия (на 1000 растений)	кВт	315	0,22223	70,00245
Амортизационные отчисления	месяцев	1,5	15,0	22,5
Водоснабжение, водоотведение	куб. м	4	1,2804	5,1216
	куб. м	4	1,0932	4,3728
Стоимость 1-го адаптированного растения	шт.	150	3,0	450,00
Стоимость субстратов для черенкования на 1000 черенков	кг	14 БИОНА-311	39,0	546,00
	л	30 Агроперлит	1,25	37,50
Расходные материалы				200,00
Стоимость укоренения 1000 черенков хмеля при 90,19 % приживаемости (в среднем по субстратам)	БИОНА-311			1987,96
	Агроперлит			1429,58
Накладные расходы 40%	БИОНА-311			795,18
	Агроперлит			571,83
Стоимость 1 растения	БИОНА-311			2,78
	Агроперлит			2,00

Таким образом, в ходе проведенных исследований видно, что стоимость адаптированного растения (использованного для черенкования) составляет 3,0 белорусских рубля, а на укоренение 1 черенка было затрачено 2,78 белорусских рублей (на субстрате БИОНА-311) и 2,0 рубля (на агроперлите). Следовательно, стоимость 1 черенка укорененного на субстрате БИОНА-311 уменьшается на 7,3 %, а на агроперлите – 33,3 %. Следует отметить, что субстрат БИОНА-311 является дорогостоящим по сравнению с агроперлитом, и использование последнего является экономически обоснованным. Эффективность черенкования такой культуры как хмель, после размножения в культуре *in vitro*, позволяет ускорить процесс получения оздоровленного посадочного материала и снизить его стоимость при сохранении фитосанитарного состояния.

## ВЫВОДЫ

1. Показана высокая укореняемость зеленых черенков хмеля, полученных от растений, выращенных в культуре *in vitro*, сортов Рита, Tettnanger, Vog на субстратах БИОНА-311 и агроперлит (от 60 % до 100 %). Укоренение зеленых черенков хмеля у всех сортов без применения ИМК, в качестве стимулятора ризогенеза, было не ниже 80 %, что может свидетельствовать о высоком уровне эндогенных ауксинов у растений хмеля этих сортов.

2. Преимуществом использования субстрата БИОНА-311 при укоренении зеленых черенков хмеля сортов Рита, Tettnanger, Vog, по сравнению с агроперлитом, является интенсивное развитие наземной части черенков. Однозначного влияния ионообменного субстрата на развитие корневой системы черенков, по сравнению с агроперлитом, не наблюдалось.

3. Использование субстрата агроперлит для черенкования адаптированных растений хмеля позволяет ускорить процесс получения оздоровленного посадочного материала и снизить его стоимость.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гаврилова, С.Е.* Эффективность применения биопрепаратов при выращивании посадочного материала хмеля / С.Е. Гаврилова // Актуальные вопросы развития аграрной науки в современных экономических условиях: материалы IV–й Междунар. научно-практич. конф., Волгоград, 22–23 мая 2015 г. / ФГБОУ высшего профессионального образования «Волгоградский государственный аграрный университет»; редкол.: В.П. Зволинский (гл. ред.) [и др.]. – Волгоград, 2015. – С. 82–85.

2. *Высоцкий, В.А.* Использование биотехнологических методов при оздоровлении посадочного материала / В.А. Высоцкий // Актуальные вопросы теории и практики защиты плодовых и ягодных культур от вредных организмов в условиях многоукладности сельского хозяйства: тезисы докладов Всероссийского совещания, Москва, Загорье, 3–6 мар. 1998 г. / Рос. Акад. сельскохозяйственных наук, ВСТИСиП; редкол.: В.И. Кашин [и др.]. – М., 1998. – С. 74–76.

3. Микроклональное размножение и производство посадочного материала плодовых и ягодных культур высших категорий качества / М.И. Джигадло [и др.]. // *The Biology of Plant Cells In Vitro and Biotechnology: 8<sup>th</sup>Int. Conf.*, Saratov,

Russia, 9–13 Sept. 2003 / Российская Академия наук, Ин-т физиологии растений им. К.А. Тимирязева, Ин-т биохимии и физиологии растений и микроорганизмов, саратовский гос. ун-т, Об-во физиологов растений России; редкол.: А.М. Носов, О.И. Соколов, А.В. Носов. – Саратов, 2003. – С. 108–109.

4. *Кашин, В.И.* Перспективы использования биотехнологических приемов в создании новых высокоадаптивных форм плодовых и ягодных растений / В.И. Кашин, В.А. Высоцкий // Использование биотехнологических методов для решения генетико-селекционных проблем: сборник докладов и сообщений XVIII Мичуринских чтений, Мичуринск, 27–29 окт. 1997г. / Росс. акад. наук, Всерос. науч.-исслед. ин-т генетики и селекции плод. раст. им. И.В. Мичурина; редкол.: Н.И. Савельев (гл. ред.) [и др.]. – Мичуринск, 1998. – С. 8–14.

5. *Милоста, Г.М.* Агробиологические основы выращивания хмеля в Республике Беларусь: монография / Г.М. Милоста, В.В. Лапа. – Гродно: ГГАУ, 2010. – 286 с.

