

ISSN 0130-8475

Институт почвоведения и агрохимии

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1961 г.

**№ 1(62)
Январь – июнь 2019 г.**

Минск
2019

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

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

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

Главный редактор *В. В. ЛАГА*

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

Т. Н. АЗАРЕНКО, С. А. БАЛЮК, 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(62)

Январь–июнь 2019 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

Ответственная за выпуск *Н. Ю. Жабровская*
Редакторы *Т. Н. Самосюк, Ю. Б. Фельдшерова*
Компьютерная верстка *Е. А. Титовой*

Подписано в печать 19.06.2019. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 21,45. Уч.-изд. л. 17,16. Тираж 100 экз. Заказ 242.

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

© Республиканское научное дочернее унитарное
предприятие «Институт почвоведения и агрохимии», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

- Шибут Л. И., Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В., Шульгина С. В.** Анализ результатов оценки плодородия почв сельскохозяйственных земель Беларуси по административным районам 7
- Дыдышко С. В., Азаренок Т. Н., Шульгина С. В.** Кислотно-основная буферность дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв разной степени агрогенной трансформации 14
- Цырибко В. Б., Цыбулько Н. Н., Устинова А. М., Логачев И. А., Касьяненко И. И., Юхновец А. В., Митькова А. А.** Структурное состояние и противозерозионная устойчивость дерново-подзолистых почв, сформированных на моренных и лёссовидных суглинках 25
- Алексеев В. Е.** Сравнительная характеристика минералогического состояния сопряженной пары орошаемого и неорошаемого карбонатных черноземов юга Молдовы 32
- Алексеев В. Е.** Сопряженная пара орошаемого и неорошаемого карбонатных черноземов юга Молдовы: баланс минералов 41
- Господаренко Г. Н., Черно Е. Д., Лысянский А. Л.** Влияние сидеральных паров на питательный режим чернозема оподзоленного и урожайность пшеницы озимой 48
- Плиско И. В.** Пространственно-дифференцированная система управления качеством почв (на примере пахотных почв Украины) 59
- Трофименко П. И., Трофименко Н. В., Борисов Ф. И., Зацерковный В. И.** Методология исследования и профилное распределение концентрации диоксида углерода в воздухе дерново-подзолистой глееватой супесчаной почвы 73

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

- Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Белявская Ю. А., Кирдун Т. М., Торчило М. М., Жабровская Н. Ю.** Сравнительная эффективность возделывания сельскохозяйственных культур в традиционной и органической системах земледелия 82
- Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Кирдун Т. М., Белявская Ю. А., Торчило М. М.** Оценка эффективности компоста на основе бурого угля на дерново-подзолистой супесчаной почве 92
- Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Шедова О. А., Жабровская Н. Ю.** Действие удобрений в зернопропашном севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высокими запасами фосфора и калия при различных погодных условиях 109

Семененко Н. Н., Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г. Урожайность, вынос и коэффициенты возмещения выноса элементов питания в зависимости от погодных условий и применяемой системы удобрения под яровой ячмень	120
Пироговская Г. В., Хмелевский С. С., Сороко В. И., Хатулев И. Н., Исаева О. И., Шкаленко И. Н., Артюх Ю. А., Ганусевич А. Г., Белоус О. А. Влияние новых форм жидких и твердых минеральных удобрений на продуктивность и показатели качества злаковых, бобово-злаковых травосмесей и люцерны на дерново-подзолистых почвах	133
Цыбулько Н. Н., Седукова Г. В., Евсеев Е.Б., Жукова И. И. Влияние азотных удобрений на накопление ¹³⁷ Cs многолетними злаковыми травами на торфянисто-глеевой почве.....	157
Станилевич И. С., Богдевич И. М., Путятин Ю. В. Эффективность возделывания гороха на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с разной обеспеченностью обменным магнием	168
Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Белявская Ю. А., Кирдун Т. М., Торчило М. М. Миграция подвижных форм тяжелых металлов по профилю дерново-подзолистых почв под влиянием регулярных нагрузок жидких отходов животноводства	179
Путятин Ю. В. Подвижный калий почвы и накопление ¹³⁷ Cs сельскохозяйственными культурами.....	196
Путятин Ю. В. Влияние гумусового состояния дерново-подзолистых супесчаных почв на накопление радионуклидов ¹³⁷ Cs и ⁹⁰ Sr кормовыми культурами.....	203
Путятин Ю. В. Влияние кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы на накопление ⁹⁰ Sr сельскохозяйственными культурами.....	211
Коготько Ю. В. Влияние макро-, микроудобрений, регуляторов роста и бактериального препарата на структуру урожая и урожайность зерна проса	219
Пынтиков С. А., Булавин Л. А., Гвоздов А. П., Немкович А. И. Экономическая эффективность применения азотных подкормок и микроэлементов при возделывании озимой пшеницы	228
Михайловская Н. А., Барашенко Т. Б. Антагонистическая активность ризобактерий <i>A. brasilense</i> и <i>B. circulans</i> по отношению к фитопатогенным микромицетам pp. <i>Fusarium</i> и <i>Alternaria</i>	234
Семененко Н. Н. К вопросу повышения устойчивости зерновых культур к неблагоприятным условиям внешней среды (аналитический обзор).....	245
Рефераты	255
Правила для авторов	264

CONTENTS
1. SOIL RESOURCES AND THEIR RATIONAL USE

- Shibut L. I., Azarenok T. N., Matychenkova O. V., Shul'gina S. V.** Analysis of the results of soil fertility assessment of agricultural lands of Belarus by administrative districts 7
- Dydyshka S.V., Azarenok T.N., Shul'gina S.V.** The acid-alkaline buffering capacity of the sod-pale-podzolic-light loamy soils of a different degree of agrogenic transformation..... 14
- Tsyrybka V. B., Tsybulko N. N., Ustinova A. M., Logachev I. A., Kasyanenko I. I., Yukhnovets A. V., Mitskova A. A.** Structural condition and anti-erosion resistance of sod-podzolic soils formed on moraine and loess-like loams 25
- Alekseev V. E.** Comparative characteristic of the mineralogical state of the conjugate pair of irrigated and non-irrigated carbonate chernozems of the south of Moldova 32
- Alekseev V. E.** Conjugate pair of irrigated and non-irrigated carbonate chernozems of the south of Moldova: balance of minerals 41
- Gospodarenko G. N., Chernov E. D., Lysyansky A. L.** Influence of sideral vapors on the nutritional regime of black podzolik and yield of wheat winter 48
- Plisko I. V.** Spatially-differentiated system of soil quality management (for example, arable land of Ukraine)..... 59
- Trofymenko P. I., Trofymenko N. V., Borysov F. I., Zatserkovnyi V. I.** Research methodology and profile distribution of the carbon dioxide concentration in the air of sod-pod-style gleyed soil 73

2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION

- Seraya T. M., Bogatyreva E. N., Belyavskaya Yu. A., Kirdun T. M., Torchilo M. M., Zhabrovskaya N. Yu.** Comparative efficiency of cultivation of agricultural cultures in traditional and organic systems of agriculture..... 82
- Bogatyrova E. N., Seraya T. M., Kirdun T. M., Belyavskaya Y. A., Torchilo M. M.** Evaluation of the efficiency of compost based on brown coal on sod-podzolic sandy loam soil..... 92
- Kulesh O. G., Mezentseva E. G., Shedava A. A., Zhabrovskaya N. Yu.** Effect of fertilizers in the grain-row crop rotation on sod-podzolic light loamy soil with very high phosphorus maintenance and potassium under various weather conditions..... 109

Semenenko N. N., Kulesh O. G., Mezentseva E. G. Productivity, removal and battery removal factors, depending on weather conditions and the fertilizer system used for spring barley	120
Pirahouskaya H. V., Khmelevsky S. S., Soroko V. I., Khatulev I. N., Isaeva O. I., Shkalenko I. N., Artyukh Yu. A., Ganusevich A. G., Belous O. A. Influence of new forms of liquid and solid mineral fertilizers on productivity and quality indicators of cereal, legume-cereal grass mixtures and alfalfa on sod-podzolic soils	133
Tsybulka N. N., Sedukova G. V., Evseev E. B., Zhukova I. I. Influence of nitrogen fertilizers on accumulation of ¹³⁷ Cs perennial cereal grasses on pearly-glau soil.....	157
Stanilevich I.S., Bogdevitch I.M., Putyatin Yu.V. Efficiency of pea cultivation at different levels of magnesium supply of luvisol loamy soil	168
Bogatyrova E. N., Seraya T. M., Belyavskaya Y. A., Kirdun T. M., Torchilo M. M. Migration of mobile forms of heavy metals along the profile of sod-podzolic soils under the influence of regular loads of liquid animal waste	179
Putyatin Y. V. Mobile potassium of soil and ¹³⁷ Cs accumulation by agricultural crops	196
Putyatin Y. V. Influence of humus status of sod-podzolic loamy sand soils on the accumulation of ¹³⁷ Cs and ⁹⁰ Sr radionuclides by forage crops	203
Putyatin Y. V. Influence of acidity of sod-podzolic loamy sand soil on the ⁹⁰ Sr accumulation by crops.....	211
Kahotska Y. V. The effect of macro-, microfertilities, growth regulators and bacterial preparate on structure harvest and productivity of grain of the millet	219
Pyntikov S. A., Bulavin L. A., Gvozdov A. P., Nemkovich A. I. Economic efficiency of using nitrogen fertilizers and microelements in cultivation of winter wheat	228
Mikhailovskaya N. A., Barashenko T. B. Antagonistic activity of rhizobacteria <i>A. brasilense</i> и <i>B. circulans</i> in respect of pathogenic fungi	234
Semenenko N. N. To the question of increasing the sustainability of crops to adverse environmental conditions (analytical review)	245
Summaries	255
Instructions for authors.....	264

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.47:631.452

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ ПО АДМИНИСТРАТИВНЫМ РАЙОНАМ

Л. И. Шибут, Т. Н. Азаренок, О. В. Матыченкова, С. В. Шульгина

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

ВВЕДЕНИЕ

В последнем (втором) туре кадастровой оценки, который был проведен в республике в 2009–2016 гг., для характеристики качества сельскохозяйственных земель определялись следующие показатели: балл плодородия почв, общий балл кадастровой оценки земель, нормативный чистый доход, дифференциальный доход и кадастровая стоимость земель. Из всех этих показателей наиболее важным и значимым является балл плодородия почв. Он может применяться самостоятельно для решения различных задач в сфере сельскохозяйственного производства (оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур, совершенствования специализации сельскохозяйственных организаций и структуры посевных площадей в них, прогнозирования урожайности культур, анализа окупаемости удобрений и др.), а также используется для расчета других показателей кадастровой оценки. Поэтому именно этот показатель (балл плодородия почв) был взят нами для анализа качественного состояния сельскохозяйственных земель республики по материалам второго тура кадастровой оценки.

Все показатели кадастровой оценки устанавливались как по отдельным видам земель, к которым по классификации Госкомимущества Республики Беларусь относятся пахотные земли, земли под постоянными культурами (многолетними насаждениями), улучшенные луговые земли, естественные луговые земли, так и в среднем для всех сельскохозяйственных земель. Балл плодородия почв устанавливался как средневзвешенный показатель баллов плодородия отдельных видов земель и их площадей, соответствующих хозяйственных или административных единиц.

Однако следует отметить, что в последнее время существенного различия в использовании пахотных и улучшенных луговых земель не наблюдается. Улучшенные луговые земли часто распахиваются и используются для посева полевых культур, вследствие чего эти земли могут переходить из одного вида в другой, нередко без отражения в учете земель. А так как другие виды земель

(под постоянными культурами и естественные луговые) в составе сельскохозяйственных занимают небольшие площади (всего около 9 %), нами для характеристики плодородия почв взят средний балл в целом по сельскохозяйственным землям.

При проведении кадастровой оценки показатели были определены для всех сельскохозяйственных организаций, административных районов, областей и республики в целом. В системе территориально-административного деления Беларуси район – это очень важная административная единица. По районам осуществляется вся хозяйственная деятельность, проводится ее анализ, планирование посевных площадей и урожайности сельскохозяйственных культур, обрабатываются различные статистические данные, проводится почвенное и агрохимическое обследование земель, обобщение их результатов и многие другие мероприятия. В связи с этим и оценке плодородия почв сельскохозяйственных земель в разрезе административных районов в данной работе уделяется основное внимание.

Таким образом, целью данной работы является обобщение и анализ результатов оценки плодородия почв сельскохозяйственных земель по административным районам Беларуси.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель выполнена по усовершенствованной методике [1] на основании новых материалов почвенного и агрохимического обследования, уточненных климатических данных за последние годы и других факторов и характеристик почв и земельных участков, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур. Первоначальные результаты оценки были установлены по состоянию на 1 января 2015 г., переданы пользователям, а также опубликованы в монографии [2] и размещены на сайте Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь [3].

Современная методика кадастровой оценки предусматривает ежегодное обновление результатов оценки с учетом новых исходных данных, полученных за каждый, прошедший после завершения оценки, год (корректировка материалов почвенного обследования, очередной тур агрохимического обследования, перевод одних видов земель в другие, изменение границ и названий землепользований и т. д.). Корректировка материалов кадастровой оценки уже проведена в 2017 и 2018 гг. Результаты этих корректировок также размещены на сайте Госкомимущества [3]. В данной статье все показатели оценки плодородия почв приведены с учетом этих корректировок.

Объектом исследований явились результаты оценки плодородия почв сельскохозяйственных земель по административным районам (т. е. балл плодородия почв).

Для наглядного представления качества сельскохозяйственных земель республики по районам результаты представлены на картограмме. Выполнена группировка районов по баллу плодородия почв. Проведен корреляционный анализ урожайности зерновых и зернобобовых культур с баллами плодородия почв сельскохозяйственных земель в разрезе административных районов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка плодородия почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь по их видам (пахотные и под постоянными культурами, луговые улучшенные, луговые естественные) и в целом по сельскохозяйственным землям приведена в табл. 1. Средняя оценка сельскохозяйственных земель республики составляет 29 баллов. Среди областей максимальным баллом оценены земли Гродненской области (32,8 балла), затем идет Минская область (31,4 балла) и Брестская область (30,4 балла). Минимальным баллом оценены земли Витебской (26,2 балла) и Гомельской (27,2 балла) областей. Оценка сельскохозяйственных земель Могилевской области находится примерно на уровне среднереспубликанской и составляет 28,8 балла.

Таблица 1

Балл плодородия почв по видам сельскохозяйственных земель

Области	Пахотные и под постоянными культурами	Улучшенные луговые	Естественные луговые	Всего сельско- хозяйственные
Брестская	31,7	31,0	16,5	30,4
Витебская	28,3	27,1	12,3	26,2
Гомельская	28,6	28,7	14,6	27,2
Гродненская	35,5	30,3	15,0	32,8
Минская	33,4	30,0	13,9	31,4
Могилевская	31,7	29,1	14,4	28,8
Республика Беларусь	32	29	14	29*

* Баллы плодородия почв по республике в итоговых результатах оценки приводятся с округлением до целых единиц.

По административным районам наблюдаются еще большие колебания по баллу плодородия почв. Максимальный балл плодородия почв по сельскохозяйственным землям имеет Несвижский район (42,4), минимальный – Городокский (19,4 балла). Наглядное представление о качестве сельскохозяйственных земель в масштабе всей республики дает картограмма «Оценка плодородия почв сельскохозяйственных земель по районам» (рис.). Как видно из картограммы более высокую оценку плодородия почв имеют районы, расположенные в центральной части республики (это большая часть районов Гродненской, Минской областей, северная часть Брестской и Могилевской областей, юго-восточная часть Витебской области). Более низкую оценку имеют районы, расположенные на севере (многие районы Витебской области) и на юге Беларуси (большинство районов Брестской и Гомельской областей, приуроченные к Полесской низменности), а также самые восточные районы Могилевской области.

Проведена группировка районов по баллу плодородия сельскохозяйственных земель, в которой все районы республики разделены на четыре группы: I – до 25 баллов включительно, II – 25,1–30,0 баллов, III – 30,1–35,0 баллов, IV – более 35,0 баллов. Установлено количество районов в этих группах по областям и в целом по республике (табл. 2), а также полный перечень районов, входящих в эти группы, с указанием баллов плодородия почв по каждому району (табл. 3).