6. *Тюленев, В.М.* Состояние и перспективы применения биотехнологических методов в селекции плодовых растений / В.М. Тюленев // Использование биотехнологических методов для решения генетико-селекционных проблем: сборник докладов и сообщений XVIII Мичуринских чтений, Мичуринск, 27–29 окт. 1997г. / Росс. акад. наук, Всерос. науч.-исслед. ин-т генетики и селекции плод. раст. им. И.В. Мичурина; редкол.: Савельев Н.И. (гл. ред.) [и др.]. – Мичуринск, 1998. – С. 3–8.

7. Клеточная технология в сельскохозяйственной науке / Г.С. Муромцев [и др.]. // Основы сельскохозяйственной биологии. – М.: Агропромиздат, 1990. – Гл. 2. – С. 154–235.

8. *Либацкий, Е.П.* Хмелеводство / Е.П. Либацкий // Учебники и учеб. пособия для подгот. сельхоз. кадров массовых профессий; под ред. Е.В. Колесникова. – М.: Колос, 1984. – 287 с.

9. *Hujun, J.* The study of meristem–tip culture of peach (*Prunuspersica*L.) / J. Hujun, P. Jishu, M. Xinfu // ActaAgr.Univ. Pekin. – 1993. – Vol. 19, № 1. – P. 49–52.

10. *Солдатов, В.С.* Ионитные почвы / В.С. Солдатов, Н.Г. Перышкина, Р.П. Хорошко. – Минск: Наука и техника, 1978. – 172 с.

## INFLUENCE OF SUBSTRATE AND AUXIN CONCENTRATION ON CUTTING EFFICIENCY OF IN VITRO DERIVED VIRUS-FREE HOP PLANTS AT EX VITRO ADAPTATION STAGE

O.A. Hashenko, M.S. Kastrytskaya, N.V. Kukharchyk

### Summary

The research purpose was to estimate the influence of substrate (agroperlite, BIONA-311) and indolylbutyric acid concentration (IBA 0, 10, 100 mg/l) on cutting efficiency of in vitro derived virus-free hop plants at ex vitro adaptation stage. The comparative analysis of cutting rooting of three hop cultivars on perlite and BIONA-311 has shown that amount of rooted cuttings on the studied substrates had varied from 60 % to 100 %. The best substrates and type of auxin treatment were chosen for three cultivars using the complex of parameters (percent of cutting rooting, quantity of roots, length of roots and stems, technological effectiveness of process).

Поступила 16.03.2017

## УЧАСТИЕ СОТРУДНИКОВ ИНСТИТУТА ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА БЕЛАРУСИ

Н.Ю. Жабровская<sup>1</sup>, И.Е. Жабровский<sup>2</sup>, Т.Н. Самосюк<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Институт почвоведения и агрохимии,  
г. Минск, Беларусь*

*<sup>2</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск, Беларусь*

Профессиональная подготовка специалистов агропромышленного комплекса в каждой стране является неотъемлемой частью аграрной политики, кадровый потенциал – определяющий фактор устойчивого экономического развития отрасли. По мнению многих специалистов и ученых спад сельскохозяйственного производства происходит не столько из-за нехватки финансовых ресурсов, сколько из-за отсутствия квалифицированных кадров в отрасли, их недостаточной профессиональной подготовки.

В Министерстве сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь сложилась отраслевая система повышения квалификации и переподготовки руководящих кадров и специалистов АПК, которая включает в себя: Институты повышения квалификации и переподготовки кадров АПК учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» и Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, факультеты повышения квалификации и переподготовки кадров Витебской государственной академии ветеринарной медицины, Гродненского государственного аграрного университета; Белорусский республиканский учебный центр МСХП. Повышение квалификации и переподготовка кадров в высших учреждениях образования осуществляется по 34 специальностям. В среднем за год повышают квалификацию около 14 тысяч руководителей и специалистов организаций АПК республики, что обеспечивает её прохождение не реже одного раза в 5 лет [1, 2]. Значимая роль в профессиональной подготовке кадров принадлежит Институту повышения квалификации и переподготовки кадров АПК Белорусского государственного аграрно-технического университета (БГАТУ), в котором образовательный процесс, организован с привлечением наиболее опытных и компетентных научных сотрудников, работающих в научно-исследовательских учреждениях аграрного отделения НАН Беларуси. Происходит интеграция образования и аграрной науки, что способствует повышению качества подготовки специалистов АПК.

Научные знания и современные энергосберегающие технологии аграрного производства являются основным фактором повышения производительности и эффективности труда, повышения конкурентоспособности производимой продукции. Сотрудниками научных организаций аграрного профиля НАН Беларуси разработаны и постоянно совершенствуются прогрессивные научно обоснованные

технологии ведения сельскохозяйственного производства, включающие использование высокопродуктивных сортов растений, системы эффективного применения новых форм удобрений и средств защиты. Инновационные технологии позволяют повысить урожайность и качество продукции, снизить трудовые и материальные затраты. Разработанные технологии могут использоваться при совершенствовании сельскохозяйственного производства, для научного обеспечения деятельности органов управления АПК, в процессе подготовки специалистов в профессиональных учреждениях образования, при проведении научных исследований.

Примером активного участия в профессиональной подготовке руководителей и специалистов АПК может служить привлечение в процесс обучения научных сотрудников Института почвоведения и агрохимии, входящего в аграрное отделение Национальной академии наук Беларуси.

Научно-исследовательская деятельность Института почвоведения и агрохимии направлена на развитие растениеводческой отрасли сельскохозяйственного производства Республики Беларусь. Большое внимание в исследованиях института уделяется изучению состава и свойств почв, классификации, картографированию и кадастровой оценке; изучению агрофизических свойств и биологической активности почв; разработке приемов по рациональному использованию эродированных и эрозионноопасных почв; мониторингу состояния плодородия почв и разработке комплексных агрохимических мероприятий по его повышению; изучению гумусового режима, баланса макро- и микроэлементов в почве; задаче максимального повышения эффективности использования минеральных, органических и микроудобрений для получения высоких, устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур с хорошим качеством конечной продукции, определению факторов риска или допустимых колебаний уровня урожая в зависимости от погодных условий.

В институте сосредоточены значительные научные кадры: 2 академика НАН Беларуси, доктора и кандидаты сельскохозяйственных наук. В институте работает высокопрофессиональный коллектив, созданы уникальные научные школы, получившие национальное и международное признание, внесшие существенный вклад в развитие науки и агропромышленный комплекс республики. Ученые института авторитетны в научном сопровождении количественного и качественного учета почвенных ресурсов, разработке мероприятий по повышению плодородия почв, вопросам эффективного использования удобрений и минерального питания растений, приемов и методов защиты почв от деградации. Предлагаемые к использованию научные разработки характеризуются достаточно высокой потенциальной эффективностью.

Из последних разработок следует выделить базовые модели ландшафтно-адаптивной противозерозионной организации территории в северной, центральной и южной провинциях Беларуси и технологические регламенты использования эрозионноопасных земель, отличительная особенность которых состоит в том, что впервые подбор культур и севооборотов, выбор системы удобрения и обработки почв основываются на нормативной оценке их противозерозионной способности (зав. лабораторией – кандидат с.-х. наук А.Ф. Черныш). Предложена методика агроэкологической типизации земель, подверженных водной и ветровой эрозии, позволяющая на примере типичных хозяйств формировать поля и рабочие уча-

стки, основанные на реальном почвенном покрове. Разноуровневая агроэкологическая оценка земель позволяет получить объективные данные о составе почв и структуре почвенного покрова, их мелиоративном и технологическом состоянии, определить факторы, лимитирующие эффективное и экологически безопасное землепользование.

На протяжении многих лет в институте проводится изучение почв республики, их состава и свойств, закономерностей распространения, совершенствование классификации и диагностики, методов почвенной картографии; осуществление почвенного районирования территории республики, методическое руководство работами по крупномасштабному картографированию почв, проведение мониторинговых исследований (зав. лабораторией – кандидат с.-х. наук Т.Н. Азаренок).

Лабораторией систем удобрения и питания растений (зав. лабораторией – академик В.В. Лапа) разработаны ресурсосберегающие технологии применения органических, минеральных макро- и микроудобрений под сельскохозяйственные культуры, обеспечивающие рациональное использование почвенных запасов элементов питания и окупаемость 1 кг NPK на уровне 10–12 кормовых единиц. Применение разработки в сельскохозяйственном производстве обеспечивает повышение окупаемости минеральных удобрений на 20 % за счет более рационального их использования в интервале доз, обеспечивающих повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и поддержание оптимального фосфатного и калийного режимов почв.

Сотрудниками лаборатории органического вещества почвы (зав. лабораторией – кандидат с.-х. наук Т.М. Серая) разрабатываются научно обоснованные системы оптимизации содержания органического вещества в дерново-подзолистых почвах, обеспечивающие улучшение агрофизических свойств, экологическую безопасность, экономическую эффективность; изучается баланс, динамика группового и фракционного состава гумуса при различных системах применения удобрений, эффективность различных видов и форм органических удобрений.

Для основного внесения рекомендованы комплексные минеральные удобрения для отдельных культур или групп культур, разработанные сотрудниками лаборатории новых форм удобрений и мелиорантов (зав. лабораторией – доктор с.-х. наук Г.В. Пироговская). Специализированные комплексные удобрения с оптимальным соотношением макро-, микроэлементов и биологически активных веществ для возделывания сельскохозяйственных культур на почвах с разным уровнем плодородия обеспечивают сбалансированное питание растений, более равномерное распределение туков по поверхности поля, сокращение затрат на их внесение в почву и за счет этого повышение урожайности, биологического и технологического качества продукции. Новые формы предназначены для основного внесения в почву и некорневых подкормок. Одними из последних представлены для применения в совре-



менных технологиях возделывания комплексные удобрения с микроэлементами для подсолнечника. Разработанные составы удобрений защищены патентами Национального центра интеллектуальной собственности Республики Беларусь и Евразийской патентной организации.

По данным крупномасштабного агрохимического обследования почв, применение микроудобрений при возделывании сельскохозяйственных культур требуется на большей части пахотных почвах республики. Применение микроудобрений улучшает микроэлементный состав растительной продукции, повышает урожайность сельскохозяйственных культур и способствует повышению эффективности использования минеральных удобрений. Используемые ранее микроэлементы в виде химических солей (сернокислая медь, сернокислый марганец, сернокислый цинк) и борной кислоты малотехнологичны из-за недостаточной растворимости, что значительно снижает эффективность их применения.