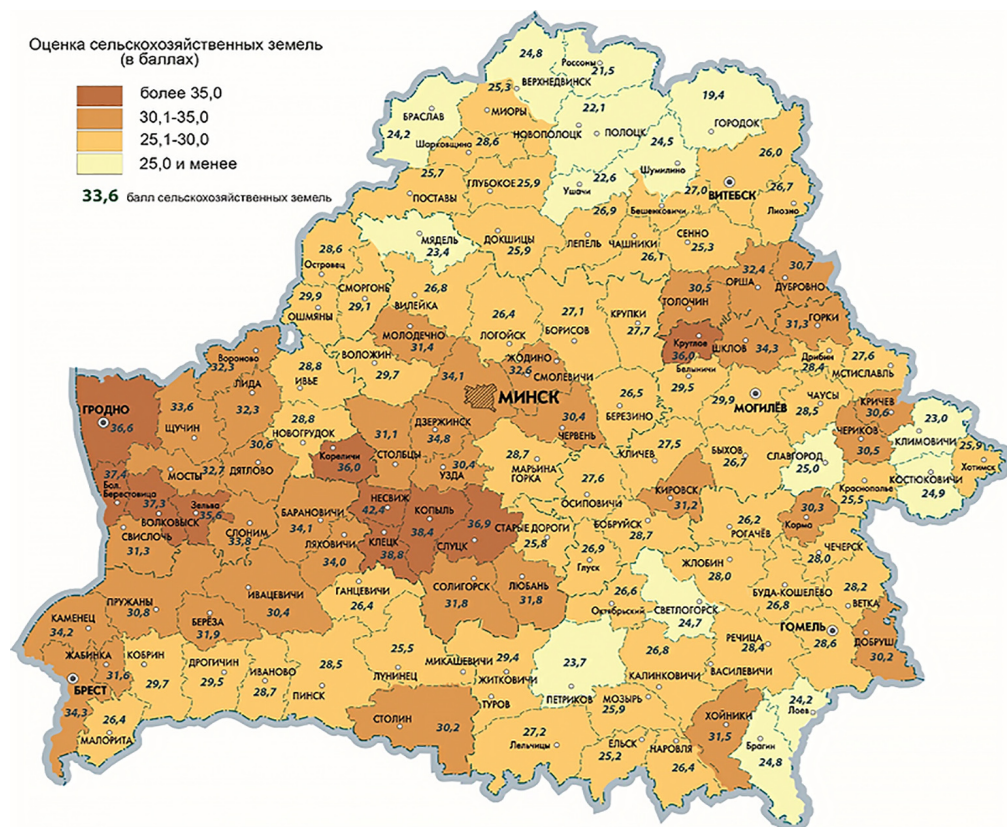


Рис. Оценка плодородия почв сельскохозяйственных земель по районам

Таблица 2

Группировка районов по баллам плодородия почв сельскохозяйственных земель

Области	Средний балл по области	Распределение районов по баллу плодородия почв					Максимальный балл, район	Минимальный балл, район
		всего районов	в том числе по баллам					
			25,0 и <	25,1–30,0	30,1–35,0	> 35,0		
Брестская	30,4	16	–	7	9	–	34,3 Брестский	25,5 Лунинецкий
Витебская	26,2	21	7	11	3	–	32,4 Оршанский	19,4 Городокский
Гомельская	27,2	21	4	14	3	–	31,5 Хойникский	23,7 Петриковский
Гродненская	32,8	17	–	5	7	5	37,4 Берестовицкий	28,6 Островецкий
Минская	31,4	22	1	8	9	4	42,4 Несвижский	23,4 Мядельский
Могилевская	28,8	21	3	12	5	1	36,0 Круглянский	23,0 Климовичский
Республика Беларусь	29	118	15	57	36	10	42,4 Несвижский	19,4 Городокский

Таблица 3

Группировка районов по баллам плодородия почв сельскохозяйственных земель

		Распределение районов по баллу плодородия почв					
		II. 25,1–30,0 (57 районов)		III. 30,1–35,0 (36 районов)		IV. > 35,0 (10 районов)	
I. 25,0 и < (15 районов)							
Браславский – 24,2	Ганцевичский – 26,4	Ветковский – 28,2	Борисовский – 27,1	Барановичский-34,1	Мостовский-32,7	Берестовичский-37,4	
Верхнедвинский – 24,8	Дрогичинский – 29,5	Гомельский – 28,6	Вилейский – 26,8	Березовский-31,9	Щучинский-33,6	Волковысский-37,3	
Городокский – 19,4	Ивановский – 28,7	Ельский – 25,2	Воложинский – 29,7	Брестский – 34,3	Свислочский – 31,3	Гродненский – 36,6	
Полоцкий – 22,1	Кобринский – 29,7	Житковичский – 29,4	Крупский – 27,7	Жабинковский – 31,6	Слонимский – 33,8	Зельвенский – 35,6	
Россоносский – 21,5	Лунинецкий – 25,5	Жлобинский – 28,0	Логойский – 26,4	Ивацевичский – 30,4	Дзержинский – 34,8	Кореличский – 36,0	
Ушачский – 22,6	Малоритский – 26,4	Калинковичский – 26,8	Пуховичский – 28,7	Каменецкий – 34,2	Любанский – 31,8	Клецкий – 38,8	
Шумилинский – 24,5	Пинский – 28,5	Лельчицкий – 27,2	Стародорожский – 25,8	Ляховичский – 34,0	Минский – 34,1	Копыльский – 38,4	
Брагинский – 24,8	Бешенковичский – 27,0	Мозырский – 25,9	Бельничский – 29,5	Пружанский – 30,8	Молодеченский – 31,4	Несвижский – 42,4	
Лоевский – 24,2	Витебский – 26,0	Наровлянский – 26,4	Бобруйский – 28,7	Столинский – 30,2	Смолевичский – 32,6	Слуцкий – 36,9	
Петриковский – 23,7	Глубокский – 25,9	Октябрьский – 26,6	Быховский – 26,7	Дубровенский – 30,7	Сопигорский – 31,8	Круглянский – 36,0	
Светлогорский – 24,7	Докшицкий – 25,9	Речицкий – 28,4	Глусский – 26,9	Оршанский – 32,4	Столбцовский – 31,1		
Мядельский – 23,4	Лепельский – 26,9	Рогачевский – 26,2	Дрибинский – 28,4	Толочинский – 30,5	Узденский – 30,4		
Климовичский – 23,0	Лиозненский – 26,7	Чечерский – 28,0	Кличевский – 27,5	Добрушский – 30,2	Червенский – 30,4		
Костюковичский – 24,9	Мирский – 25,3	Ивьевский – 28,8	Краснопольский – 25,5	Кормянский – 30,3	Горецкий – 31,3		
Славгородский – 25,0	Поставский – 25,7	Новогрудский – 28,8	Могилевский – 29,9	Хойникский – 31,5	Кировский – 31,2		
	Сенненский – 25,3	Островецкий – 28,6	Мстиславский – 27,6	Воронковский – 32,3	Кричевский – 30,6		
	Чашникский – 26,1	Ошмянский – 29,9	Осиповичский – 27,6	Дятловский – 30,6	Чериковский – 30,5		
	Шарковщинский – 28,6	Сморгонский – 29,1	Хотимский – 25,9	Лидский – 32,3	Шкловский – 34,3		
	Б. – Кошелевский – 26,8	Березинский – 26,5	Чауский – 28,5				

Высокую оценку плодородия сельскохозяйственных земель (более 35 баллов) имеют 10 районов республики, из них 5 районов расположено в Гродненской области (Берестовицкий, Волковысский, Гродненский, Зельвенский, Кореличский), 4 района в Минской (Клецкий, Копыльский, Несвижский, Слуцкий) и 1 район в Могилевской области (Круглянский). В Брестской, Витебской и Гомельской областях нет районов с баллом более 35.

Среднюю оценку (30,1–35,0 баллов) имеют 36 районов. Наибольшее количество таких районов в Брестской и Минской областях (по 9 районов), в Гродненской и Могилевской (7 и 5 соответственно), в Витебской и Гомельской областях – по 3 района.

Низкую оценку (25,1–30,0 баллов) имеют 57 районов республики. Причем наибольшее их количество (14) расположено в Гомельской области. В Могилевской и Витебской областях по 12–11 таких районов, в Брестской и Минской по 7–8 районов, в Гродненской области 5 районов с баллом 25,1–30,0.

Очень низкую оценку (25 баллов и меньше) имеют 15 районов республики, 7 из них расположены в Витебской области (Браславский, Верхнедвинский, Городокский, Полоцкий, Россонский, Ушачский, Шумилинский), 4 – в Гомельской (Брагинский, Лоевский, Петриковский, Светлогорский), 3 – в Могилевской (Климовичский, Костюковичский, Славгородский) и 1 – в Минской области (Мядельский район).

В табл. 2 приведены также районы с максимальной и минимальной оценкой в каждой области. В Брестской области максимальную оценку сельскохозяйственных земель имеет Брестский район, минимальную – Лунинецкий. В Витебской области это Оршанский и Городокский, в Гомельской – Хойникский и Петриковский, в Гродненской – Берестовицкий и Островецкий, в Минской – Несвижский и Мядельский, в Могилевской – Круглянский и Климовичский районы.

Корреляционный анализ урожайности зерновых и зернобобовых культур за пять последних лет (2014–2018 гг.) с баллами плодородия почв сельскохозяйственных земель по областям и в целом по республике (в разрезе административных районов) представлен в табл. 4.

Таблица 4

Корреляционная зависимость урожайности зерновых и зернобобовых культур с показателями плодородия почв сельскохозяйственных земель

Области	Балл плодородия почв		Урожайность зерновых и зернобобовых, (ц/га)	Коэффициенты корреляции урожайности с баллом	
	пахотных земель	сельскохозяйственных земель		пахотных земель	сельскохозяйственных земель
Брестская	31,7	30,4	35,2	0,89 (n = 16)	0,90 (n = 16)
Витебская	28,3	26,2	26,9	0,61 (n = 21)	0,59 (n = 21)
Гомельская	28,6	27,2	28,8	0,44 (n = 21)	0,34 (n = 21)
Гродненская	35,5	32,8	39,9	0,70 (n = 17)	0,73 (n = 17)
Минская	33,4	31,4	34,8	0,83 (n = 22)	0,83 (n = 22)
Могилевская	31,7	28,8	31,9	0,65 (n = 21)	0,70 (n = 21)
Республика Беларусь	32	29	33,0	0,78 (n = 118)	0,80 (n = 118)

Полученные коэффициенты корреляции урожайности зерновых и зернобобовых культур с баллами плодородия почв сельскохозяйственных земель по областям колеблются от 0,90 в Брестской до 0,34 в Гомельской. По Б. А. Доспехову в трех областях (Брестской, Гродненской и Минской) и в целом по республике корреляционная зависимость между урожайностью и баллом плодородия почв сельскохозяйственных земель сильная ($r > 0,7$), в трех областях (Витебская, Гомельская и Могилевская) – средняя ($r = 0,3-0,7$) [4].

По сравнению с пахотными землями в трех областях (Брестской, Гродненской и Могилевской) и в целом по республике коэффициенты корреляции урожайности с баллами плодородия сельскохозяйственных земель выше, в двух (Витебской и Гомельской) – ниже, чем на пахотных землях, в Минской – одинаковые. В целом по республике коэффициент корреляции урожайности с баллами сельскохозяйственных земель равен 0,80, что даже выше на 0,02, чем с баллами пахотных земель.

Результаты корреляционного анализа подтверждают, что современная методика кадастровой оценки обеспечивает в целом получение объективных и достоверных показателей оценки плодородия почв сельскохозяйственных земель по административным районам.

ВЫВОДЫ

В Беларуси периодически проводится оценка сельскохозяйственных земель. Всего с начала землеоценочных работ проведено пять туров оценки: три тура качественной оценки (бонитировки) и два тура кадастровой. Последний (второй) тур кадастровой оценки проведен в 2009–2016 гг. В этом туре определялись следующие оценочные показатели: балл плодородия почв, общий балл кадастровой оценки земель, нормативный чистый доход, дифференциальный доход и кадастровая стоимость земель. Из всех этих показателей наиболее важным и значимым является балл плодородия почв.

Проведен анализ результатов оценки плодородия почв (баллов плодородия почв) сельскохозяйственных земель по административным районам: составлена картограмма плодородия почв по республике (в разрезе районов), выполнена группировка районов по баллу плодородия сельскохозяйственных земель, установлены коэффициенты корреляции урожайности зерновых и зернобобовых культур с баллами плодородия.

В этой группировке все районы по баллу плодородия сельскохозяйственных земель объединены в 4 группы: до 25 баллов (15 районов); 25,1–30,0 баллов (57 районов); 30,1–35,0 баллов (36 районов); более 35 баллов (10 районов). Приведен перечень районов в каждой группе. Установлены максимальные и минимальные баллы по областям и в целом по республике. Максимальным баллом оценены сельскохозяйственные земли Несвижского района, минимальным – Городокского.

Полученные коэффициенты корреляции по областям колеблются от 0,90 до 0,34. В целом по республике коэффициент корреляции равен 0,80, что показывает высокую достоверность результатов оценки.

Баллы плодородия почв сельскохозяйственных земель широко используются для решения различных задач в сфере сельскохозяйственного производства и земельных отношений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств. Содержание и технология работ / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. – Минск, 2011. – 137 с.
2. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика / Г. М. Мороз [и др.]; под ред. Г. М. Мороза и В. В. Лапа. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 208 с.
3. Результаты кадастровой оценки сельскохозяйственных земель Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. – Минск. – Режим доступа: http://gki.gov.by/ru/rezultati_kadastrovoi_osenki/. – Дата доступа: 20.04.2019.
4. 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.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF SOIL FERTILITY ASSESSMENT OF AGRICULTURAL LANDS OF BELARUS BY ADMINISTRATIVE DISTRICTS

L. I. Shibut, T. N. Azarenok, O. V. Matychenkova, S. V. Shul'gina

Summary

The article analyzes the results of the assessment of soil fertility in agricultural lands of Belarus by administrative districts: a cartogram has been compiled, and a grouping of areas has been carried out according to the soil fertility score. The correlation coefficients of the yield of grain crops with soil fertility scores were established, which showed high reliability of the modern assessment of agricultural land in Belarus.

Поступила 13.05.19

УДК 631.4:631.445.2

КИСЛОТНО-ОСНОВНАЯ БУФЕРНОСТЬ ДЕРНОВО-ПАЛЕВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЛЕГКОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ АГРОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

С. В. Дыдышко, Т. Н. Азаренок, С. В. Шульгина

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

ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень интенсификации земледелия, широкое применение средств химизации и действие техногенных факторов приводят к значительному усилению нагрузки на почву, что, в свою очередь, способствует изменению

кисотно-основной буферности почвы, которая является важнейшей почвенно-химической характеристикой и одним из основных показателей поглотительной способности [1, 2].

Буферность почвы – свойство препятствовать изменению своей активной кислотности (рН) при воздействии кислот или щелочей. Обусловлена присутствием в ней коллоидов, содержащих способные к обмену ионы: ионы водорода определяют буферность по отношению к щелочам, а ионы основания – к кислотам [3].

Многочисленными исследованиями установлено [4–7], что наиболее высокой буферностью характеризуются тяжелые хорошо гумусированные почвы с высокой удельной поверхностью. Чем больше удельная поверхность почвы и ее илистой фракции, тем она более устойчива к деградации при кислотном воздействии. Величина удельной поверхности отражает генетические особенности почв и возрастает от дерново-подзолистых (1,7–2,2 м²/г) к серым лесным (9,5–13,5 м²/г) и черноземам (15–30 м²/г). В этом же направлении повышается гумусированность и сопротивляемость почв к различным антропогенным воздействиям [7].

Анализ параметров буферности [5] показал, что в ряду почв: серые лесные, черноземы типичные карбонатные и черноземы южные буферность против подкисления возрастает. В этом же направлении наблюдается увеличение рН водной и солевой суспензий, реакция почвенного раствора изменяется от сильноокислой до слабощелочной.

Буферные свойства отражают физико-химический аспект плодородия почвы. С ними связаны калийный, фосфатный режимы, уровень и степень устойчивости питания культурных растений, реализация буферных механизмов к подкислению, загрязнению катионами тяжелых металлов [4, 6]. В условиях проявления деградационных процессов в пахотных почвах, затрагивающих указанные компоненты, неизбежно ухудшение буферных свойств. Вместе с ними следует ожидать ослабления экологических функций почвы, их устойчивости к комплексу неблагоприятных факторов, что в конечном итоге отразится на продуктивности культурных растений.

В ряде публикаций [4–7] имеются сведения о взаимосвязи показателей буферности с физико-химическими свойствами почв. Выявление этих взаимосвязей в данной работе не входит в задачи исследования, а послужит материалом для дальнейших публикаций.

На территории Беларуси немногочисленные исследования осуществлены в рамках работ по известкованию [8, 9] и устойчивости почв к изменению реакции среды [10–11]. По мнению авторов, буферность почв Беларуси к изменениям реакции среды зависит от гранулометрического состава: чем тяжелее почва, тем она более устойчива. На формирование устойчивости почвы к подкислению также оказывают влияние исходная кислотность, степень гидроморфизма почвы, содержание гумуса. Однако буферность почв к подкислению является одной из важнейших характеристик химического состояния почвы, контролирующей ее устойчивость ко многим неблагоприятным воздействиям. Она определяется как способность жидкой и твердой фаз противостоять изменению реакции среды при добавлении к почве кислоты. В настоящее время имеются публикации зарубежных и белорусских авторов, свидетельствующие о подкислении почв [12–18].

Новизна работы заключается в том, что на территории Беларуси исследования кислотно-основной буферности на дерново-палево-подзолистых почвах разной степени агрогенной трансформации не проводились. Данные почвы занимают

более 40 % пахотных земель Мстиславского района, относящегося к Оршанско-Мстиславскому ПЭР, отличаются высоким плодородием и интенсивно используются в сельскохозяйственном производстве. Поэтому исследования по определению кислотно-основной буферности дерново-палево-подзолистых почв являются актуальными.

Цель исследований – установить показатели кислотно-основной буферности дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв Мстиславского района и дать количественную и качественную оценку для определения их устойчивости к процессам подкисления.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на дерново-подзолистых почвах, сформировавшихся на мощных лессовидных легких суглинках пахотных земель Оршанско-Мстиславского почвенно-экологического района (ПЭР). В качестве объектов исследования заложена катена, характеризующая естественную дерново-палево-подзолистую легкосуглинистую почву, развивающуюся на мощных лессовидных суглинках (разрез 12–17), ее пахотные (разрезы 13–17, 17–17) и среднесмытый аналоги (разрез 16–17) (рис. 1).

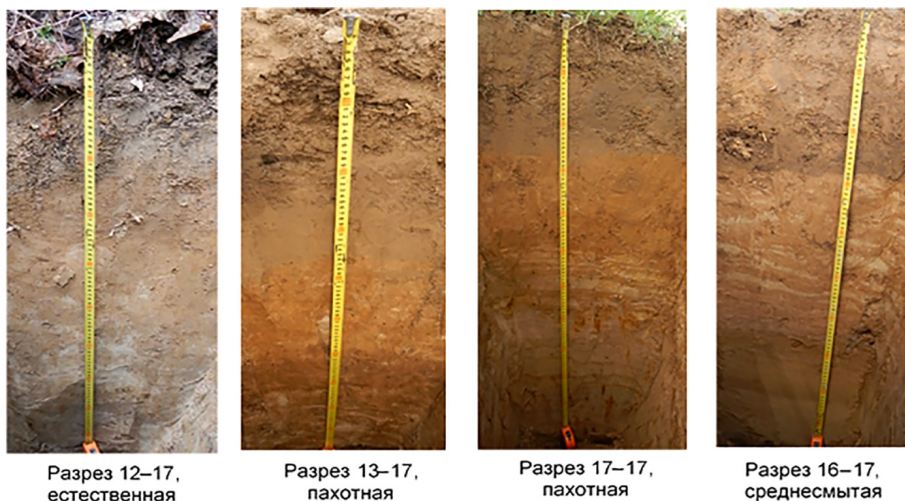


Рис. 1. Дерново-палево-подзолистые легкосуглинистые почвы, развивающиеся на мощных лессовидных легких суглинках разной степени агрогенной трансформации

Разрез 12–17 заложен в лесу на территории ГЛХУ «Горецкий лесхоз» ($54^{\circ}0'46,038''$ с.ш.; $31^{\circ}18'12,846''$ в.д.; $h = 197$ м) Мстиславского района Могилевской области 10.05.2017 г. Растительность: ель, сосна; осина (в подлеске), лещина; напочвенный покров: ветреница. Водное питание атмосферное.