Сотрудниками лаборатории микроэлементов РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (зав. лабораторией – кандидат с.-х. наук М.В. Рак) разработан ряд жидких комплексных форм микроудобрений МикроСтим и МикроСил, приготовленные на основе хелатов металлоэлементов и бора в органо-минеральной форме. Кроме микроэлементов, жидкие комплексные микроудобрения содержат регуляторы роста растений Гидрогумат и Экосил, что повышает их эффективность и отличает от других аналогичных форм микроудобрений. Состав и содержание микроэлементов соответствует биологическим потребностям сельскохозяйственных культур. Жидкие комплексные хелатные микроудобрения рекомендованы для применения в виде некорневых подкормок в период вегетации и для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур.

И сегодня актуальной задачей является создать наиболее благоприятные условия для максимального использования результатов научных исследований института в производстве. Это – прежде всего участие в научно-практических семинарах с целью привлечения внимания специалистов АПК, представителей деловых кругов и общественности, опубликование результатов исследований, участие в работе конференций и выставок.

За 2012–2016 гг. в рамках подготовки специалистов АПК сотрудники РУП «Институт почвоведения и агрохимии» приняли участие в 86 республиканских и районных семинарах, прочитано 241 лекция, значительная часть из которых в образовательном процессе ИПК и ПК АПК. Авторы лекций придают первостепенное внимание инновационным технологиям, их систематизации, обобщению и доведению до практического применения. Заслуженным авторитетом у специалистов АПК пользуются сотрудники института: В.В. Лапа – директор, академик НАН Беларуси; И.М. Богдевич – главный научный сотрудник, академик НАН Беларуси; А.Ф. Черныш – заместитель директора по научной работе, кандидат с.-х. наук; М.В. Рак – заместитель директора по научной и инновационной работе, кандидат с.-х. наук; Г.В. Пироговская – зав. лабораторией новых форм удобрений и мелиорантов, доктор с.-х. наук; Т.М. Серая – зав. лабораторией органического вещества почвы, кандидат с.-х. наук и др.

Основными принципами в обучении руководителей и специалистов АПК научные сотрудники института считают опережающий характер обучения с учетом перспектив развития сельского хозяйства; проблемную направленность обучения на стратегические задачи развития агропромышленного комплекса республики,

практическую деятельность специалистов АПК, приближение обучения к конкретным сферам деятельности, оптимальное и гибкое сочетание всех форм, видов и методов обучения. В результате лекционные занятия способствуют развитию самостоятельности, умению брать ответственность на себя, умению учиться и делиться знаниями с другими, овладевать новыми способами деятельности, правильно анализировать современные процессы и делать из этого выводы. Кроме того в ходе лекционных занятий формируются личные отношения между специалистами АПК и научными сотрудниками Института почвоведения и агрохимии, что позволяет производителям получать оперативно компетентные консультации по многим возникающим вопросам, что, безусловно, помогает при принятии технологических решений.



В процессе повышения квалификации специалистов АПК важную роль занимает посещение специализированной выставки «БЕЛАГРО». РУП «Институт почвоведения и агрохимии» ежегодно представляет экспозицию с новыми разработками. В институте сложилась традиция каждую разработку сопровождать изданием рекомендаций по ее применению. На выставках был представлен ряд разработанных в институте методических рекомендаций, инструкций по агрохимическому обслуживанию сельского хозяйства республики, по пригодности почв для возделывания основных сельскохозяйственных культур, а также рекомендации, в которых описана технологическая схема применения удобрений, дана оценка агрономической и экономической эффективности их использования. Организована передача рекомендаций в областные и районные ОПИСХ, подразделения РО «Белгросервис» и др.



XXVI Международная специализированная выставка «Белагро-2016»

Для обмена научной информацией и обобщения полученных исследований Институт почвоведения и агрохимии организовал 3 Международные научно-практические конференции по наиболее актуальным вопросам аграрной науки.

Таким образом, профессиональная подготовка специалистов АПК с привлечением сотрудников научных учреждений представляет сбалансированное сочетание теоретического материала и практических примеров и должна стать приоритетным направлением формирования кадрового состава агропромышленного комплекса.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кодекс Республики Беларусь об образовании от 13 января 2011 г. № 243–3 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 17 января 2011 г. – № 2/1795.
2. <http://mshp.minsk.by/education/edu/education/pk.htm>

# РЕФЕРАТЫ

## 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4

**Черныш А.Ф., Устинова А.М., Цырибко В.Б., Юхновец А.В., Касьяненко И.И.** Динамика основных физических свойств пахотного горизонта дерново-подзолистых эродированных почв на моренных суглинках в процессе их сельскохозяйственного использования // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 7.

В статье приведены результаты 20-летних наблюдений за состоянием основных агрофизических свойств пахотного горизонта дерново-подзолистых эродированных почв на моренных суглинках. На основании полученных данных установлены средние многолетние показатели плотности и пористости исследуемых почв, а также диапазоны их отклонений.

Среднее многолетнее значение плотности пахотного горизонта дерново-подзолистых почв, развивающихся на моренных суглинках, изменялась от 1,41 г/см<sup>3</sup> до 1,62 г/см<sup>3</sup> в зависимости от степени эродированности. В 45–72 % случаев плотность Ap средне- и неэродированных почв соответствовала допустимым значениям, сильноэродированной – критическим в 57–78 %. Средние показатели пористости исследуемых почв составляли 40–46 %. При этом допустимые значения установлены в 63–90 % от всех случаев. Снижения до критических величин наиболее характерно для сильноэродированной разновидности (15–33 %), а улучшения до оптимальных – для неэродированной (3–33 %).

Табл. 6 Рис. 4 Библиогр. 15

УДК 631.452:631.474

**Шибут Л.И., Азаренок Т.Н., Матыченкова О.В., Шульгина С.В., Дыдышко С.В., Матыченков Д.В.** Энергетическая оценка плодородия почв для рационального землепользования в почвенно-экологических провинциях Беларуси // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 20.

В результате проведенных исследований показана возможность практического применения данных энергетической оценки плодородия почв пахотных земель для оптимизации землепользования в различных регионах республики.

Приведены результаты расчетов показателей энергетической оценки плодородия почвенных разновидностей пахотных земель – северной, центральной и южной провинций республики, на основании которых была усовершенствована агропроизводственная группировка почв по их пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур, разработан комплекс мероприятий по повышению пригодности почв под культуры.

Результаты исследований могут быть использованы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия в почвенно-экологических провинциях Беларуси.

Табл. 4. Библиогр. 20.

УДК 631.4:549.905.8

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

Сравнительное исследование минералогического состояния силикатной части черноземов типичных на покровных отложениях водоразделов Молдовы и Среднерусской возвышенности показало, что обе почвы по составу и содержанию первичных и глинистых минералов весьма близки. Они близки также по происходящим в них изменениям, связанным с процессами выветривания и почвообразования. Изменения развиваются по элювиальному типу. Существенное превышение потери глинистых минералов в курском черноземе над потерей в молдавском черноземе связано с постепенным облегчением почвообразующей породы в курском черноземе вверх по профилю. Исследование показало, что методика минералогического анализа и способ оценки минералогического состояния почв, используемые в Молдове, применимы и на черноземах Русской равнины.

Табл. 3. Библиогр. 43.

УДК 631.4:549.905.8

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

Установлено, что состав и характер распределения первичных и глинистых минералов по профилю в молдавском и курском черноземах являются практически идентичными. Балансы масс минералов в обоих черноземах отрицательные. Потери первичных минералов в молдавском и курском черноземах близки и составили соответственно 740 и 815 т/га, потери глинистых минералов – 1072 и 556 т/га. Различие в потерях глинистых минералов является следствием неоднородности почвообразующей породы в курском черноземе, выраженной в постепенном облегчении ее гранулометрического состава вверх по профилю и аномальным в связи с этим распределением иллита по профилю почвы.

Табл. 4. Библиогр. 3

УДК 631.4:631.6

**Воротынцева Л.И.** Трансформация свойств темно-каштановой почвы под влиянием сельскохозяйственного использования и орошения // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 54.

Приведены результаты исследований по изучению трансформации свойств целинной темно-каштановой солонцеватой почвы под влиянием сельскохозяйственного использования и длительного орошения. В результате сельскохозяйственного освоения и орошения в почве изменяется направленность процессов почвообразования, что влияет на ее свойства и экосистемные услуги, которые она оказывает. Установлены изменения в морфологическом профиле почвы, агрофизических и физико-химических свойствах. При орошении пресной водой происходит снижение содержания  $\text{Na} + \text{K}$  от суммы поглощенных катионов до 3,3 % и 2,4 % в слоях 0–25 и 25–50 см.

Табл. 4. Рис. 4. Библиогр. 18.

УДК 631.445

**Тютюнник Н.В.** Влияние орографии на интенсивность черноземообразования в зоне Северной Степи Украины // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 67.

В статье установлена закономерность связи между высотой местности, гидротермическими условиями и параметрами гумусонакопления в черноземах обыкновенных различного гранулометрического состава. Отражены в параметрах гидротермики теплого периода и соответствующих значениях интенсивности гумусонакопления через коэффициент относительной аккумуляции гумуса (соотношение содержания гумуса к 10 % физической глины в слое 0–30 см). Установлена закономерность и пространственная география связи между абсолютными высотами местности, гидротермическими условиями и количеством осадков, определено их влияние на морфолого-генетические параметры черноземов обычных Северной Степи. Выявлена четкая связь между количеством осадков холодного периода (120–210 мм) с гипсометрическим уровнем. Обоснована зависимость мощности профиля черноземов обыкновенных от количества осадков за холодный период, их усвоения и гранулометрии. Доказана зависимость интенсивности гумусонакопления в черноземах обыкновенных от влагообеспечения в теплый период года через соответствующие значения  $\text{ГТК}_{\text{V-IX}}$  и их гранулометрического состава.

Табл. 2. Рис. Библиогр. 5.

УДК 631.452:631.442

**Цапко Ю.Л., Зубковская В.В., Огородняя А.И.** Влияние окислительно-восстановительных условий на динамику содержания фосфора в почвах различного генезиса в зависимости от уровня увлажнения // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 78.