Разрез 13–17 заложен на пахотных землях ОАО «Знамя труда» ($54^{\circ}0'28,248''$ с.ш.; $31^{\circ}20'33,402''$ в.д.; $h = 19$ м) Мстиславского района Могилевской области 10.05.2017 г., внесли навоз. Водное питание атмосферное.

Разрез 17–17 заложен на пахотных землях ОАО «Знамя труда» ($53^{\circ}59'29,592''$ с.ш.; $31^{\circ}20'44,994''$ в.д.; $h = 203$ м) Мстиславского района Могилевс-

кой области 11.05.2017 г., рельеф пологоволнистый, на выровненном повышении, посеяны яровые культуры. Водное питание атмосферное.

Разрез 16–17 заложен на пахотных землях ОАО «Знамя труда» (53°59'48,74" с.ш.; 31°20'27,93" в.д.; h = 244,8 м) Мстиславского района Могилевской области 11.05.2017 г., рельеф холмисто-увалистый, почвы среднесмытые, посеяны яровые культуры, водное питание атмосферное.

Определение кислотно-основной буферности исследуемых почв проводили по методу Аррениуса [19]. Для анализа брали серию навесок почв и приливали растворы кислоты или щелочи различной концентрации. После наступления равновесия в суспензиях определяли величину pH.

На технических весах отвешивали 7 навесок почвы по 10 г и переносили их в плоскодонные колбы на 100 мл. Общее количество раствора (т.е. вода + кислота или вода + щелочь) должно быть постоянным, поэтому к навескам почвы приливали бюреткой различное количество дистиллированной воды. В первую колбу наливали только воду (25 мл), в следующие три колбы – 16, 19 и 22 мл воды и 9, 6 и 3 мл 0,1М HCl соответственно. В оставшиеся три колбы приливали 16, 19 и 22 мл воды и 9, 6 и 3 мл 0,1М NaOH соответственно. Те же операции проводили и с чистым песком. Колбы плотно закрывали пробками и встряхивали на качалке в течение часа, после чего дали осесть крупным частицам суспензии и в надосадочной жидкости определяли величину pH.

Ось абсцисс показывает количество миллилитров добавленной кислоты или щелочи, ось ординат – соответствующие им величины pH (масштаб в 1 см – 2 мл HCl или NaOH; в 1 см – 1 ед. pH). Построенные таким образом кривые являются основой для оценки буферности почв по «площадям буферности», которые определяют как площади между кривыми титрования почвы и кварцевого песка.

Определение кислотно-основной буферности проведено по 4 почвенным разрезам и 13 образцам (12 почвенных горизонтов и кварцевый песок).

Показатели естественной степени буферной способности (ВБС_е) рассчитаны по формуле [20]

$$ВБС_e = (S_n / S_1) * 100,$$

где S_n – площадь буферности исследуемого образца, см²; S₁ – площадь буферности эталона (кварцевого песка), см².

Для оценки исследуемых почв по степени естественной буферной способности использована шкала, разработанная П. П. Надточим (табл. 1) [20].

Таблица 1

Шкала оценки естественной кислотно-основной буферности почв, %* [20]

Оценка показателя	Кислотный интервал	Щелочной интервал
Очень низкая	≤15	≤10
Низкая	16–40	11–30
Средняя	41–60	31–50
Высокая	61–80	51–70
Очень высокая	>81	>71

* Для гумусово-элювиального горизонта естественной почвы, пахотных горизонтов окультуренных почв и пахотного постэрозионного горизонта среднесмытой почвы.

Обработка данных выполнена с помощью «Пакета анализа» Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Определение буферности почв основано на определении сдвига величины рН почв или почвенных суспензий при добавлении к ним кислот или щелочей. В качестве базисной кривой нами использована кривая титрования суспензии кварцевого песка.

При действии на чистый кварцевый песок дистиллированной воды величина рН составляет 7,11 единиц (табл. 2). При добавлении небольшого количества кислоты (3 мл) резко возросло значение рН до 2,49. Затем при добавлении большего количества кислоты значения рН возрастали постепенно. При добавлении небольшого количества щелочи (3 мл) также наблюдается резкое изменение значения рН – снизилось до 11,90. Затем при добавлении большего количества щелочи значения рН изменялись постепенно в сторону снижения кислотности.

Таблица 2

Результаты измерения показателей кислотно-основной буферности исследуемых почв

Реактив		Приливо, мл						
		1	2	3	4	5	6	7
H ₂ O		16	19	22	25	22	19	16
0,1 М NaOH		9	6	3	–	–	–	–
0,1 М HCl		–	–	–	–	3	6	9
Разрез	Генетический горизонт, глубина отбора образца, см	рН _{NaOH}			рН _{H₂O}	рН _{HCl}		
Кварцевый песок		12,45	12,23	11,90	7,11	2,49	1,93	1,68
12–17	A ₁ A ₂ , 10–15	8,74	7,69	6,65	4,53	2,17	2,25	1,89
12–17	B _t , 30–40	8,56	7,82	7,14	5,35	3,74	2,83	2,36
12–17	B ₂ , 50–60	8,83	8,14	7,06	5,32	3,53	2,64	2,18
12–17	B _{2g} , 75–85	9,09	8,40	7,50	5,52	3,45	2,79	2,29
13–17	A _n , 5–15	9,42	9,37	8,71	7,73	6,67	6,30	5,60
13–17	A ₁ , 25–30	9,95	9,57	8,67	7,38	6,03	4,98	4,32
13–17	B ₁ , 40–45	9,75	9,27	8,67	7,23	4,73	3,54	3,00
13–17	B ₁ , 55–65	9,60	9,09	8,48	6,60	4,23	3,31	2,75
17–17	A _n , 5–10	10,25	9,37	8,29	6,50	4,24	3,14	2,47
17–17	B _t , 35–45	9,94	9,37	8,39	6,54	4,25	3,26	2,73
17–17	BC, 55–65	10,77	10,20	9,13	5,48	3,14	2,48	2,14
17–17	BC _g , 70–80	10,80	10,01	8,60	5,57	3,46	2,64	2,21
16–17	A _n B, 5–10	11,02	9,76	9,15	7,31	4,84	3,78	3,05
16–17	B _t , 35–40	10,52	10,02	8,98	6,73	4,33	3,28	2,66
16–17	B _t , 55–65	10,44	9,76	8,85	6,36	4,09	3,19	2,59
16–17	BC, 75–85	11,86	11,32	9,80	8,21	7,32	6,84	6,62

При действии воды на естественную почву (разрез 12–17) величина рН изменяется от среднекислой (4,53 ед.) в гумусово-элювиальном горизонте A₁A₂ до слабокислой (5,52 ед.) в иллювиальном оглеенном горизонте B_{2g}. При добавлении небольшого количества кислоты (3 мл) показатели рН снижаются от 2,17 в горизонте A₁A₂ до 3,74 в текстурном горизонте B_t. Затем при добавлении большего

количества кислоты показатели рН снижаются постепенно. При добавлении небольшого количества щелочи (3 мл) значение показателей рН возрастает от 6,65 в горизонте A_1A_2 до 7,50 в иллювиальном горизонте B_{2g} . При добавлении большего количества щелочи значения рН возрастают постепенно.

При действии воды на пахотную почву (разрез 13–17) величина рН изменяется от 7,73 единиц (слабощелочная рН) в пахотном горизонте A_n до 6,60 (нейтральная рН) в иллювиальном горизонте B_1 на глубине 55–65 см. При добавлении небольшого количества кислоты (3 мл) значения рН снижаются до 6,67 и 4,23 в соответствующих горизонтах. При добавлении большего количества кислоты значения показателей рН постепенно снижаются. При добавлении небольшого количества щелочи (3 мл) значение рН возрастает и составляет 8,71 в горизонте A_n и 8,48 в горизонте B_1 . При добавлении большего количества щелочи значения показателей рН постепенно возрастают.

При действии воды на пахотную почву (разрез 17–17) величина рН изменяется от нейтральной (6,54 ед.) в иллювиальном текстурном горизонте B_t до кислой (5,48 ед.) в горизонте BC на глубине 55–65 см. При добавлении небольшого количества кислоты (3 мл) значение показателей рН снижаются до 4,25 и 3,14 в соответствующих горизонтах. При добавлении большего количества кислоты значения рН постепенно снижаются. При добавлении небольшого количества щелочи (3 мл) значение показателей рН возрастает до 9,13 в горизонте BC на глубине 55–65 см до 8,29 в пахотном горизонте A_n . При добавлении большего количества щелочи значения рН возрастают постепенно.

При действии воды на среднесмытую почву (разрез 16–17) величина рН изменяется от близкой к нейтральной (6,36 ед.) в иллювиальном текстурном горизонте B_t на глубине 55–65 см до слабощелочной (8,21 ед.) в горизонте BC . При добавлении небольшого количества кислоты (3 мл) значение показателей рН снижаются до 4,09 и 7,32 в соответствующих горизонтах. При добавлении большего количества кислоты значения рН постепенно снижаются. При добавлении небольшого количества щелочи (3 мл) значение рН возрастает до 8,85 в горизонте B_t на глубине 55–65 см и до 9,80 в горизонте BC . При добавлении большего количества щелочи рН возрастают постепенно.

Нами рассчитаны площади буферности исследуемых почв разной степени агрогенной трансформации в кислотном и щелочном интервале по отношению к кривой буферности кварцевого песка (табл. 3).

Согласно полученным данным, площадь буферности естественной почвы (разрез 12–17) в щелочном интервале изменяется от 19,9 см² в гумусово-элювиальном горизонте A_1A_2 и постепенно снижается до 17,7 см² в иллювиальном горизонте B_{2g} . Показатели естественной буферности в щелочном интервале изменяются от 38,7 % до 33,8 % в аналогичных горизонтах. В кислотном интервале площадь буферности естественной почвы изменяется от 2,4 см² в горизонте A_1A_2 до 3,1 см² в иллювиальном текстурном горизонте B_t . Показатели естественной буферности в кислотном интервале изменяются от 17,5 % в иллювиальном горизонте B_2 до 19,7 % в горизонте B_t .

Площадь буферности пахотной почвы (разрез 13–17) в щелочном интервале возрастает от 10,9 см² в гумусовом горизонте A_1 до 12,9 см² в иллювиальном горизонте B_1 на глубине 55–65 см. Показатели естественной буферности в щелочном интервале изменяются от 21,2 % до 25,1 % в аналогичных горизонтах. В кислот-

ном интервале площадь буферности снижается от 17,6 см² в пахотном горизонте А_п до 5,1 см² в горизонте В₁. Показатели естественной буферности в кислотном интервале снижаются от 59,3 % до 29,0 % в аналогичных горизонтах.

Таблица 3

Площадь буферности исследуемых почв

Разрез	Генетический горизонт, глубина отбора образца, см	Площадь буферности в щелочном интервале, см ²	Площадь буферности в кислотном интервале, см ²	Естественная буферность в щелочном интервале, %	Естественная буферность в кислотном интервале, %
12–17	А ₁ А ₂ , 10–15	19,9	2,4	38,7	18,8
12–17	В _т , 30–40	18,1	3,1	35,7	19,7
12–17	В ₂ , 50–60	17,8	2,7	34,8	17,5
12–17	В _{2g} , 75–85	17,7	2,9	33,8	18,5
13–17	А _п , 5–15	11,2	17,6	22,1	59,3
13–17	А ₁ , 25–30	10,9	12,3	21,2	49,4
13–17	В ₁ , 40–45	11,5	6,5	22,4	33,9
13–17	В ₁ , 55–65	12,9	5,1	25,1	29,0
17–17	А _п , 5–10	12,0	4,6	23,4	27,5
17–17	В _т , 35–45	12,3	5,2	25,7	28,9
17–17	BC, 55–65	10,0	1,5	19,4	10,6
17–17	BC _g , 70–80	10,1	2,3	19,9	15,6
16–17	А _п В, 5–10	9,0	7,2	17,6	36,2
16–17	В _т , 35–40	9,6	5,2	18,8	29,2
16–17	В _т , 55–65	10,6	4,5	20,6	26,6
16–17	BC, 75–85	4,8	19,0	9,3	60,3

Площадь буферности пахотной почвы (разрез 17–17) в щелочном интервале изменяется от 12,3 см² в иллювиальном текстурном горизонте В_т до 10,0 см² в горизонте BC на глубине 55–65 см. Показатели естественной буферности в щелочном интервале изменяются от 25,7 % до 19,4 % в аналогичных горизонтах. Площадь буферности в кислотном интервале изменяется от 5,2 см² в иллювиальном текстурном горизонте В_т до 1,5 см² в горизонте BC на глубине 55–65 см. Показатели естественной буферности в щелочном интервале изменяются от 28,9 % до 10,6 % в аналогичных горизонтах.

Площадь буферности среднесмытой почвы (разрез 16–17) в щелочном интервале изменяется от 10,6 см² в иллювиальном текстурном горизонте В_т на глубине 55–65 см до 4,8 см² в горизонте BC. Показатели естественной буферности в щелочном интервале изменяются от 20,6 % до 9,3 % в аналогичных горизонтах. Площадь буферности в кислотном интервале изменяется от 4,5 см² в иллювиальном текстурном горизонте В_т до 19,0 см² в горизонте BC. Показатели естественной буферности в щелочном интервале изменяются от 26,6 % до 60,3 % в аналогичных горизонтах.

Таким образом, в кислотном интервале площадь буферности (S_к) в гумусово-элювиальном и пахотных горизонтах исследуемых почв возрастает в следующей последовательности: естественная – пахотная (разрез 17–17) – среднесмытая – пахотная почва (разрез 13–17) (табл. 3, рис. 2).

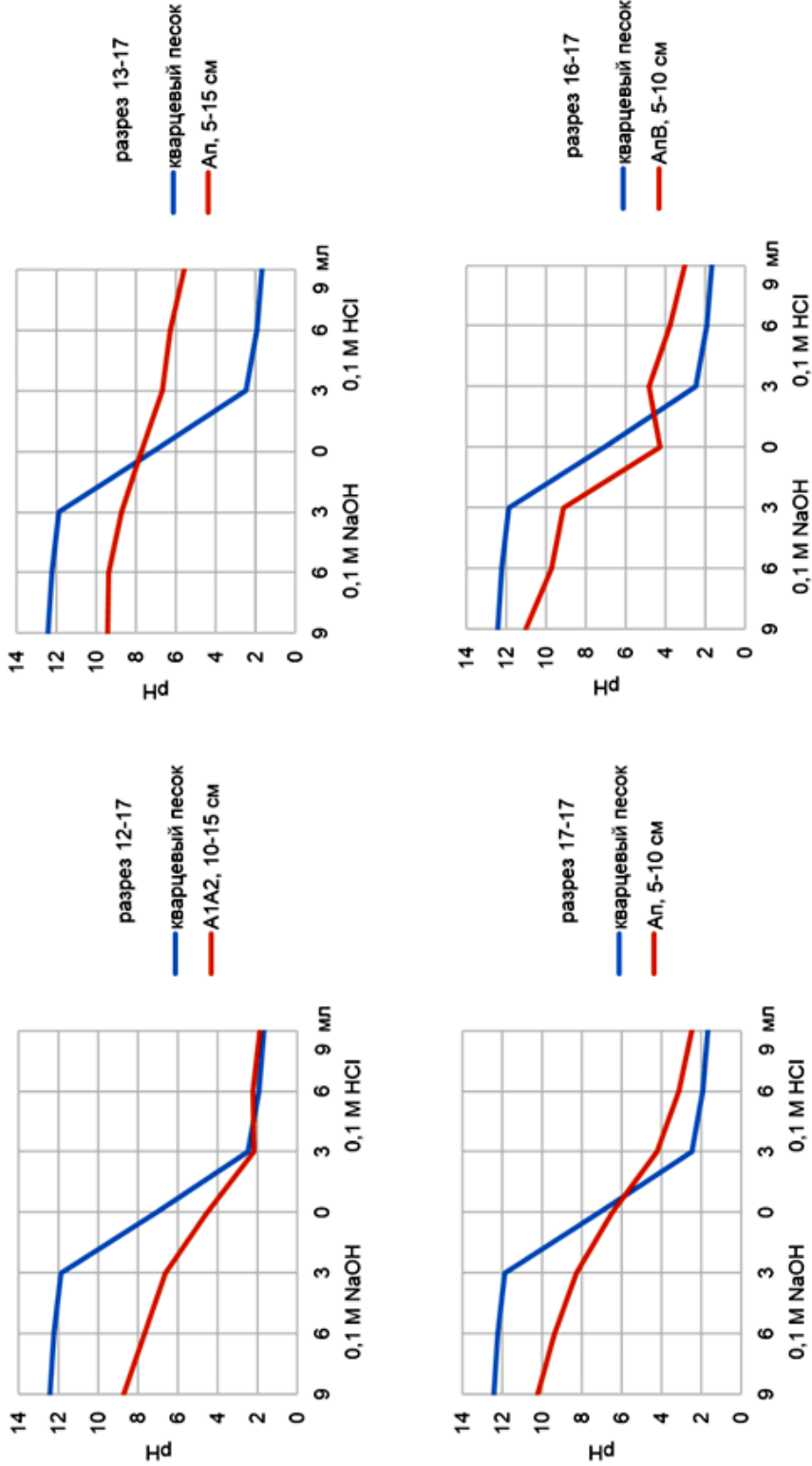


Рис. 2. «Площади буферности» гумусово-элювиального горизонта естественной почвы, пахотных горизонтов окультуренных почв и пахотного постэрозийного горизонта среднесмытой почвы

В окультуренной почве (разрез 13–17) отмечается наибольшее значение S_k , что свидетельствует об ее большей устойчивости к подкислению ($S_k > S_{щ}$ в 1,6 раза). Согласно полученным данным установлено, что почва под лесом, ее пахотный аналог (разрез 17–17) и среднесмытая почва характеризуются «низкой» естественной буферностью, а окультуренная почва (разрез 13–17) – «средней» (табл. 1).

В щелочном интервале в гумусово-элювиальном и пахотных горизонтах исследуемых почв площадь буферности ($S_{щ}$) возрастает в следующей последовательности: среднесмытая почва – пахотные аналоги – естественная почва. В почве под лесом, ее пахотном (разрез 17–17) и среднесмытом аналогах $S_{щ} > S_k$ больше в 8,3, 2,6 и 1,3 раза соответственно. В пахотных почвах по сравнению с естественной почвой значения $S_{щ}$ снижаются, что свидетельствует о снижении устойчивости почвы к подщелачиванию. В целом среднесмытая и пахотные почвы характеризуются «низкой» естественной буферностью, а естественная почва – «средней».