Приведены результаты исследования влияния окислительно-восстановительных условий на поведение фосфора в кислых почвах различного генезиса, в зависимости от уровня увлажнения. Установлено, что переувлажнение почвы приводит к резкому изменению окислительно-восстановительного равновесия в сторону развития восстановительных процессов. Исследованиями подтверждено, что в

условиях переувлажнения происходит резкое увеличение подвижных (закисных) форм железа во всех вариантах опыта. Таким образом, можно утверждать, что увеличение закисных форм железа является важным диагностическим признаком интенсивности развития восстановительных процессов в почвенной среде. Мобилизация реакционно-активных закисных форм железа приводит к ухудшению фосфатного состояния почвы за счет фиксации фосфатных ионов в недоступные для растений формы. Вместе с этим, при контрастных изменениях окислительно-восстановительных условий возможна их аккумуляция в конкреционные новообразования.

Табл. 2. Рис. Библиогр. 11.

## 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.582:631.631.442

**Богатырева Е.Н., Серая Т.М., Бирюкова О.М.** Влияние севооборотов и систем удобрения на показатели гумусного состояния дерново-подзолистых суглинистых почв разной степени эродированности // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 85.

Изучено влияние различных севооборотов и систем удобрения на гумусное состояние разной степени эродированных дерново-подзолистых суглинистых почв. Наилучший положительный эффект по стабилизации гумусовой системы эродированных разновидностей получен при использовании кормового севооборота с удельным весом зерновых культур 20 % на фоне органо-минеральной системы удобрений: отношение  $C_{ГК}/C_{ФК}$  составило 1,24–1,27, степень гумификации органического вещества – 30,3–30,6 %, относительное содержание наиболее агрономически ценной фракции ГК-2 – 7,5–7,6 %, что соответствовало показателям неэродированной почвы. Наименее эффективен зернотравяной севооборот (доля зерновых культур 60 %) на фоне минеральной системы удобрения, характеризующийся наиболее сильным снижением степени гумификации (на 2,7–5,3 %), а также как абсолютного (на 896–1260 мг/кг), так и относительного (3,0–5,3 %) содержания гуминовых кислот в эродированных почвах относительно неэродированного аналога.

Табл. 2. Библиогр. 27.

УДК 631.8.022.3:631.452:631.931

**Семененко Н.Н., Каранкевич Е.В., Авраменко Н.М.** Влияние комплекса агротехнологических приемов на продуктивность культур севооборота, эффективность удобрений и плодородие торфяно-минеральных почв Полесья // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 94.

На фоне зяблевой вспашки или поверхностного дискования кормовой севооборот, включающий возделывание основных и промежуточных культур на зеленый

корм, обеспечивает примерно равный по способам обработки почвы среднегодовой выход кормовых единиц – 11,3–12,1 т/га с высоким содержанием переваримого протеина и обменной энергии. Применение сбалансированных по выносу с урожаем доз удобрений обеспечивает повышение их окупаемости в сравнении с базовой системой удобрений на 27 %. Внесение повышенных доз фосфорных и калийных удобрений в течение трех лет не обеспечивает достоверного увеличения содержания в почве подвижных соединений фосфора и калия. Использование кулисной культуры редьки масличной в виде сидерата обеспечивает высокую продуктивность кормового севооборота (11,5 т/га к.ед.) при снижении затрат, сводит до минимума потери ОВ почвы.

Табл. 5. Библиогр. 20.

УДК 633.1:631.559:631.85(476.6)

**Леонов Ф.Н., Синевич Т.Г.** Эффективность минеральных удобрений в зависимости от обеспеченности подвижными фосфатами дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 109.

Представлены результаты исследований эффективности различных доз удобрений на урожайность ячменя, овса и ярового рапса, в зависимости от уровня обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы подвижными фосфатами. Установлено, что увеличение обеспеченности почв подвижным фосфором способствует повышению урожайности культур, а также повышению эффективности азотных и калийных удобрений. Агрономическая эффективность фосфорных удобрений при этом снижается, однако внесение их в оптимальных дозах приводит не только к увеличению урожайности изучаемых культур, но и обуславливает высокую окупаемость 1 кг действующего вещества фосфора.

Табл. 4. Библиогр. 8.

УДК 633.112.9:631.82:631.559:631.445.24

**Лапа В.В., Ивахненко Н.Н., Грачева А.А.** Эффективность систем удобрения при возделывании озимого тритикале на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 116.

Приведены результаты исследований по влиянию средств химизации на урожайность и качество зерна озимого тритикале, возделываемого в зернотравяном севообороте после клевера лугового на дерново-подзолистой супесчаной почве с разным содержанием фосфора и калия (на уровне оптимальных параметров  $P_2O_5$  (240–350 мг/кг) и  $K_2O$  (220–350 мг/кг) и ниже указанного уровня  $P_2O_5$  (110–170 мг/кг) и  $K_2O$  (100–160 мг/кг)). Установлено, что на обеих почвах: с оптимальным содержанием  $P_2O_5$  (240–350 мг/кг) и  $K_2O$  (220–350 мг/кг) и ниже оптимального  $P_2O_5$  (110–170 мг/кг) и  $K_2O$  (100–160 мг/кг) максимальная урожайность зерна озимого тритикале на одном уровне 63,4 и 63,6 ц/га формировалась при применении  $N_{80+40+30}$  + МикроСтим-Медь<sub>0,05</sub> + хлормекват-хлорид на фоне  $P_{70}K_{150}$  и  $P_{40}K_{120}$  и последствия (4-й год) 40 т/га навоза крупного рогатого скота. Прибавка зерна на почве с оптимальными параметрами составила 20,9 ц/га при окупаемости 1 кг

НРК 6,7 кг зерна. На почве с содержанием фосфора и калия ниже оптимальных параметров прибавка к фону составила 23,7 ц/га при окупаемости 1 кг НРК 6,4 кг зерна. В варианте без применения фунгицидов и инсектицидов в среднем за три года недобор зерна озимого тритикале составил 8,9 ц/га.

Табл. 6. Библиогр. 7.

УДК 631.824:631.445.2:633.112.9

**Богдевич И.М., Путятин Ю.В., Станилевич И.С., Таврыкина О.М., Довнар В.А., Манько П.С.** Влияние обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием на урожайность ярового тритикале // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 130.

В модельных полевых опытах установлен диапазон оптимального содержания обменного магния для получения высокой урожайности зерна ярового тритикале на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах: 130–150 мг Mg на кг почвы. При этом эквивалентное соотношение в почве катионов Ca:Mg должно быть в пределах около 5, а соотношение K: Mg – около 0,4–0,6. Установлена тесная корреляционная связь концентрации Mg в растениях тритикале в фазу кущения с содержанием обменного магния в почве ( $R^2 = 0,97–0,98$ ). Получены существенные прибавки урожайности зерна ярового тритикале до 5,3–8,6 ц/га от некорневых подкормок растений сульфатом магния, подтвердившие недостаток магния на низком и среднем уровнях содержания обменного магния, 46–92 мг Mg на кг почвы.

Табл. 2. Рис.3. Библиогр. 18.

УДК 631.8:631.559:633.16

**Вильдфлуш И.Р., Пироговская Г.В., Барбасов Н.В.** Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на урожайность и качество ячменя // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 138.

Применение МикроСтим-Медь Л, ЭлеГум-Медь и Адоб Медь фоне  $N_{90}P_{60}K_{90}$  повышало урожайность зерна ячменя на 2,8, 4,1 и 2,2 ц/га соответственно, а регуляторы роста Экосил и Фитовитал – на 4,4 и 5,0 ц/га. Максимальная урожайность зерна отмечена в варианте  $N_{80}P_{70}K_{120} + N_{40 \text{ карб}} + \text{МикроСтим-Медь Л}$  (66,2 ц/га). Максимальное содержание сырого белка (12,8 %), выход сырого белка и выход кормовых единиц были в варианте с обработкой МикроСтим-Медь Л на фоне  $N_{80}P_{70}K_{120} + N_{40}$  (7,4 ц/га и 89,4 ц/га).

Табл. 4. Библиогр. 9.

УДК 631.43:631.8:633.16

**Уваренко К.Ю.** Влияние агрофизических параметров черноземной почвы на эффективность минеральных удобрений при выращивании ячменя ярового // Почвоведение и агрохимия. – 2017.– № 1(58). – С. 145.

В статье приведены результаты многофакторных лабораторных опытов по изучению влияния агрофизических параметров (влажности и плотности сложения) чернозема типичного тяжелосуглинистого на эффективность различных доз минеральных удобрений (азотных, фосфорных и калийных) при выращивании интенсивного и полунтенсивного сортов ячменя ярового.

Рис. 3. Библиогр. 15.

УДК 631.82:631.491:631.445.2

**Пироговская Г.В., Исаева О.И., Хмелевский С.С., Сороко В.И.** Комплексные удобрения в технологии возделывания картофеля на дерново-подзолистых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 153.

В статье приведены данные по влиянию комплексных удобрений с микроэлементами на урожайность и качество клубней картофеля (нитраты, крахмалистость, содержание основных элементов питания и микроэлементов) при возделывании на дерново-подзолистых (легкосуглинистых, связно- и рыхлосупесчаных) почвах Республики Беларусь.

Табл. 9. Библиогр. 18.

УДК 631.81.095.337:633.33

**Рак М.В., Титова С.А., Николаева Т.Г.** Эффективность жидких микроудобрений МикроСтим при возделывании люцерны // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1 (58) – С. 169.

В полевых и производственных опытах с люцерной на дерново-подзолистой супесчаной почве изучена эффективность применения различных марок жидких органоминеральных микроудобрений МикроСтим. Некорневые подкормки люцерны жидкими микроудобрениями МикроСтим-Молибден и МикроСтим-Молибден, Бор обеспечили повышение урожайности на 8,8 и 10,5 ц/га сухой массы при чистом доходе 10,7 и 21,1 USD/га, рентабельности 24 и 49% соответственно.

Табл. 6. Библиогр. 11.

УДК 631.81.095.337:633.8

**Цыганов А.Р., Мастеров А.С., Плевко Е.А.** Динамика развития яровых крестоцветных культур в зависимости от применения микроудобрений и Экосила // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 177.