Таким образом, в пахотных горизонтах окультуренных почв отмечается снижение буферности к подщелачиванию и возрастание буферности к подкислению по сравнению с гумусово-элювиальным горизонтом естественной почвы, а в пахотном постэрозионном горизонте среднесмытой почвы по сравнению с пахотными горизонтами окультуренных почв наблюдается снижение буферности к подщелачиванию и возрастание буферности к подкислению (относительно разреза 17–17) и снижение буферности к подкислению (относительно разреза 13–17).

ВЫВОДЫ

Результаты исследования позволили заключить, что:

- Определение буферности почв основано на определении сдвига величины рН почв или почвенных суспензий при добавлении к ним кислот или щелочей. В качестве базисной кривой нами использована кривая титрования суспензии кварцевого песка.
- При действии дистиллированной воды на чистый кварцевый песок рН характеризуется слабощелочной реакцией. При добавлении разного количества кислоты (щелочи) в кварцевый песок реакция рН резко возрастает (снижается) от сильнокислой до слабощелочной. При действии воды на естественную почву реакция рН по профилю изменяется от средне- до слабокислой, а в пахотных аналогах и среднесмытой почве – от кислой до слабощелочной. При добавлении разного количества кислоты (щелочи) в естественную почвы, пахотные аналоги и среднесмытую почву реакция рН изменяется от сильнокислой до слабощелочной, но возрастание (снижение) показателей рН более плавное.
- В кислотном интервале площадь буферности (S_k) в гумусово-элювиальном и пахотных горизонтах исследуемых почв возрастает в следующей последовательности: естественная – пахотная (разрез 17–17) – среднесмытая – пахотная (разрез 13–17) почва. В пахотном горизонте окультуренной почвы (разрез 13–17) отмечается наибольшее значение S_k , что свидетельствует об ее большей устойчивости к подкислению ($S_k > S_{щ}$ в 1,6 раза).
- Согласно полученным данным установлено, что в кислотном интервале почва под лесом, ее пахотный аналог (разрез 17–17) и среднесмытая почва ха-

рактируются «низкой» естественной буферностью, а окультуренная (разрез 13–17) – «средней».

- В щелочном интервале в гумусово-элювиальном и пахотных горизонтах исследуемых почв площадь буферности ($S_{щ}$) возрастает в следующей последовательности: среднесмытая почва – пахотные аналоги – естественная почва. В почве под лесом, в ее пахотном (разрез 17–17) и среднесмытом аналогах $S_{щ} > S_k$ больше в 8,3, 2,6 и 1,3 раза соответственно. В пахотных почвах по сравнению с естественной почвой значения $S_{щ}$ снижаются, что свидетельствует о снижении устойчивости почвы к подщелачиванию с увеличением степени окультуренности.

- Установлено, что в щелочном интервале среднесмытая и пахотные почвы характеризуются «низкой» естественной буферностью, а естественная почва – «средней».

- В пахотных почвах отмечается снижение буферности к подщелачиванию и возрастание буферности к подкислению по сравнению с естественной почвой, а в среднесмытой почве по сравнению с окультуренными почвами наблюдается снижение буферности к подщелачиванию и возрастание буферности к подкислению (относительно разреза 17–17) и снижение буферности к подкислению (относительно разреза 13–17).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Соколова, Т. А.* Химические основы буферности почв / Т. А. Соколова, Г. В. Мотузова, М. С. Малинина. – М.: изд-во МГУ, 1991. – 108 с.
2. *Савченко, Т. И.* Буферность почв и факторы почвенной кислотности / Т. И. Савченко // Химизация сельского хозяйства. – 1989. – № 2. – С. 40–43.
3. *Амельянчук, О. А.* Показатели и методы оценки почвенной кислотности и потребности почв в извести / О. А. Амельянчук, Л. А. Воробьева // Агрохимия. – 1991. – № 2. – С. 123–135.
4. *Головина, Н. А.* Современные подходы в моделировании плодородия агросерой почвы для оценки ее устойчивости к неблагоприятным воздействиям в условиях юга Нечерноземной зоны РФ: дис. ... канд. биол. наук: 06.01.04 / Н. А. Головина; Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева. – Рязань, 2018. – 135 с.
5. *Назырова, Ф. И.* Кислотно-основная буферность зональных типов почв Южного Приуралья в агротехногенных условиях / Ф. И. Назырова, Т. Т. Гарипов // Вестник ОГУ. – 2011. – № 6(125). – С. 147–156.
6. Устойчивость почвы: научно-аналитический подход в агроэкологической оценке плодородия / Р. Н. Ушаков [и др.]. – Рязань: РГАТУ, 2013. – 98 с.
7. *Хабиров, И. К.* Устойчивость почвенных процессов / И. К. Хабиров, И. М. Габбасова, Ф. Х. Хазиев. – Уфа: Изд. БГАУ, 2001. – 326 с.
8. *Клебанович, Н. В.* Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Василук. – Минск: Белорусский государственный университет, 2003. – 322 с.
9. *Хапкина, З. А.* Буферность торфяно-болотных почв / З. А. Хапкина, Е. С. Мееровский // Почвоведение и агрохимия; ред. кол. Т. Н. Кулаковская [и др.]. – Вып. 14. – Минск: Ураджай, 1978. – С. 38–44.

10. *Ересько, М. А.* Оценка кислотно-основной буферности почв Западно-Белорусской физико-географической провинции: ... автореферат на соиск. учен. степени канд. геогр. наук. по специальности 25.03.01 / М. А. Ересько. – 2016. – 26 с.

11. *Клебанович, Н. В.* Устойчивость почв Беларуси к изменению реакции среды / Н. В. Клебанович, М. А. Ересько // Приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрений: материалы Междунар. науч.-практ. конф. посвящ. 90-летию со дня рожд. заслуж. работника Высш. шк. БССР, д. с.-х. н., проф. А. А. Каликинского, Горки, 15–17 ноября 2005 г. / Белорус. гос. с.-х. академия; редкол. А. Р. Цыганов [и др.]. – Горки: БГСХА, 2006. – С. 85–88.

12. *Минеев, В. Г.* Биологическое земледелие и минеральные удобрения / В. Г. Минеев, Б. Дебрецени, Т. Мазур. – М.: Колос, 1993. – 413 с.

13. *Смык, А. В.* Изменение свойств черноземов в результате хозяйственной деятельности человека / А. В. Смык [и др.] // Тез. докл. Всероссийской конференции. – М., 2002. – С. 185.

14. *Муха, В. Д.* Изменение физико-химических свойств чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании / В. Д. Муха, В. И. Лазарев // Агрохимия. – 2003. – № 1. – С. 5–7.

15. Влияние многолетнего внесения удобрений на почвенно-поглощающий комплекс и микробное сообщество выщелоченного чернозема / И. Д. Свистова [и др.] // Агрохимия. – 2004. – № 6. – С. 16–23.

16. *Ильина, Л. В.* Комплексное воспроизводство плодородия серых лесных почв и его эффективность / Л. В. Ильина. – Рязань: Узоречье, 1997. – 231 с.

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

18. *Богдевич, И. М.* Динамика агрохимических свойств почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич, О. Л. Ломонос // Плодородие почв: оценка, использование и охрана, воспроизводство: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Минск, 26–30 июня 2017 г. / редкол.: В. В. Лапа [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – С. 27–30.

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

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

THE ACID-ALKALINE BUFFERING CAPACITY OF THE SOD-PALE-PODZOLIC-LIGHT LOAMY SOILS OF A DIFFERENT DEGREE OF AGROGENIC TRANSFORMATION

S.V. Dydyshka, T.N. Azarenok, S.V. Shul'gina

Summary

The article presents acid-alkaline buffering capacity evaluated of sod-pale-podzolic light loamy soils as a result of the cultural process of soil formation. The areas of buffering of examine soils in the acid and alkaline ranges as compared with the buffering capacity of quartz sand were determined is shown. A qualitative assessment of soil buffering

is given on the basis of the scale of natural acid-alkaline buffering. The obtained data of buffer capacity of soils can be applied for assess the functional state of the soil absorbing complex and the degree of soil resistance to anthropogenic influences.

Поступила 13.05.19

УДК 631.434.1:631.445.2

СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОТИВОЭРОЗИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ, СФОРМИРОВАННЫХ НА МОРЕННЫХ И ЛЁССОВИДНЫХ СУГЛИНКАХ

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Активное использование почв сельскохозяйственных земель приводит к изменению их структурного состояния. Структурно-агрегатный состав почв является одним из главнейших показателей, определяющих физическое состояние почвы. Хорошая структура обеспечивает благоприятный водный, воздушный и тепловой режимы почв.

В физике почв ее структуру оценивают количественно на основании распределения содержания агрегатов (воздушно-сухих и водоустойчивых) по их размерам. Высокое содержание как самых крупных (глыбы >10 мм), так и самых мелких (пылеватая часть почвы <0,25 мм) агрегатов указывает на неблагоприятное физическое состояние почвенной структуры. Агрегаты размерами 10–0,25 мм придают структуре уникальность в виде почвенных комочков и определяют плодородие. Поэтому их и называют агрономически ценными [1].

Среди большого разнообразия агрономических форм почвенной структуры наиболее часто встречаются следующие: зернистая, комковатая, ореховатая, листоватая, плитчатая, столбчатая и призматическая [2].

Следует отметить, что наряду со структурными почвами в природе встречаются не имеющие агрономически ценной структуры. Бесструктурными в большинстве случаев являются песчаные почвы, а также рыхлосупесчаные, с низким содержанием органического вещества. Поэтому понятия «структура» и «структурность» применяются главным образом к почвам суглинистого и глинистого гранулометрического состава [1].

Характерной особенностью дерново-подзолистых эродированных почв является дифференциация почвенного профиля. Четко выраженный подзолистый горизонт характерен лишь для неэродированных почв. В результате эрозионных процессов происходит упрощение профиля. Смыв материала с поверхности и

вовлечение в пахотный горизонт материала иллювиальных горизонтов приводит к обеднению почв гумусом, некоторым изменениям гранулометрического состава, формированию глыбистого с неблагоприятной структурой маломощного пахотного горизонта [3].

Структурно-агрегатный состав оказывает непосредственное влияние на противозерозионную устойчивость почв. Повышенное содержание мелких частиц способствует более сильному смыву почвы. Даже при незначительных скоростях поверхностного стока мелкие частицы легче переходят во взвешенное состояние в потоке и уносятся последним, так как смыв почвы прямо пропорционален способности ее частиц переходить во взвешенное состояние [4].

Цель исследований заключалась в установлении изменений показателей, характеризующих структуру и устойчивость к эрозии в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв, развивающихся на моренных и лессовидных легких суглинках.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований явились дерново-подзолистые легкосуглинистые почвы, сформированные на лессовидных и моренных почвообразующих породах, подверженные в различной степени эрозионной деградации и представляющие собой единые в геоморфологическом отношении почвенно-эрозионные катены. На водораздельной равнине расположена неэродированная почва, в верхней части склона – слабо- и среднеэродированная, в средней части – сильноэродированная.

В ходе исследований обработаны данные за звено шести почвозащитных севооборотов с различной насыщенностью зерновыми культурами за период 2015–2018 гг.

Отбор монолитов проводился на двух опытных стационарах – «Браслав» (ОАО «Межаны» Браславского районе Витебской области) и «Стоковые площадки» (ОАО «Щомыслица» Минского района Минской области) перед уборкой сельскохозяйственных культур, когда состояние почвы пахотных земель наиболее близко к равновесному.

В процессе исследований определены показатели, характеризующие структурно-агрегатный состав пахотного горизонта почв, исходя из данных сухого и мокрого просеивания, определяемых по методу Н. И. Саввинова:

- водоустойчивость по классификации Н. А. Качинского – содержание агрегатов более 0,25 мм при мокром просеивании, %;
- коэффициент структурности (Кстр) – отношение содержания агрономически ценных агрегатов (0,25–10 мм) к сумме агрегатов >10 и <0,25 мм при сухом просеивании;
- коэффициент нестабильности (Кнест.), отражающий изменение средневзвешенного диаметра агрегатов при сухом и мокром просеивании почвы;
- средневзвешенный диаметр агрегатов при мокром просеивании, мм [5–7].

Выбор этих показателей для характеристики структурного состояния пахотного горизонта почв обусловлен тем, что именно они определяют устойчивость структуры к разрушению.

Для качественной оценки структурного состояния почвы по количеству воздушно-сухих и водопрочных агрегатов агрономически ценного размера использовали шкалу С. И. Долгова, Н. А. Качинского [6, 8] (табл. 1).

Таблица 1

Критерии оценки структурного состояния и водоустойчивости почвы

Состояние	Коэффициент структурности	Водоустойчивость, %
Хорошее	Блее 1,5	75–40
Удовлетворительное	1,5–0,67	40–30
Неудовлетворительное	Менее 0,67	Менее 30 и более 75

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показывают, что структурное состояние и водоустойчивость дерново-подзолистых эродированных почв зависит от генезиса почвообразующих пород, а также от степени проявления процессов эрозийной деградации (табл. 2). Стоит отметить, что средние значения показателей вычислялись без учета максимальных и минимальных значений (экстремумов), что позволяет провести более объективную оценку физического состояния и устойчивости почв к эрозийной деградации.

Таблица 2

Изменение показателей структурно-агрегатного состава и противозероной устойчивости дерново-подзолистых почв разной степени эродированности, сформированных на моренных и лессовидных суглинках

Степень эродированности	Показатель											
	коэффициент структурности				водоустойчивость, %				коэффициент нестабильности			
	среднее значение	+/-*	min	max	среднее значение	+/-	min	max	среднее значение	+/-	min	max
<i>Лессовидные суглинки</i>												
Неэродированная	1,8	–	1,1	6,3	37	–	17	65	4,1	–	2,9	5,9
Среднеэродированная	1,6	–0,2	1,2	2,5	15	–22	9	32	5,1	+1,0	3,6	5,8
Сильноэродированная	1,4	–0,4	0,8	2,6	14	–23	8	21	5,2	+1,1	4,7	6,5
<i>Моренные суглинки</i>												
Неэродированная	1,4	–	0,6	3,1	55	–	31	73	5,1	–	4,1	6,9
Среднеэродированная	1,0	–0,4	0,3	2,0	50	–5	36	62	5,8	+0,7	4,7	7,9
Сильноэродированная	0,6	–0,8	0,2	1,4	49	–6	35	62	6,7	+1,6	4,6	8,3

* +/- – отклонение показателя от среднего значения неэродированной почвы.

Коэффициент структурности позволяет качественно оценить структурно-агрегатный состав. Структурное состояние средне- и незэродированных почв, сформированных на лессовидных суглинках, можно охарактеризовать как хорошее, сильноэродированных разновидностей – как удовлетворительное. Самое низкое значение Кстр. на сильноэродированной почве и составляет 0,8. Выявлено постепенное снижение показателя по почвенно-эрозионной катене – величина среднего значения на незэродированной почвенной разновидности выше, чем на сильноэродированной на 0,4 (22,2 %). Высокие значения коэффициента структурности обусловлены генезисом почвообразующих пород.

Дерново-подзолистые легкосуглинистые почвы разной степени эродированности, сформированные на моренных легких суглинках, обладают худшим структурным состоянием, чем почвы на лессовидных суглинках. Это отражает значение показателя коэффициента структурности – средний Кстр. незэродированных и среднеэродированных разновидностей находится в диапазоне удовлетворительных значений, а сильноэродированных – неудовлетворительных. Характеризуя экстремумы, стоит отметить, что минимумы всех почвенных разновидностей соответствуют неудовлетворительным значениям. Изменения по степеням эродированности более существенные, чем на лессовидных породах: Кстр. среднеэродированной почвы по сравнению с незэродированной меньше на 0,4 (28,6 %), а сильноэродированной – на 0,8 (57,1 %).

Повторяемость значений коэффициента структурности за период исследований (2015–2018 гг.) отражена на рис. 1 и хорошо иллюстрирует различия в структурном состоянии почв, сформированных на разных почвообразующих породах.

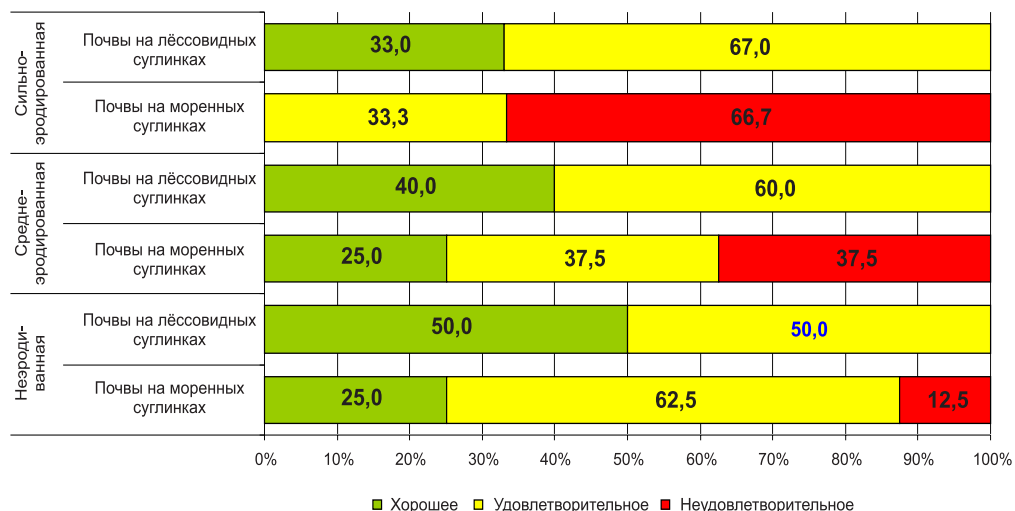


Рис. 1. Повторяемость значений коэффициента структурности за период исследований, %

Полученные данные целиком соответствуют результатам ранее проведенных исследований, подтверждая, что эродированные почвы, сформированные на моренных суглинках, обладают неблагоприятной глыбистой структурой [9–11].

Коэффициент нестабильности указывает на изменение средневзвешенного диаметра при сухом и мокром просеивании. Более высокие значения на моренных

суглинках обусловлены высокой долей глыбистой фракции при сухом просеивании. На лёссовидных суглинках ситуация обратная: почвенные агрегаты > 10,0 мм практически отсутствуют, а преобладают мелкодисперсные. Рост значений Кнест. при увеличении степени эродированности связан с уменьшением количества макроагрегатов (их разрушением).

При характеристике противозерозионной устойчивости отмечается противоположная тенденция. Почвы, развивающиеся на моренных суглинках, более устойчивы к процессам эрозионной деградации. Средние значения водоустойчивости всех разновидностей находятся в диапазонах хороших значений, только минимумы относятся к удовлетворительным.