Исследования на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве позволили выявить закономерности в изменении биометрических показателей и содержании азота в растительных образцах редьки масличной, горчицы белой и рапса ярового при применении микроудобрений и регулятора роста Экосил.

На увеличение высоты и накопления сухого вещества растениями редьки масличной, горчицы белой и ярового рапса значительное влияние оказали

минеральные удобрения в дозе  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$  и внесение в фазу бутонизации микроудобрения Эколист Моно Бор, ЭлеГум-Бор, Басфолиар 36 Экстра, Адоб Zn + Адоб Mn, регулятора роста Экосила на фоне  $N_{80}P_{40}K_{60} + N_{40}$ .

Табл. Рис. 2. Библиогр. 9.

УДК 631.46:631.11:631.442

**Михайловская Н.А., Барашенко Т.Б., Погирницкая Т.В., Дюсова С.В.** Бинарная композиция *A. brasilense* + *B. circulans* и ее эффективность для инокуляции озимой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1 (58). – С. 187.

Для создания бинарной бактериальной композиции в экспериментах *in vitro* с применением диффузионных методов отобраны совместимые штаммы бактерий *A. brasilense* и *B. circulans* (собственная коллекция), которые удовлетворяют требованиям технологичности, не опасны для человека и окружающей среды. Разработана бинарная бактериальная композиция. В полевых опытах на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных и моренных суглинках проведено сравнение эффективности бинарной инокуляции с применением моноинокулянтов на посевах озимой пшеницы. Установлена более высокая эффективность бинарной инокуляции по сравнению с монокультурами на всех элементах склона.

Табл. 5. Рис. 2. Библиогр. 24.

УДК 631.811:631.622

**Мирошниченко Н.Н., Бердников А.М., Потапенко Л.В., Чмель Е.П., Пархоменко М.Н.** Эколого-агрохимическая оценка дерново-подзолистых супесчаных почв Украинского Полесья // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 199.

В стационарной лизиметрической установке с дерново-подзолистой супесчаной почвой в условиях Черниговского Полесья Украины в период 2006–2013 гг. изучено влияние отдельных сельскохозяйственных культур, систем удобрения, внесения кальцийсодержащих мелиорантов и инокуляции семян биопрепаратом комплексного действия на инфильтрационные потери влаги, водорастворимого органического вещества и биогенных элементов (N, P, K, Ca, Mg). Наибольшие потери отмечены в почве под паром и пропашными культурами при минеральной и органической системой удобрения. Определены пути регулирования баланса влаги и биогенных элементов в дерново-подзолистых супесчаных почвах. Наилучшими с точки зрения ресурсосбережения технологическими приемами являются увеличение доли озимых зерновых в севообороте, выращивание сидеральной культуры в пожнивных посевах, внесение кальцийсодержащих мелиорантов нормой 1/2 г.к. раз в 5 лет или 1/4 г.к. через год, инокуляция семенного материала биопрепаратом.

Табл. 8. Библиогр. 14

УДК 635.25:631.17:631.8

**Гордиенко И.Н., Гладких Р.П.** Содержание элементов питания в растениях и вынос их с урожаем лука репчатого // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С. 209.

В работе исследована величина потребления основных элементов питания луком репчатым. Установлено, что с повышением уровня урожайности растет вынос элементов питания. Отмечено, что при внесении полной дозы минеральных удобрений  $N_{90}P_{90}K_{90}$  вразброс растения лука на формирование 10 т товарной продукции используют 36 кг азота, 13 кг фосфора и 32 кг калия. Использование элементов, при внесении  $N_{90}P_{90}K_{90}$  по последствию 14 т/га навоза существенно не изменялось, а при внесении половинной дозы минеральных удобрений ( $N_{45}P_{45}K_{45}$ ) локальным способом совместно с 14 т/га перегноя возросло использование калия до 43 кг.

Табл. 2. Библиогр. 7.

УДК 633.791:631.535:631.811.982:631.589.3

**Гашенко О.А., Кастрицкая М.С., Кухарчик Н.В.** Влияние субстрата и концентрации ауксина на эффективность черенкования оздоровленных *in vitro* растений хмеля на стадии адаптации *ex vitro* // Почвоведение и агрохимия – 2017. – № 1(58). – С. 214.

Целью исследования была оценка влияния типа субстрата (агроперлит, БИОНА–311) и концентрации индолмасляной кислоты (0, 10, 100 мг/л) на эффективность черенкования оздоровленных *in vitro* растений хмеля на стадии адаптации *ex vitro*. В ходе исследования проведен сравнительный анализ укоренения черенков трех сортов хмеля на субстратах БИОНА-311 и агроперлит, который показал, что доля укоренившихся черенков на изучаемых субстратах колебалась от 60 % до 100 %. По комплексу показателей (доля укоренившихся черенков, коэффициент развития корневой системы, длина прироста, среднее количество и длина корней, технологичность процесса) для трех сортов выделены лучшие субстраты и способы обработки ИМК.

Табл. 4. Рис. 3. Библиогр. 10.

## 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 13.01.2017 № 6) 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.

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*  
Редактор *Т.Н. Самосюк*  
Компьютерная верстка *Е.А. Титовой*

Подписано в печать 04.06.2017. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 19,5. Уч.-изд. л. 16,43. Тираж 100 экз. Заказ 268.

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

**Для заметок**