Устойчивость почв на лёссовидных суглинках крайне низкая, что обусловлено несколькими факторами. Рыхлое сложение, преобладание в гранулометрическом составе эродируемой пылеватой фракции, интенсивное сельскохозяйственное использование приводит к широкому проявлению эрозионной деградации на данных породах. Только на незеродированных почвах средний показатель водоустойчивости находится в пределах удовлетворительных значений, в тоже время минимум соответствует неудовлетворительным значениям. Водоустойчивость эродированных разновидностей, за исключением отдельных случаев, неудовлетворительная.

Изменение показателя водоустойчивости за период исследований отражено на рис. 2. Лёссовидные почвообразующие породы обладают крайне низкой устойчивостью к водно-эрозионным процессам. Хорошая водоустойчивость выявлена только в 1/3 случаев на незеродированных почвах. Сильноэродированные почвы обладают неудовлетворительной водоустойчивостью.

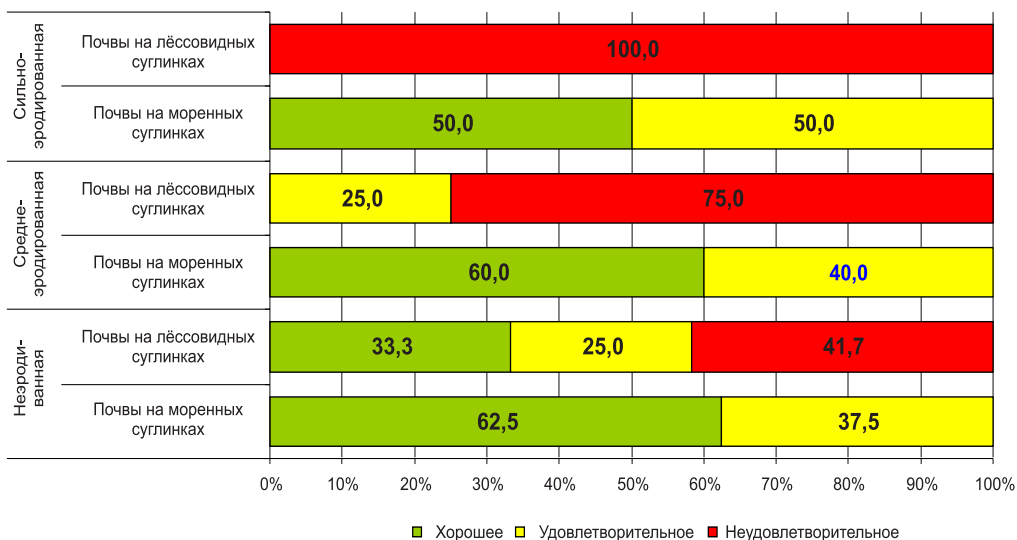


Рис. 2. Повторяемость значений водоустойчивости за период исследований, %

Моренным материнским породам свойственна более высокая устойчивость к водно-эрозионным процессам, что проявилось в отсутствии случаев с неблагоприятными показателями. Полученные результаты полностью согласуются с ранее проведенными исследованиями [12].

Важным показателем при моделировании процессов эрозии является средневзвешенный диаметр агрегатов при мокром просеивании. Большой диаметр водопрочных агрегатов увеличивает предельную скорость водного потока, необходимого для отрыва почвенных частиц [13].

Средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов в незэродированных почвах на моренных легких суглинках более чем в 1,5 превосходит аналогичные на лессовидных. В эродированных разновидностях разница еще больше – приблизительно в 2 раза (рис. 3). Поэтому для размыва почв на моренных почвообразующих породах необходимы более высокие скорости водного потока, что указывает на большую устойчивость этих почв к процессам эрозионной деградации.

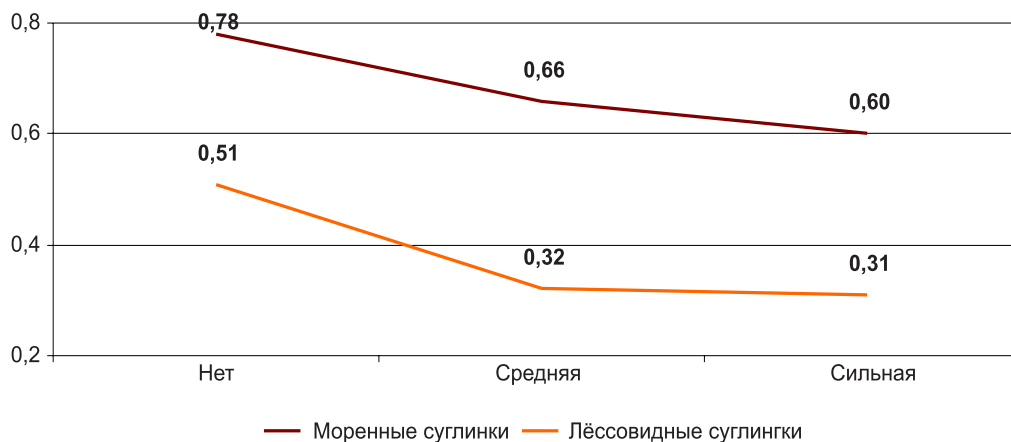


Рис. 3. Среднее значение средневзвешенного диаметра агрегатов при мокром просеивании, мм

Стоит подчеркнуть, что, несмотря на низкую противоэрозионную устойчивость, почвам, сформированным на лессовидных генетических породах, характерно более благоприятное физическое состояние в целом и структурно-агрегатного состава в частности, чем почвам, сформированным на моренных суглинках [14].

ВЫВОДЫ

По результатам исследований, проведенных в 2015–2018 гг., выявлено, что структурно-агрегатный состав и противоэрозионная устойчивость дерново-подзолистых легкосуглинистых почв определяется генезисом почвообразующих пород и степенью проявления эрозионных процессов.

В целом структурное состояние незэродированных почв, сформированных на лессовидных суглинках, можно охарактеризовать как хорошее (среднее значение Кстр. 1,8), а эродированных – как хорошее и удовлетворительное (Кстр. – 1,4–1,6). На моренных суглинках незэродированные и среднеэродированные разновидности обладают удовлетворительной структурой (Кстр. – 1,0–1,4), а сильноэродированные – неудовлетворительной (Кстр. – 0,6).

Устойчивость к эрозионным процессам выше у почв, сформированных на моренных материнских породах, что проявляется в более высоких значениях показателя водоустойчивости и средневзвешенного диаметра водопрочных аг-

регатив. Противозерозийная стойкость почв, сформированных на лессовидных суглинках – неудовлетворительная, лишь водоустойчивость незерозированных разновидностей можно охарактеризовать как удовлетворительную.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Медведев, В. В.* Структура почвы: методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана / В. В. Медведев. – Харьков: 13 тип, 2008. – 406 с.
2. Географія ґлебаў з асновамі ґлебазнаўства: падручнік / В. С. Аношка [і інш.]; рэд. В. С. Аношка. – Мінск: Выд-ва БДУ, 2000. – 329 с.
3. *Жилко, В. В.* Эродированные почвы Белоруссии и их использование / В. В. Жилко. – Минск: Ураджай, 1976. – 168 с.
4. *Ларионов, Г. А.* Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки / Г. А. Ларионов. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 200 с.
5. Агрофизические методы исследования почв [Текст] / [Отв. ред. д-р с.-х. наук С. И. Долгов]; Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. – М.: Наука, 1966. – 259 с.
6. *Качинский, Н. А.* Физика почв / Н. А. Качинский. – М.: Высшая школа, 1965. – Ч. 1. – 323 с.
7. *Вадюнина, А. Ф.* Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
8. *Долгов, С. И.* О критериях оптимального сложения пахотного слоя почвы / С. И. Долгов, И. В. Кузнецова, С. А. Модина // Проблемы обработки почвы: докл. междунар. совещ., Варна, 13–15 июня 1968 г. / Болг. акад. наук. – София, 1970. – С. 131–142.
9. Современное состояние агрофизических свойств почв Белорусского Полесья / А. Ф. Черныш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 2 (53). – С. 19–28
10. Современное агрофизическое состояние почв центральной почвенно-экологической провинции / А. Ф. Черныш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 1 (56). – С. 15–25.
11. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапы, А. Ф. Черныша; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 170 с.
12. *Черныш, А. Ф.* Сравнительная оценка агрофизических, микроморфологических свойств и минералогического состава, отражающих степень устойчивости дерново-подзолистых почв на лессовидных и моренных суглинках к эрозийной деградации / А. Ф. Черныш, В. Т. Сергеенко, В. Б. Цырибко // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1(52). – С. 32–40.
13. *Мирицхулава, Ц. Е.* Размыв русел и методика их устойчивости / Ц. Е. Мирицхулава. – М.: Колос, 1967. – 179 с
14. *Цырибко, В. Б.* Агрофизические свойства почв, сформированных на различных почвообразующих породах, и их оптимальные параметры: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / В. Б. Цырибко; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2017. – 23 с.

STRUCTURAL CONDITION AND ANTI-EROSION RESISTANCE OF SOD-PODZOLIC SOILS FORMED ON MORaine AND LOESS-LIKE LOAMS

**V. B. Tsyrybka, N. N. Tsybulko, A. M. Ustinova, I. A. Logachev,
I. I. Kasyanenko, A. V. Yukhnovets, A. A. Mitskova**

Summary

The change in the structural-aggregate composition and indicators of anti-erosion resistance of sod-podzolic light loamy soils depending on the genesis of the soil parental material and the degree of manifestation of the processes of erosion degradation are analyzed in the article.

Поступила 16.04.19

УДК 631.4:549.905.8

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СОПРЯЖЕННОЙ ПАРЫ ОРОШАЕМОГО И НЕОРОШАЕМОГО КАРБОНАТНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ЮГА МОЛДОВЫ

В. Е. Алексеев

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

ВВЕДЕНИЕ

Исследования влияния орошения на минералогический состав черноземов на территории бывшего СССР проведены в основном в 70–90-х годах прошлого столетия. Они, в частности, показали, что внимание ученых было сосредоточено на изучении воздействия поливных вод разного качества на состав и содержание глинистых минералов. Влияние орошения на первичные минералы в этих исследованиях практически не получили отражения. Некоторые данные по первичным минералам приводятся нами в [1]. Трактуются они в том смысле, что орошение черноземов достаточно продолжительное время (10–15 лет) не вызывает статистически достоверных изменений содержания этой категории минералов. Вместе с тем в ряде случаев эти изменения по отдельным сравниваемым парам (неорошаемый – орошаемый черноземы) выглядят довольно заметными. Появились сомнения, что статистика в данном случае была безупречна. Дело в том, что в выборки для статистического анализа с количеством дат до 10–15 единиц включались показатели, принадлежащие черноземам разного гранулометрического состава. Это обстоятельство могло отразиться на результатах статистики. В этой связи было принято решение опубликовать данные минералогических исследований орошаемых черноземов с анализом их результатов с помощью методик,

разработанных позднее [2]. Также было решено провести для этой группы почв минералогические балансовые расчеты, результаты которых должны стать предметом дополнительных статей. Публикации решено начать с карбонатных черноземов юга Молдовы, орошавшихся водами хорошего качества из Днестра.

В исследованиях тех лет другими авторами установлены изменения в составе и содержании глинистых минералов при орошении черноземов водами хорошего качества. Так, в Воронежской области орошение черноземов водами Дона слабой минерализации (0,45 г/л) в течение 10 лет вызвало увеличение содержания илистой фракции на глубину 1 м, потерю набухающих минералов до 7 % в пересчете на почву, увеличение в илистой фракции, тонкой и средней пыли содержания тонкодисперсного кварца [3]. При орошении черноземов южных, расположенных в пределах Татарбунарской, Нижне-Днестровской и Ингулецкой оросительных систем, установлен процесс гидрослюдизации илистой фракции в пахотных горизонтах за счет удаления смектита и поступления материала механической дезинтеграции слюд пылеватых фракций, установлено поступление во фракцию тонкодисперсного кварца и полевых шпатов [4]. При орошении черноземов слабоминерализованными водами отмечены признаки разрушения илистой фракции и миграции продуктов разрушения по профилю. При этом уменьшение содержания илистой фракции коррелировало с уменьшением количества смектитовой фазы. Повсеместно отмечается увеличение в пахотных горизонтах содержания гидрослюды. Возможные причины: диспергация слюд крупного материала; относительное увеличение содержания гидрослюды в результате разрушения смектитовой фазы; образованием педогенных гидрослюды при аградационных процессах фиксации калия из разных источников [5,6]. Вместе с тем при орошении водами хорошего качества отмечались и другого рода изменения: накопление ила за счет иллитов, лабильных минералов, реже хлоритов в результате дезинтеграции преимущественно прочных агрегатов и физического дробления индивидуальных частиц хлоритов, слюд, гидрослюды и выветренных полевых шпатов, включающих глинистый материал; трансформация иллита в лабильные силикаты [7]. Увеличение содержания илистой фракции в орошаемых черноземах в результате увеличения содержания лабильных минералов наблюдали и в другом исследовании [8]. Некоторые итоги по последствиям орошения черноземов находим в работе [9]. Авторы обращают внимание на противоречивость оценок влияния орошения на черноземы, что, по их мнению, может объясняться большим разнообразием природных условий, почвенных свойств, качества поливной воды и длительности орошения черноземов. Отмечается также (со ссылкой на [6]), что при хорошем качестве поливной воды орошение черноземов даже в течение полувека не вызывает существенной потери илистой фракции или какого-либо из ее компонентов. В некоторых случаях наблюдается увеличение содержания ила за счет интенсификации процессов физического дробления слоистых силикатов более крупных фракций до размера илистых частиц.

Наша задача заключалась в том, чтобы привести неопубликованные ранее данные по изучению влияния орошения водами хорошего качества из Днестра на состав и содержание не только глинистых, но и первичных минералов. При этом установить, к какой категории относятся изменения в орошаемых молдавских черноземах, если они имеются, в сравнении с изменениями, установленными ранее другими исследователями, с учетом их противоречивости. Принято решение

публикации начать с карбонатных черноземов юга Молдовы, а оценку минералогического состояния орошаемого чернозема провести с использованием новых методических разработок автора.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами сравнительного исследования стали карбонатные тяжелосуглинистые черноземы Каушанской оросительной системы близ села Фарладаны, неорошаемый (разрез 8804) и орошаемый (разрез 8805) аналоги. Разрезы черноземов размещены на обширном плоском плато на расстоянии не более 100 м друг от друга. Абсолютная высота 145 м. Орошение велось днестровской водой с минерализацией не выше 0,7 г/л на протяжении 11 лет. Годовая оросительная норма составляла 3000 м³/га. При среднегодовой норме осадков в регионе около 500 мм годовое количество поступавшей в период орошения в почву влаги составляло порядка 800 мм.

Изучен состав первичных и глинистых минералов: первые – во фракции >1 мкм, вторые – во фракции <1 мкм. Глинистый каолинит изучался и в составе первичных минералов. Фракционное разделение образцов проведено по методике [10]. Карбонаты и органическое вещество перед фракционированием образцов удаляли. Состав первичных и глинистых минералов изучен методом рентгеновской дифрактометрии [11, 12]. Количественный анализ проведен по методикам [13, 14]. Коэффициент вариации результатов анализа, установленный по стандартным калибровочным смесям минералов, в зависимости от содержания минералов в смеси характеризовался следующими параметрами (отн., %): кварц – 2,9–3,3; полевые шпаты – 3,8–8,9; слюды – 5–20; хлорит – 15–26; группа смектита – 2,5–3,0; иллит – 2,2–2,6; хлорит (ил) – 12–25; каолинит (ил) – 15–25 [1]. Все расчеты произведены на минеральную бескарбонатную часть фракций и почвы.

Анализ распределения минералов по профилю почв и влияния на них процессов педогенеза проведен с помощью 10 показателей [2]:

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

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

➤ Показатель напряженности выветривания, иллит-смектитовый (**ПНИС**) характеризует напряженность минеральных преобразований в ряду изменения отношения иллит/смектит по всему профилю и представляет разницу в ПИИС между верхним горизонтом и породой.

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

➤ Показатель напряженности выветривания, кварц-смектитовый (**ПНКС**) характеризует одной цифрой напряженность минеральных преобразований по

всему профилю и представляет разницу в ПИКС между верхним горизонтом и породой.

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

➤ Показатель напряженности выветривания, кварц-иллитовый (**ПНКИ**) характеризует одной цифрой напряженность минеральных преобразований по всему профилю и представляет разницу в ПИКИ между верхним горизонтом и породой. При отсутствии закономерного изменения ПИКИ по профилю ПНКИ рассчитывается для каждого горизонта.

Система показателей в свое время была разработана для диагностики зональных черноземов и в отношении орошаемых черноземов применяется впервые.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первичные минералы формируют фракцию >1 мкм, поэтому их распределение по профилю черноземов определяет содержание и поведение по профилю этой фракции. В неорошаемом черноземе содержание фракции находится в пределах 56,8–60,4 % и увеличивается к верхним горизонтам. В орошаемом черноземе ее содержание несколько выше (57,2–61,0 %) и также увеличивается в верхней части профиля. В составе фракции обоих черноземов доминирует кварц (68,9–72,3 %). Его содержание во фракции в обоих черноземах повышается вверх по профилю (табл. 1). Поведение по профилю почв фракции >1 мкм определяется поведением в ней главным образом кварца. Содержание плагиоклазов находится в пределах 10,5–10,8 %, калиевых полевых шпатов – в пределах 9,4–9,6 %. Слоистые силикаты во фракции играют подчиненную роль. Слюды составляют 4,2–4,7 %, хлорит – 1,6–3,3 %, каолинит (глинистый минерал) – 0,8–1,7 %. Содержание этих минералов к верхним горизонтам в обоих черноземах заметно снижается. В пересчете на почву следует отметить увеличение к верхним горизонтам содержания кварца. Содержание по профилю почв других минералов остается практически неизменным. Заметно снижение в верхних горизонтах хлорита и каолинита (табл. 1). Судя по полученным данным, почвообразующие породы исследуемых черноземов представляют собой достаточно однородные образования.

Глинистые минералы представлены фракцией <1 мкм (табл. 2). Ее содержание в исследуемых черноземах составляет 38,5–43,2 % и увеличивается с глубиной. В составе фракции количественно преобладают смектит (46,3–59,4 %) и иллит (22,0–36,0 %). Хлориту (7,2–10,9 %) и каолиниту (8,9–10,7 %) принадлежат более низкие показатели содержания. Содержание смектита в обоих черноземах увеличивается с глубиной. Его количество заметно ниже в орошаемом черноземе в сравнении с неорошаемым (46,3–57,4 % против 50,4–59,4 %). Содержание иллита, напротив, в обоих черноземах увеличивается к верхним горизонтам. Его содержание выше в орошаемом черноземе (22,7–36,0 в орошаемом и 22,0–32,6 % в неорошаемом). В пересчете на почву отмеченные закономерности сохраняются. В обоих черноземах содержание хлорита и каолинита снижается к верхним горизонтам.

Таблица 1

Содержание первичных минералов в черноземах, %

Горизонт	Глубина отбора образца, см	Фракция >1 мкм, %	Фракция >1 мкм						Почва															
			Кварц	Плагиоклазы	Калиевые полевые шпаты	Слюда	Хлорит	Каолинит	Кварц	Плагиоклазы	Калиевые полевые шпаты	Слюда	Хлорит	Каолинит										
<i>Разрез 8804. Чернозем карбонатный тяжелосушлистый, неорошаемый, Каушанская ОС, с. Фарладаны</i>																								
Ап	0-20	60,4	72,3	10,5	9,5	4,2	2,7	0,8	43,7	6,3	5,7	2,5	1,6	0,5										
А	20-30	58,2	71,7	10,6	9,4	4,6	2,7	1,0	41,7	6,2	5,5	2,7	1,6	0,6										
В2	80-90	60,0	70,8	10,8	9,6	4,6	2,9	1,3	42,5	6,5	5,8	2,8	1,7	0,8										
С	190-200	56,8	70,4	10,8	9,6	4,7	3,3	1,2	40,0	6,1	5,5	2,7	1,9	0,7										
<i>Разрез 8805. Чернозем карбонатный тяжелосушлистый, орошаемый, Каушанская ОС, с. Фарладаны</i>																								
Ап	0-20	61,0	71,9	10,9	10,2	4,3	1,7	1,0	43,9	6,6	6,2	2,6	1,0	0,6										
А	20-30	61,5	71,4	10,8	10,3	4,3	1,7	1,5	43,9	6,6	6,3	2,6	1,0	0,9										
В2	80-90	61,0	70,5	11,6	10,4	4,6	1,6	1,3	43,0	7,1	6,3	2,8	1,0	0,8										
С	190-200	57,2	69,6	11,4	10,3	4,6	2,4	1,7	39,8	6,5	5,9	2,6	1,4	1,0										

Таблица 2

Содержание глинистых минералов в черноземах, %

Горизонт	Глубина отбора образца, см	Фракция <1 мкм, %	Фракция <1 мкм						Почва															
			Смектит	Иллит	Хлорит	Каолинит	Смектит	Иллит	Хлорит	Каолинит														
<i>Разрез 8804. Чернозем карбонатный тяжелосушлистый, неорошаемый, Каушанская ОС, с. Фарладаны</i>																								
Ап	0-20	39,6	50,4	32,6	7,2	9,8	20,0	12,9	2,9	3,9														
А	20-30	41,8	52,1	31,1	7,2	9,6	21,8	13,0	3,0	4,0														
В2	80-90	40,0	54,3	26,3	8,7	10,7	21,7	10,5	3,5	4,3														
С	190-200	43,2	59,4	22,0	8,3	10,3	25,7	9,5	3,6	4,4														
<i>Разрез 8805. Чернозем карбонатный тяжелосушлистый, орошаемый, Каушанская ОС, с. Фарладаны</i>																								
Ап	0-20	39,0	46,3	36,0	8,8	8,9	18,1	14,0	3,4	3,5														
А	20-30	38,5	46,6	34,6	9,2	9,6	17,9	13,3	3,5	3,7														
В2	80-90	39,0	48,8	30,6	10,9	9,7	19,0	11,9	4,3	3,8														
С	190-200	42,8	57,4	22,7	10,2	9,7	24,6	9,7	4,4	4,2														

Минералогическое состояние. Более определенная картина происходящих в исследуемых черноземах процессов складывается на основании показателей их минералогического состояния (табл. 3). Поведение первичных минералов контролируют показатели К1–К3. В обоих черноземах их значения превышают единицу и увеличиваются вверх по профилю. Это указывает на то, что полевые шпаты (К1), слоистые силикаты (К2), те и другие вместе (К3) подвержены разрушению. В результате в почвах с потерей первичных минералов происходит относительное накопление кварца, которое увеличивается к верхним горизонтам. В орошаемом черноземе величины всех показателей К1–К3 выше, хотя и не значительно, чем в неорошаемом черноземе. Так, в почвенных горизонтах орошаемого чернозема К2 находятся в пределах 1,18–1,28 против 1,05–1,23 в неорошаемом черноземе; К3 – 1,04–1,12 и 1,02–1,10 соответственно. Полевые шпаты остались практически неизменными. Если потери первичных минералов в неорошаемом черноземе связаны с естественными процессами выветривания и почвообразования в зональных черноземах, то в орошаемом черноземе они обусловлены дополнительно к этому влиянием антропогенного фактора, т.е. ирригации. Надо сказать, что они заметны и будут более полно оценены в следующей статье, посвященной балансу минералов.

Таблица 3

Параметры минералогического состояния силикатной части черноземов

Горизонт	К1	К2	К3	К4	ПИИС	ПНИС	ПИКС	ПНКС	ПИКИ	ПНКИ
<i>Разрез 8804. Чернозем карбонатный тяжелосуглинистый, неорошаемый, Каушанская ОС, с. Фарладаны</i>										
Ап	1,05	1,23	1,10	1,19	0,65	0,28	2,19	0,63	3,38	–0,82
А	1,04	1,13	1,07	1,08	0,60	0,23	1,92	0,36	3,21	–1,00
В2	1,01	1,05	1,02	1,15	0,48	0,11	1,96	0,40	4,04	–0,17
С	1,00	1,00	1,00	1,00	0,37	0,00	1,56	0,00	4,21	0,00
<i>Разрез 8805. Чернозем карбонатный тяжелосуглинистый, орошаемый, Каушанская ОС, с. Фарладаны</i>										
Ап	1,06	1,28	1,12	1,21	0,78	0,38	2,43	0,81	3,14	–0,96
А	1,06	1,19	1,09	1,23	0,74	0,35	2,45	0,83	3,30	–0,80
В2	1,00	1,18	1,04	1,19	0,63	0,23	2,26	0,64	3,60	–0,49
С	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,00	1,62	0,00	4,10	0,00

Показатель К4 отвечает за общее состояние глинистых минералов. Его значения в обоих черноземах возрастают от породы к верхним горизонтам. В неорошаемом черноземе они находятся в пределах 1,15–1,19, в орошаемом – в пределах 1,19–1,23, т.е. несколько выше. Эти данные указывают на то, что в обоих черноземах глинистые минералы, представленные илистой фракцией, подвержены в целом разрушению, причем в орошаемом черноземе процесс усиливается. В неорошаемом черноземе потери глинистых минералов, как и первичных, вызваны естественным выветриванием и почвообразованием. В орошаемом черноземе к этому дополнительно причастно и воздействие оросительных вод. Обратим внимание на то, что изменения в содержании глинистых минералов по профилю обусловлены именно их потерей, поскольку никаких признаков лессиважа, т.е. переноса по профилю, прежде всего смектита, связанного с этим накопления

глинистых минералов в горизонте В не обнаруживается. Признаком накопления глинистых минералов в горизонте В результате лессиважа являлось бы соотношение отрицательного значения К3 с положительным К4.

Следует обратить внимание также на то, судя по величинам показателей К1, полевые шпаты при орошении практически не подверглись разрушению. Это надо признать неожиданным. Слоистые силикаты выветриваются интенсивнее, особенно при орошении ($K_2 = 1,23-1,05$ без орошения, $K_2 = 1,28-1,18$ при орошении). Интегральные показатели К3 указывают на те же изменения. Показатели выветривания глинистых минералов в орошаемом черноземе выше, чем в неорошаемом ($K_4 = 1,19-1,23$ против $K_4 = 1,08-1,19$). Они указывают на разрушение илистой фракции при орошении, соразмерное с показателями выветривания первичных слоистых силикатов (K_2), но с нарушениями закономерного изменения по профилю. Признаки оглинивания или лессиважа отсутствуют.

О последствиях орошения для иллита и смектита в илистой фракции следует судить на основании показателя ПИИС. Его значения в обоих черноземах закономерно увеличиваются от породы к верхним горизонтам. Эти данные указывают на то, что в почвах содержание иллита увеличивается к верхним горизонтам, а смектита – к породе. Но при этом значения показателя ПИИС в орошаемом черноземе ($0,40-0,78$) в сравнении с неорошаемым черноземом ($0,37-0,65$) увеличились. Это свидетельствует о том, что орошение приводит к увеличению в иле содержания иллита или усилению эффекта иллитизации. Иначе говоря, свойственная зональным черноземам природная иллитизация верхней части профиля [1] под воздействием орошения продолжает усиливаться. Это наблюдение совпадает с тем, что отмечали и другие исследователи [3–9]. С орошением интенсификация процесса иллитизации нарастает, что подтверждается повышением значений показателя ПНИС в орошаемом черноземе в сравнении с неорошаемым с $0,11-0,28$ до $0,23-0,38$ (табл. 3). Соотношение по профилю черноземов между кварцем и смектитом свидетельствует о том, что орошение ведет к относительному накоплению кварца в связи с потерей смектита. На это указывает увеличение в орошаемом черноземе показателя ПИКС с $2,19-1,56$ до $2,43-1,62$. На потерю смектита в верхних горизонтах при орошении водами хорошего качества указывали и другие авторы, но по их данным смектит мигрирует в процессе лессиважа в более глубокие горизонты. По нашим данным, он разрушается на месте. Напряженность процесса разрушения смектита в нашем исследовании по показателям ПНКС возрастает с $0,63-0,40$ в неорошаемом черноземе до $0,83-0,64$ в орошаемом. Показатели ПИКИ контролируют соотношение по профилю между кварцем и иллитом. Их величины, в отличие от других показателей, с глубиной не уменьшаются, а увеличиваются. Причина в том, что соотношение между кварцем и иллитом вверх по профилю складывается в пользу иллита, т.е. относительное накопление иллита в профиле черноземов происходит более интенсивно, чем кварца. И чем ниже величина показателя, тем выше накопление иллита. Вследствие такого поведения по профилю иллита показатель напряженности процесса ПНКИ приобретает отрицательные значения, и чем показатель в отрицательном значении ниже, что наблюдаем в орошаемом черноземе (кроме одного значения) по сравнению с неорошаемым, тем выше интенсивность накопления иллита в почве. Поскольку иллит менее устойчив к выветриванию в сравнении с кварцем, его более интенсивное относительное накопление в почве в сравнении с

кварцем указывает на то, что в илистой фракции он накапливается в результате физической диспергации слюдогенного материала крупных фракций и вероятной необменной фиксации биогенного калия высокозарядным смектитом. Иллит в илистой фракции не может не разрушаться, но этот процесс протекает медленнее в сравнении с противоположно направленными двумя другими, указанными выше.

ВЫВОДЫ

Представлены данные по влиянию орошения водами хорошего качества из Днестра продолжительностью в 11 лет на минералогический состав карбонатного тяжелосуглинистого чернозема. Они со всей определенностью позволяют констатировать, что, несмотря на характерное для данного подтипа чернозема наличие карбонатов по всему профилю, орошение вызвало разрушение силикатных минералов и относительное накопление в почве устойчивого к выветриванию кварца. В этом отношении орошение следует рассматривать как негативное явление. Изучение первичных минералов показало, что в результате орошения установлено относительное накопление кварца в почве в целом, а не только в илистой фракции, как это отмечается другими исследователями. В отличие от исследований, в которых объектом изучения выступали глинистые минералы, мы располагаем не предположительными, а конкретными данными о разрушении при орошении не только глинистых, но, частично, и первичных, в основном слоистых минералов. Наряду с относительным накоплением в орошаемом черноземе инертного кварца, в составе глинистых минералов также происходят преобразования. Они связаны с разрушением смектита и накоплением иллита или иллитизацией верхней части профиля. Выветриванию подвергаются также хлорит и каолинит. Имеет место потеря илистой фракции. В сравнении с исследованиями других авторов, в которых фиксируется лессиваж смектита, в нашем случае установлено разрушение его на месте. Таким образом, орошение карбонатного тяжелосуглинистого чернозема водами хорошего качества в течение довольно продолжительного времени ведет к значительным изменениям в его минералогическом составе. Эти данные не согласуются с утверждением, что при хорошем качестве поливной воды орошение черноземов даже в течение полувека не приводит к существенной потере илистой фракции или какого-либо из ее компонентов. В целом следует констатировать, что приведенные нами данные в значительной степени совпадают с результатами, установленными ранее другими исследователями, но в некотором отношении и существенно отличаются от них.

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.* Способ оценки минералогического состояния силикатной части черноземов / В. Е. Алексеев // Почвоведение. – 2012. – № 2. – С. 189–199.
3. *Чижикова Н. П.* Изменение минералогического состава черноземов типичных при орошении / Н. П. Чижикова // Почвоведение. – 1991. – № 2. – С. 65–81.

4. Преобразование минералогического состава черноземов южных юго-запада Украины при орошении / Н. П. Чижикова [и др.] // Почвоведение. – 1992. – № 8. – С. 77–87.

5. Чижикова, Н. П. Статистическая оценка изменения минералогического состава ила степных почв при орошении / Н. П. Чижикова, Н. Б. Хитров, В. С. Дуженко // Почвоведение. – 1992. – № 4. – С. 59–71.

6. Чижикова, Н. П. Влияние орошения на изменение минералогического состава черноземов и каштановых почв / Н. П. Чижикова // Почвоведение. – 1995. – № 1. – С. 128–144.

7. Приходько В. Е. Орошаемые степные почвы: функционирование, экология, продуктивность / В. Е. Приходько. – М.: Интеллект, 1996. – 168 с.

8. Топунова И. В. Влияние орошения на содержание и минералогический состав илистой фракции черноземов Ростовской области (Багаевско-Садковская оросительная система) / И. В. Топунова, В. Е. Приходько, Т. А. Соколов // Вестник Московского университета. Сер. 17. – Почвоведение. – 2010. – № 1. – С. 6–13.

9. Соколова, Т. А. Глинистые минералы в почвах / Т. А. Соколова, Т. Я. Дронова, И. И. Толпешта. – М., 2005. – 336 с.

10. Алексеев В. Е. Методика супердисперсного фракционирования почв и пород при их минералогическом анализе / В. Е. Алексеев, К. Г. Арапу, А. Н. Бургея // Почвоведение. – 1996. – № 7. – С. 873–878.

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

12. Рентгенография основных типов породобразующих минералов / Под ред. В. С. Власова, С. А. Волкова и др. – Л.: Недра, 1983. – 359 с.

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

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

COMPARATIVE CHARACTERISTIC OF THE MINERALOGICAL STATE OF THE CONJUGATE PAIR OF IRRIGATED AND NON-IRRIGATED CARBONATE CHERNOZEMS OF THE SOUTH OF MOLDOVA

V. E. Alekseev

Summary

When irrigated for 11 years with good quality waters from the Dniester of carbonate heavy loamy chernozem, changes in the composition of primary and clay minerals were established. They were expressed in a noticeable decrease in the content of both groups of minerals and in the relative accumulation of quartz in the soil. Among the primary minerals, layered silicates were the first to be destroyed, among clay minerals – smectite and chlorite. Signs of transfer of smectite by profile and accumulation in horizon B, as noted by other researchers, have not been established. Indicators of changes in the mineralogical state indicate that the upper part of the irrigated chernozem, along with quartz, receives additional enrichment with illite.

Поступила 18.03.19

СОПРЯЖЕННАЯ ПАРА ОРОШАЕМОГО И НЕОРОШАЕМОГО КАРБОНАТНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ЮГА МОЛДОВЫ: БАЛАНС МИНЕРАЛОВ

В. Е. Алексеев

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

ВВЕДЕНИЕ

Сравнительная характеристика сопряженной пары неорошаемого и орошаемого черноземов с юга Молдовы, представленная в предыдущей статье, показала значительные изменения минералогического состояния в орошаемом аналоге в сравнении с неорошаемым. Изменения затронули не только глинистые, но и первичные минералы. Цель и задача данного сообщения – с помощью показателей баланса масс минералов детализировать и углубить оценку установленных трансформаций, показать, чему по объемам масс минералов они соответствуют. Вместе с этим преследуется цель проверить применимость данного приема оценки минералогических преобразований, разработанного для зональных черноземов [1], в отношении черноземов, подвергшихся ирригации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования продолжены на упомянутой паре тяжелосуглинистых карбонатных черноземов Каушанской оросительной системы близ села Фарладаны, неорошаемом (разрез 8804) и орошаемом (разрез 8805). Напомним, что расположены они на плато не более 100 м друг от друга. При годовых осадках около 500 мм оросительная норма равнялась 3000 м³/га, а годовое количество поступавшей в почву влаги составляло порядка 800 мм. Орошение велось водой из Днестра с минерализацией не выше 0,7 г/л на протяжении 11 лет.

В результате оценки в предыдущей статье минералогического состояния названных черноземов были установлены изменения, связанные с потерями первичных и глинистых минералов при орошении, выраженные в процентах от веса исходной породы. Наряду с этим интерес представляют данные по потерям масс минералов при орошении почв в указанных выше условиях, выраженные в т/га. Для необходимых расчетов в нашем распоряжении были следующие показатели: результаты количественной оценки содержания первичных и глинистых минералов в горизонтах Ап, А, В2 и С и мощности этих горизонтов. Для балансовых расчетов масс минералов отсутствовали данные по их содержанию в горизонтах В1 и ВС и данные по плотности перечисленных горизонтов. Чтобы получить сравнимые данные по потерям масс минералов в исследуемых черноземах, пришлось ограничиться толщей почв, представленной горизонтами Ап, А, В1 и В2. Горизонты В1 и В2 потребовалось объединить в один В1–В2, так как данные количественного анализа минералов были только по горизонту В2. Мощности горизонтов в неорошаемом и орошаемом черноземах были практически одинаковыми. Данные по

плотности горизонтов для карбонатных черноземов тяжелосуглинистого гранулометрического состава взяли из работы [2], содержащей большой статистический материал по физическим свойствам почв Молдовы. Возможное уплотнение почвы при орошении в данном случае не учитывалось. Таким образом, все расчеты по обоим черноземам при описанных выше условиях были произведены на глубину 102 см. Несовершенство подобных расчетов для нас очевидно. Вместе с тем полученная в результате информация представляет научный интерес.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Последовательность и наглядность произведенных расчетов по первичным и глинистым минералам можно проследить с помощью двух видов таблиц. В одних баланс минералов представлен в кг/100 кг породы (табл. 1, 2), в других – в виде масс минералов данного горизонта почвы и в целом для профиля почвы на определенную глубину, выраженных в т/га, с использованием данных первых двух таблиц (табл. 3, 4). В них присутствуют три части. В первой представлено содержание первичных и глинистых минералов, выраженное в весовых процентах от минеральной, свободной от карбонатов части почвы. Во второй – содержание минералов в горизонтах, приведенное к содержанию кварца в породе. В третьей содержатся данные баланса минералов как разницы в показателях между породой и горизонтом (во второй части таблицы).

Полученные данные свидетельствуют о том, что баланс первичных минералов в обоих черноземах по всем минералам отрицательный. По полевым шпатам неорошаемого чернозема он измеряется в 0,2–0,3 кг/100 кг породы, слюдам – 0,1–0,3, хлориту и каолиниту – 0,1–0,4 кг/100 кг породы. Суммарные потери первичных минералов по профилю составили 0,3–1,5 кг/100 кг породы. Потери первичных минералов в орошаемом черноземе заметно выше и в суммарном измерении по профилю выразились в 0,7–1,8 кг/100 кг породы. Ситуация с глинистыми минералами иная. Отрицательный баланс в обоих черноземах прослеживается только по трем минералам: смектиту, хлориту и каолиниту. По иллититу он положительный. Причем положительный баланс по иллититу в неорошаемом черноземе в орошаемом продолжает увеличиваться (в первом случае 0,4–3,0, во втором – 1,3–3,0 кг/100 кг), тем самым показывая, что орошение усиливает процесс иллитизации. В неорошаемом черноземе наибольшие потери среди глинистых минералов принадлежат смектиту. Они увеличились от породы к верхним горизонтам и составили в неорошаемом черноземе 5,2–7,4, в орошаемом – 6,9–8,3 кг/100 кг породы, т.е. выше в сравнении с неорошаемым.

Баланс масс первичных и глинистых минералов в исследуемых черноземах представлен в табл. 3, 4. Он носит неустойчивый характер. Так, в неорошаемом черноземе потери плагиоклазов и калиевых полевых шпатов составили 15 и 12 т/га соответственно, в орошаемом – 31 и 9 т/га соответственно (табл. 3). По плагиоклазам прирост потерь от орошения составил 16 т/га, по калиевым полевым шпатам, напротив, образовался положительный баланс в 3 т/га. Поскольку при орошении содержание калиевых полевых шпатов не может увеличиваться, последнюю цифру стоит, по-видимому, рассматривать как случайную, как следствие анализа на пределе его точности или неоднородности породы. То же самое наблюдается со слюдами, положительный баланс которых также в 3 т/га отмечается в орошаемом черноземе как следствие потери слюд в неорошаемом черноземе в размере 18 т/га, а в орошаемом – 15 т/га.

Таблица 1

Баланс первичных минералов силикатной части черноземов

Горизонт	Весовой % в силикатной части почвы										Мгп, кг/100кг породы										Мд, кг/100кг породы									
	кварц	плагиоклазы	кальцевые полевые шпаты	слюды	хлорит	каолинит	фракция > 1 мкм	кварц	плагиоклазы	кальцевые полевые шпаты	слюды	хлорит	каолинит	сумма	кварц	плагиоклазы	кальцевые полевые шпаты	слюды	хлорит	каолинит	кальцевые полевые шпаты	слюды	хлорит	каолинит	баланс первичных минералов					
<i>Разрез 8804. Чернозем карбонатный тяжелосуглинистый, неорошаемый, Каушанский ОС, с. Фарлабаны</i>																														
Ап	43,7	6,3	5,7	2,5	1,6	0,5	60,4	40,0	5,8	5,3	2,3	1,5	0,4	55,3	0,0	-0,3	-0,2	-0,3	-0,4	-0,2	-0,3	-0,4	-0,2	-0,3	-0,4	-1,5				
А	41,7	6,2	5,5	2,7	1,6	0,6	58,2	40,0	5,9	5,2	2,6	1,5	0,6	55,8	0,0	-0,2	-0,2	-0,1	-0,4	-0,1	-0,2	-0,1	-0,4	-0,1	-0,4	-1,0				
В2	42,5	6,5	5,8	2,8	1,7	0,8	60,0	40,0	6,1	5,4	2,6	1,6	0,7	56,5	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	0,1	-0,1	-0,2	0,1	-0,2	-0,3					
С	40,0	6,1	5,5	2,7	1,9	0,7	56,8	40,0	6,1	5,5	2,7	1,9	0,7	56,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
<i>Разрез 8805. Чернозем карбонатный тяжелосуглинистый, орошаемый, Каушанский ОС, с. Фарлабаны</i>																														
Ап	43,9	6,6	6,2	2,6	1,0	0,6	43,9	39,8	6,0	5,6	2,4	0,9	0,6	55,4	0,0	-0,5	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-1,8					
А	43,9	6,6	6,3	2,6	1,0	0,9	43,9	39,8	6,0	5,7	2,4	0,9	0,8	55,8	0,0	-0,5	-0,1	-0,2	-0,4	-0,1	-0,2	-0,4	-0,1	-0,4	-1,4					
В2	43,0	7,1	6,3	2,8	1,0	0,8	43,0	39,8	6,6	5,9	2,6	0,9	0,7	56,5	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	0,0	0,0	-0,5	0,0	-0,2	-0,7					
С	39,8	6,5	5,9	2,6	1,4	1,0	39,8	39,8	6,5	5,9	2,6	1,4	1,0	57,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				

Таблица 2

Баланс глинистых и общий баланс минералов силикатной части черноземов

Горизонт	Глубина отбора образца, см	Весовой % в силикатной части почвы						Мгп, кг/100кг породы						Мд, кг/100кг породы				Баланс минералов, кг/100кг породы		
		СМЕКТИТ	ИЛЛИТ	ХЛОРИТ	КАОЛИНИТ	Фракция < 1 мкм	СМЕКТИТ	ИЛЛИТ	ХЛОРИТ	КАОЛИНИТ	СУММА	СМЕКТИТ	ИЛЛИТ	ХЛОРИТ	КАОЛИНИТ	Баланс глинистых минералов	Баланс первичных минералов	Баланс глинистых минералов	Общий баланс минералов	
<i>Разрез 8804. Чернозем карбонатный тяжелосуглинистый, неорошаемый, Каушанский, Каушанская ОС, с. Фарлабаны</i>																				
Ап	0-20	20,0	12,9	2,9	3,9	39,6	18,3	11,8	2,6	3,6	36,3	7,4	2,3	-1,0	-0,9	-6,9	-1,5	-6,9	-8,4	
А	20-30	21,2	13,0	3,6	4,0	41,8	20,3	12,5	3,5	3,8	40,1	4,8	3,0	-0,7	-0,6	-3,1	-1,0	-3,1	-4,2	
В2	80-90	22,4	10,5	3,5	3,6	40,0	21,0	9,9	3,3	3,4	37,7	5,2	0,4	-0,3	-0,4	-5,5	-0,3	-5,5	-5,9	
С	190-200	25,7	9,5	3,6	4,4	43,2	25,7	9,5	3,6	4,4	43,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Разрез 8805. Чернозем карбонатный тяжелосуглинистый, орошаемый, Каушанский, Каушанская ОС, с. Фарлабаны</i>																				
Ап	0-20	18,1	14,0	3,4	3,5	39,0	16,4	12,7	3,1	3,2	35,4	8,2	3,0	-1,3	-1,0	-7,4	-1,8	-7,4	-9,2	
А	20-30	17,9	13,3	3,5	3,7	38,5	16,3	12,1	3,2	3,4	34,9	8,3	2,4	-1,2	-0,8	-7,9	-1,4	-7,9	-9,3	
В2	80-90	19,0	11,9	4,3	3,8	39,0	17,6	11,0	3,9	3,5	36,1	6,9	1,3	-0,4	-0,6	-6,7	-0,7	-6,7	-7,4	
С	190-200	24,6	9,7	4,4	4,2	42,8	24,6	9,7	4,4	4,2	42,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Таблица 3

Баланс масс первичных минералов силикатной части черноземов

Горизонт	Глубина, см	Мощность, см	Плотность, г/см ³	Масса, т/га	Плагиоклазы		Калиевые полевые шпаты		Слюда		Хлорит		Каолинит		Баланс погоризонтный		
					вес, %	т/га	вес, %	т/га	вес, %	т/га	вес, %	т/га	вес, %	т/га	вес, %	т/га	вес, %
<i>Разрез 8804. Чернозем карбонатный тяжелосуглинистый, неорошаемый, Каушанская ОС, с. Фарлабаны</i>																	
Ап	0-20	20	1,19	2380	-0,3	-7	-0,2	-5	-0,3	-7	-0,4	-10	-0,2	-5	-1,4	-33	
А	20-50	30	1,27	3810	-0,2	-8	-0,2	-8	-0,1	-4	-0,4	-15	-0,1	-4	-1	-38	
В1,В2	50-102	52	1,31	6812	0	0	0	0	-0,1	-7	-0,2	-14	0,1	7	-0,2	-14	
С	190-200	-	-	-	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	
Профильный баланс минералов, т/га																	
- - - - -15 - - -18 - - -38 - - -2																	
<i>Разрез 8805. Чернозем карбонатный тяжелосуглинистый, орошаемый, Каушанская ОС, с. Фарлабаны</i>																	
Ап	0-20	20	1,19	2380	-0,5	-12	-0,2	-5	-0,3	-7	-0,4	-10	-0,4	-10	-9,8	-43	
А	20-50	30	1,27	3810	-0,5	-19	-0,1	-4	-0,2	-8	-0,4	-15	-0,1	-4	-7,4	-50	
В1,В2	50-102	52	1,31	6812	0	0	0	0	0	0	-0,5	-34	-0,2	-14	-4,9	-48	
С	190-200	-	-	-	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	
Профильный баланс минералов, т/га																	
- - - - -31 - - -9 - - -15 - - -59 - - -27 - - -141																	
Баланс минералов после орошения, т/га																	
- - - - -16 - - -3 - - -21 - - -25 - - -56																	

Таблица 4

Баланс масс глинистых и общий баланс масс минералов силикатной части черноземов

Горизонт	Глубина, см	Мощность, см	Плотность, г/см ³	Масса, т/га	Смектит		Иллит		Хлорит		Каолинит		Баланс глинистых минералов		Баланс масс минералов, т/га	
					кг/100 кг	т/га	кг/100 кг	т/га	кг/100 кг	т/га	кг/100 кг	т/га	кг/100 кг	т/га	Блм*	Бгм
<i>Разрез 8804. Чернозем карбонатный тяжелосуглинистый, неорошаемый, Каушанская ОС, с. Фарлабаны</i>																
Ап	0-20	20	1,19	2380	-7,4	-176	2,3	55	-1,0	-23	-0,9	-21	-6,9	-165		
А	20-50	30	1,27	3810	-4,8	-183	3,0	113	-0,7	-27	-0,6	-23	-3,1	-120		
В1, В2	50-102	52	1,31	6812	-5,2	-355	0,4	27	-0,3	-21	-0,4	-27	-5,5	-376	-85	-746
С	190-200	-	-	-	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0		
Профильный баланс минералов, т/га																
<i>Разрез 8805. Чернозем карбонатный тяжелосуглинистый, орошаемый, Каушанская ОС, с. Фарлабаны</i>																
Ап	0-20	20	1,19	2380	-8,2	-195	3,0	71	-1,3	-31	-1,0	-24	-7,5	-179		
А	20-50	30	1,27	3810	-8,3	-316	2,4	91	-1,2	-46	-0,8	-30	-7,9	-301		
В1, В2	50-102	52	1,31	6812	-6,9	-470	1,3	89	-0,4	-27	-0,6	-41	-6,6	-450	-141	-1071
С	190-200	-	-	-	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0		
Профильный баланс минералов, т/га																
Баланс минералов после орошения, т/га																
					-	-267	-	56	-	-33	-	-23	-	-268	-56	-325

*Блм – баланс масс первичных минералов, Бгм – баланс масс глинистых минералов, Бо – общий баланс масс минералов

Более определенное влияние орошение оказало на хлорит и каолинит. Их потери составили 21 и 25 т/га соответственно. В целом эти данные следует рассматривать как свидетельство того, что орошение дополнительно к природному выветриванию оказало заметное воздействие на первичные минералы. Суммарные потери первичных минералов в неорошаемом зональном карбонатном черноземе составили 85 т/га. В орошаемом черноземе они за счет хлорита и каолинита возросли до 141 т/га, увеличившись на 56 т/га. Такие результаты выглядят довольно неожиданными в том отношении, что выветривание первичных минералов при орошении по объему оказалось соизмеримым с тем, что сложилось в зональном черноземе за всю историю его существования. Среди глинистых минералов черноземов самые большие потери принадлежат смектиту (табл. 4). В неорошаемом черноземе они составили 714 т/га. В орошаемом черноземе потери увеличились до 981 т/га, повысившись на 267 т/га. Потери хлорита и каолинита в неорошаемом черноземе выразились в 71 и 72 т/га соответственно, в орошаемом они достигли 104 и 95 т/га соответственно. Размер потерь по этим двум минералам в результате орошения составил по хлориту 33 т/га, по каолиниту – 23 т/га. В неорошаемом черноземе процесс иллитизации выразился приростом содержания иллита в 195 т/га. В орошаемом черноземе его количество возросло до 251 т/га, увеличившись на 56 т/га. В завершение анализа полученных данных отметим, что баланс масс глинистых минералов с отрицательного в 661 т/га в неорошаемом черноземе в орошаемом возрос до 930 т/га, увеличившись на 268 т/га. Общий баланс масс минералов в неорошаемом черноземе с отрицательного в 746 т/га в орошаемом возрос до 1071 т/га, увеличившись на 325 т/га. Изменения в содержании первичных минералов неорошаемого и орошаемого черноземов оказались очень небольшими, в содержании глинистых минералов они выглядят весьма значительными.

В отношении карбонатного чернозема, задействованного в данном эксперименте с орошением, следует сделать замечание. В отличие от выдвинутого в свое время утверждения, что карбонатным черноземам Молдовы свойственно наиболее выраженное среди черноземов оглинивание верхней части профиля [4], этот чернозем, как видно по приведенным данным, не содержит признаков оглинивания. Это значит, что не всем карбонатным черноземам Молдовы свойственно оглинивание верхних горизонтов. Напротив, в присутствии карбонатов в данном черноземе до орошения имеют место суммарные потери первичных и глинистых минералов по объему, соизмеримому с таковым в обыкновенном черноземе (758 т/га) [5]. Это обстоятельство дает основание еще раз прибегнуть к той версии, что в истории подобных почв мог быть период, когда уровень залегания карбонатов находился ниже современного [5]. Тем более, что осадочные отложения, послужившие почвообразующими породами для черноземов данной территории, датируются как плиоцен-четвертичные [6], т.е. с указанием на их древность. Таким образом, приведенные сведения характеризуют участвующий в исследовании с орошением карбонатный чернозем как достаточно специфический.

ВЫВОДЫ

Обобщая полученные результаты, отметим следующее. Вопреки заявлению некоторых исследователей, утверждающих отсутствие изменений в минералогическом составе черноземов при орошении даже длительностью до полувека, в нашем случае орошение карбонатного чернозема водой хорошего качества сравнительно непродолжительное время (11 лет) привело к снижению содержания не только глинистых минералов до 269 т/га, но и первичных минералов до 56 т/

га. Наши исследования подтверждают существенное при орошении разрушение смектита (до 267 т/га), но на месте, без переноса его по профилю посредством лессиважа. При орошении установлено также дальнейшее развитие свойственного черноземам процесса иллитизации их верхней части профиля с приростом иллита в объеме до 56 т/га. Выявлена значительная степень разрушения первичного хлорита и хлорита и каолинита илистой фракции. Обращает на себя внимание диссонанс в поведении первичных минералов в сравнении с глинистыми. Он заключается в том, что на фоне совершенно определенных и весьма значительных потерь при орошении глинистых минералов, потери первичных минералов оказались не выразительными, вплоть до появления положительного баланса по калиевым полевым шпатам и слюдам, что, скорее всего, можно связать со специфическим проявлением неоднородности породы. Впервые, насколько нам известно, приведены данные реальных последствий орошения, выраженных в единицах потери массы минералов, в частности, в т/га. Изученный карбонатный чернозем относится к категории не совсем обычных для Молдовы, в котором отсутствует характерная для данного подтипа хорошо выраженная оглиненность верхней части профиля. Напротив, в природном (до орошения) черноземе потери минералов оказались соизмеримы с таковыми у обыкновенного чернозема, что склонны объяснить большим возрастом первого и возможным в прошлом более низким уровнем нахождения в нем карбонатов. Проведенные исследования показали применимость расчета баланса масс минералов в черноземах с целью установления изменений, вызванных их орошением.

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. *Атаманюк, А. К.* Физические и мелиоративные свойства почв Молдавии / А. К. Атаманюк, П. М. Владимир, Л. С. Карапетян. – Кишинев: Штиинца, 1977. – 70 с.
3. *Чижикова, Н. П.* Влияние орошения на изменение минералогического состава черноземов и каштановых почв / Н. П. Чижикова // Почвоведение. – 1995. – № 1. – С. 128–144.
4. *Крупеников, И. А.* Черноземы Молдавии / И. А. Крупеников. – Кишинев: Карта молдовеняскэ, 1967. – 427 с.
5. *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.
6. Атлас Молдавской ССР. – М., 1978. – 131 с.

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

V. E. Alekseev

Summary

The balance of minerals of the silicate part of carbonate chernozem irrigated for 11 years with good quality waters compared to non-irrigated carbonate chernozem

revealed a decrease in the content of primary minerals by 56 t/ha, smectite by 267 t/ha, chlorite and kaolinite in the sludge in total by 55 t/ha. Irrigation caused additional illitization of the upper part of the profile of chernozem and an increase in the amount of illite by 56 t/ha. Loss of smectite occurred on the spot without moving it deep into the profile. Natural (before irrigation) carbonate chernozem contains signs of loss of primary and clay minerals in the volume characteristic of ordinary chernozem, which probably indicates its ancient origin and a low level of carbonates in the past.

Поступила 18.03.19

УДК 631.581:633.11:631.445.4 (477.46)

ВЛИЯНИЕ СИДЕРАЛЬНЫХ ПАРОВ НА ПИТАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ ЧЕРНОЗЕМА ОПОДЗОЛЕННОГО И УРОЖАЙ ПШЕНИЦЫ ОЗИМОЙ

Г. Н. Господаренко, Е. Д. Черно, А. Л. Лысянский
*Уманский национальный университет садоводства,
г. Умань, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

Несбалансированное по элементам питания внесение минеральных удобрений, их высокая стоимость, сокращение площадей под многолетними травами и зернобобовыми культурами оказывает негативное влияние на плодородие почвы, ухудшает фитосанитарное состояние в агроценозах, снижает урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции. Уменьшить негативное влияние интенсивного земледелия на питательный режим почвы и сельскохозяйственные культуры можно путем биологизации производства сельскохозяйственной продукции.

Особенно большой интерес к биологическому направлению в земледелии наблюдался в первой половине прошлого века, что освещено в работах классиков агрономической науки: В. В. Докучаева, П. А. Костычева, В. Р. Вильямса, Д. Н. Прянишникова, Е. К. Алексеева, А. А. Измаильского, К. А. Тимирязева, А. И. Душечкина, И. М. Комова и др. [1, 2, 3]. В Украине и Беларуси этот вопрос более подробно изучался в 1910–1915 гг. [4].

К сожалению, сидерация не нашла массового использования даже при выращивании сидеральных культур в качестве промежуточных. В то же время в Германии на зеленое удобрение высевают более 30 различных культур.

В сельскохозяйственных предприятиях Украины значительно уменьшилось поголовье скота и снизилось производство навоза. На гектар площади севооборота вносится меньше 1 т органических удобрений, что обуславливает снижение плодородия почв и продуктивности культур. Одной из мер увеличения поступления органического вещества в почву и повышения производительности культур является запахивание пожнивных остатков [5].

В Канаде, США, европейских странах при отсутствии навоза используют зеленую массу культур на сидераты. Систематическое запахивание в почву 15–20 т/га

зеленой массы сидератов обеспечивает эффект, который равноценен внесению 20 т/га навоза [6].

Использование сидератов совместно с внесением минеральных удобрений является достаточно эффективной мерой повышения продуктивности севооборота. Без внесения минеральных удобрений только за счет сидератов она увеличивается на 33–41 %, а с добавлением минеральных удобрений – на 98 % [7].

Пшеница озимая является культурой больших возможностей, она чувствительна к предшественникам. Во всех почвенно-климатических зонах лучшими предшественниками для нее являются чистые, занятые и сидеральные пары. Их значение в повышении продуктивности культур подчеркивали практически все ученые, по этому вопросу было опубликовано немало научных работ [7]. Так, при размещении озимой пшеницы по вико-овсяной смеси на зеленую массу доля почвенного плодородия в формировании урожайности на удобренном фоне составила 91,9 %, по кукурузе на силос – 78,5, по пшенице озимой – 54,4 % [1].

Исследованиями, которые проводились на Брестской сельскохозяйственной станции, было установлено, что при выращивании озимой ржи использование в качестве сидерата люпина с внесением $N_{60}P_{60}K_{90}$ увеличивало урожай зерна на 0,83 т/га по сравнению с вариантом, где вносились только минеральные удобрения такой же дозой, но по чистому пару, а по занятому пару – на 0,61 т/га [8].

В опытах Сумского института агропромышленного производства в 4-польном севообороте, где предшественником озимой пшеницы был сидеральный пар – эспарцет, подсеянный под ячмень, урожай пшеницы повышался на 15 % [9].

По данным Волынской государственной сельскохозяйственной опытной станции, запахивание сидеральной массы гороха полевого содействовало повышению урожайности озимой пшеницы до 4,02 т/га, при урожайности на контроле – 2,77 т/га [10]. Однако другими учеными было установлено, что в отдельные годы запахивания зеленой массы на фоне применения повышенных доз минеральных удобрений приводило к снижению ее урожайности [11, 12]. Таким образом, несмотря на то что вопрос эффективности сидерации на фоне применения минеральных удобрений рассматривался многими учеными, единого мнения относительно выбора сидеральной культуры, системы ее удобрения, влияния сидерации на питательный режим почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур нет. Особенно актуальным этот вопрос является в Правобережной Лесостепи Украины, где сидеральные пары не практиковались по причине удовлетворительных условий увлажнения и соблюдения севооборотов.

Цель исследований – изучить последствие разноудобренных сидеральных паров на питательный режим почвы и урожайность озимой пшеницы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на опытном поле Уманского национального университета садоводства, расположенного в Маньковском природно-сельскохозяйственном районе Средне-Днепровско-Бугского округа лесостепной Правобережной провинции Украины. Почва опытных участков – чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый на лессе. Глубина гумусного горизонта составляет 80–90 см, содержание гумуса – 3 %. Реакция почвенного раствора близка к нейтральной (pH_{KCl} 5,6–6,5), гидролитическая кислотность – 1,5–2,5 смоль/кг почвы, степень насыщенности основаниями – 85–93 %. Рельеф опытного поля – выровненное, повышенное плато.

Подземные воды залегают на глубине 22–24 м и не влияют на свойства и строение почвы, а также водопотребление сельскохозяйственных культур.

Экспериментальную часть работы по изучению эффективности внесения различных доз и видов минеральных удобрений под сидеральные пары проводили в краткосрочном опыте. На зеленое удобрение высевали донник белый однолетний сорта «Донецкий однолетний» с нормой посева семян 20 кг/га, горчицу белую «Ослава» – 20, редьку масличную «Журавка» – 20, вику яровую «Елизавета» – 150 и гречиху «Антария» – 150 кг/га. За контроль был взят чистый пар. Схема опыта с удобрением сидеральных культур и пшеницы озимой приведена в табл. 1.

Таблица 1

Схема внесения минеральных удобрений под озимую пшеницу после различных паровых предшественников

Вариант		Внесено минеральных удобрений				Сидеральная культура
		под сидерат		под пшеницу		
		осенью	весной 2-й год	осенью (2-й год)	весной (3-й год)	
1	N	0	0	0	80	Донник белый Горчица белая Редька масличная Вика яровая Гречиха
	P ₂ O ₅	0	0	60	0	
	K ₂ O	0	0	60	0	
2	N	0	40	0	40	Донник белый Горчица белая Редька масличная Вика яровая Гречиха
	P ₂ O ₅	0	0	60	0	
	K ₂ O	0	0	60	0	
3	N	0	0	0	80	Донник белый Горчица белая Редька масличная Вика яровая Гречиха
	P ₂ O ₅	40	0	20	0	
	K ₂ O	40	0	20	0	
4	N	0	40	0	40	Донник белый Горчица белая Редька масличная Вика яровая Гречиха
	P ₂ O ₅	0	0	60	0	
	K ₂ O	40	0	20	0	
5	N	0	40	0	40	Донник белый Горчица белая Редька масличная Вика яровая Гречиха
	P ₂ O ₅	40	0	20	0	
	K ₂ O	0	0	60	0	
6	N	0	40	0	40	Донник белый Горчица белая Редька масличная Вика яровая Гречиха
	P ₂ O ₅	40	0	20	0	
	K ₂ O	40	0	20	0	
7	N	0	80	0	0	Донник белый Горчица белая Редька масличная Вика яровая Гречиха
	P ₂ O ₅	40	0	20	0	
	K ₂ O	40	0	20	0	

Посевная площадь опытного участка – 36 м², учетная – 25 м². Размещение участков последовательное, повторность опытов – трехкратная.

Сев сидератов в зависимости от видовых особенностей исследуемых культур проводили в конце марта – середине мая сеялкой СЗТ-3,6. Семена капустных культур перед посевом обрабатывали протравителем Круизер 350 FS против черной блошки.

На посевах донника белого однолетнего для контроля численности сорняков применяли довсходовое внесение гербицида «Раундап».

Почвенные образцы для анализа отбирали из слоя 0–40 см. В них определяли содержание нитратного азота ионометрическим методом, подвижных форм фосфора и калия – по методу Чирикова.

При наступлении фазы цветения донника белого, цветения–плодообразования гречихи, цветения–начала образования бобов вики яровой и стручков у капустных культур сидераты скашивали с помощью мульчирователя МР-2,7. Запахивание зеленой массы проводили плугом ПЛН-4-35 на глубину 25–27 см. К началу осени почву удерживали в состоянии полупара.

Последствие разноудобренных сидеральных паров изучали на пшенице озимой. Под пшеницу озимую доза минеральных удобрений, с учетом количества их внесения под сидеральный пар, составляла N₈₀P₆₀K₆₀. Все варианты были выровнены по количеству внесенных с минеральными удобрениями элементов питания.

Согласно схеме опытов, применяли такие формы минеральных удобрений: аммиачную селитру, суперфосфат гранулированный, калий хлористый. Под сидераты фосфорные и калийные удобрения вносили под зяблевую вспашку, азотные – под предпосевную культивацию. Компенсирующие дозы фосфорных и калийных удобрений вносили под предпосевную культивацию пшеницы озимой, азотных – в подкормку ранней весной.

Сбор и учет урожая озимой пшеницы проводили прямым комбайнированием. Математическую и статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа, используя пакет стандартных программ «Microsoft Office 2003».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Отечественный и мировой опыт [12–15] показывает, что усиление факторов биологизации позволяет не только стабилизировать агроэкологическое состояние агроландшафтов, но и обеспечить дальнейший прогресс земледелия. С экологической точки зрения сидерация обеспечивает существенное уменьшение вымывания легкорастворимых биогенных элементов, в том числе нитратного азота. В результате решается еще одна актуальная проблема – предупреждение загрязнения поверхностных вод азотными соединениями [16]. С целью разработки сидеральной системы удобрения в условиях Правобережной Лесостепи Украины как составной части внедрения биологического растениеводства возникает необходимость комплексного исследования влияния сидеральных культур на некоторые агрохимические свойства почвы и формирование урожайности зерна озимой пшеницы, что и было целью наших исследований.

Важным фактором формирования урожая озимой пшеницы является достаточная обеспеченность азотом. Установлено, что внесение минеральных удобрений на фоне сидеральных паров способствует существенному повышению в почве содержания нитратного азота (табл. 2).

Таблица 2

Влияние внесения удобрений под сидераты на содержание нитратного азота и подвижных соединений фосфора и калия в слое 0–40 см почвы под озимой пшеницей в фазу всходов (2013–2015 гг.)

Вариант опыта: внесено под		Предшественник	Всходы		
сидерат	пшеницу озимую		N-NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	K ₂ O
			содержание, мг/кг почвы		
–	N ₈₀ P ₆₀ K ₆₀	Чистый пар	8,7	124	129
Без удобрений (контроль)	N ₈₀ P ₆₀ K ₆₀	Донник белый	10,6	129	136
		Горчица белая	10,3	127	139
		Редька масличная	10,1	127	137
		Вика яровая	10,8	127	135
		Гречиха	10,0	131	142
N ₄₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	Донник белый	11,2	130	137
		Горчица белая	10,6	128	140
		Редька масличная	10,9	127	138
		Вика яровая	11,3	128	137
		Гречиха	10,6	131	144
P ₄₀ K ₄₀	N ₈₀ P ₂₀ K ₂₀	Донник белый	10,9	135	144
		Горчица белая	10,4	132	146
		Редька масличная	10,6	131	144
		Вика яровая	11,1	133	144
		Гречиха	10,3	136	150
N ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₂₀	Донник белый	11,2	130	143
		Горчица белая	10,8	128	147
		Редька масличная	10,9	127	144
		Вика яровая	11,4	128	143
		Гречиха	10,6	132	151
N ₄₀ P ₄₀	N ₄₀ P ₂₀ K ₆₀	Донник белый	11,3	135	139
		Горчица белая	10,8	133	143
		Редька масличная	11,0	131	140
		Вика яровая	11,7	133	139
		Гречиха	10,6	137	148
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₂₀ K ₂₀	Донник белый	11,5	136	146
		Горчица белая	11,3	133	150
		Редька масличная	11,2	132	146
		Вика яровая	11,9	133	144
		Гречиха	10,7	138	155
N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀	P ₂₀ K ₂₀	Донник белый	12,5	136	148
		Горчица белая	12,0	134	151
		Редька масличная	12,0	132	147
		Вика яровая	12,7	134	146
		Гречиха	11,5	139	155

Так, в фазе всходов озимой пшеницы благодаря интенсивным процессам нитрификации как в чистом пару, так и после сидератов в варианте без удобрений содержание нитратного азота в слое почвы 0–40 см достигало 8,7–10,8 мг/кг. Под влиянием применения удобрений наблюдалось повышение его содержания на 3–18 % по сравнению с контролем (сидеральный пар) и на 15–46 % по

сравнению с чистым паром. Это свидетельствует о том, что сидеральные пары в сочетании с минеральными удобрениями являются действенным фактором, влияющим на азотный режим почвы. Более высоким исследуемый показатель был в варианте с внесением $N_{80}P_{40}K_{40}$ под сидераты и $P_{20}K_{20}$ – под пшеницу озимую – 11,5–12,7 мг/кг.

На удобренных сидеральных парах содержание нитратного азота в почве было на 15–46 % выше, чем после чистого пара. Во все годы исследований среди культур, возделываемых на зеленое удобрение, лучшими по содержанию нитратного азота в почве была вика яровая и донник белый однолетний, наименьшее значение этого показателя было после гречихи.

В фазу всходов растений озимой пшеницы содержание подвижных соединений фосфора после сидератов на фоне удобрения было в пределах 127–138 мг/кг и не зависело от срока внесения минеральных удобрений (табл. 2). Наряду с этим, при внесении такой же дозы удобрений ($N_{80}P_{60}K_{60}$) в чистом пару, содержание подвижных соединений фосфора было на уровне сидеральных паров. Высокое содержание подвижных соединений фосфора было после гречихи – 131–139 мг/кг почвы. Поэтому с точки зрения оптимизации фосфатного режима почвы под пшеницу озимую лучше в сидеральных парах высевать гречиху.

Содержание подвижных соединений калия после сидеральных паров в фазу всходов озимой пшеницы находилось в пределах 136–155 мг/кг. Перераспределение минеральных удобрений во времени существенно не влияло (только на 1–4 %) на увеличение содержания подвижных соединений калия в почве на время всходов озимой пшеницы. Установлено, что исследуемый показатель больше зависел от культур, которые выращивались на зеленое удобрение. Так, в этом отношении лучшим сидератом была гречиха, после которой содержание подвижных соединений калия составляло 142–155 мг/кг, худшим – вика яровая (135–146 мг/кг). После удобренных сидеральных паров содержание подвижных соединений калия было выше на 6–20 % по сравнению с чистым паром.

Таким образом, перераспределение минеральных удобрений во времени в севообороте «сидеральный пар – пшеница озимая» создает лучший питательный режим почвы, по сравнению с внесением всей дозы $N_{80}P_{60}K_{60}$ непосредственно под озимую пшеницу после неудобренного сидерального или чистого пара.

Использование сидератов в сочетании с внесением минеральных удобрений является достаточно эффективной мерой повышения продуктивности севооборота. Без внесения минеральных удобрений только за счет сидератов она возросла на 33–41 %, а с добавлением минеральных удобрений – на 98 % [17, 18].

Система удобрения является одним из самых эффективных мер повышения урожайности и улучшения качества зерна озимой пшеницы. Исследования показали, что урожайность озимой пшеницы зависела от погодных условий, но и весомое влияние имело перенесение части нормы минеральных удобрений, предназначенных для пшеницы озимой, под сидеральный пар (табл. 3).

Весенне-летний период вегетации 2014 г. прошел в условиях чрезмерного количества осадков. Так, на протяжении апреля–июня выпало 298 мм осадков, что на 108 мм больше среднемноголетнего показателя. В результате этого растения озимой пшеницы при внесении удобрений под сидеральные пары были сильно загущенные, переросшие, полегали и повреждались болезнями (особенно на вариантах с внесением удобрений под сидеральную культуру дозой $N_{40}P_{40}K_{40}$ и $N_{80}P_{40}K_{40}$ и $N_{40}P_{20}K_{20}$ и $P_{20}K_{20}$ под озимую пшеницу соответственно), что, в свою

очередь, привело к снижению урожая. В то же время, при внесении всей дозы минеральных удобрений ($N_{80}P_{60}K_{60}$) непосредственно под пшеницу озимую полегания растений пшеницы не наблюдалось.

Таблица 3

Влияние сроков внесения минеральных удобрений на урожайность пшеницы озимой после чистого и сидерального паров (2014–2016 гг.)

Вариант опыта: внесено под		Сидерат	2014 г.	2015 г.	2016 г.	Средняя за три года
сидерат	озимую пшеницу					
		урожайность, т/га				
Без удобрений (контроль)	$N_{80}P_{60}K_{60}$	Донник белый	5,3	5,5	5,8	5,5
		Горчица белая	4,6	5,5	5,7	5,3
		Редька масличная	4,7	4,8	5,2	4,9
		Вика яровая	5,4	5,4	5,9	5,6
		Гречиха	4,7	5,2	5,6	5,2
N_{40}	$N_{40}P_{60}K_{60}$	Донник белый	5,6	6,0	6,2	5,9
		Горчица белая	5,1	5,8	6,3	5,7
		Редька масличная	5,3	5,0	5,4	5,2
		Вика яровая	5,5	6,0	6,3	5,9
		Гречиха	5,2	6,4	6,5	6,0
$P_{40}K_{40}$	$N_{80}P_{20}K_{20}$	Донник белый	5,5	6,4	6,7	6,2
		Горчица белая	4,9	5,8	6,1	5,6
		Редька масличная	5,0	5,2	5,5	5,2
		Вика яровая	5,9	6,1	6,4	6,1
		Гречиха	5,1	5,9	6,6	5,9
$N_{40}K_{40}$	$N_{40}P_{60}K_{20}$	Донник белый	5,8	6,9	7,1	6,6
		Горчица белая	5,2	6,2	6,6	6,0
		Редька масличная	5,5	6,3	6,5	6,1
		Вика яровая	5,9	6,9	7,0	6,6
		Гречиха	5,5	6,1	6,7	6,1
$N_{40}P_{40}$	$N_{40}P_{20}K_{60}$	Донник белый	5,8	7,4	7,5	6,9
		Горчица белая	5,4	6,5	6,8	6,2
		Редька масличная	5,5	6,6	6,7	6,3
		Вика яровая	6,1	7,5	7,3	7,0
		Гречиха	5,8	6,4	6,5	6,2
$N_{40}P_{40}K_{40}$	$N_{40}P_{20}K_{20}$	Донник белый	5,9	7,8	7,9	7,2
		Горчица белая	5,7	7,3	7,4	6,8
		Редька масличная	5,8	6,8	6,9	6,5
		Вика яровая	6,4	7,8	7,8	7,3
		Гречиха	6,0	6,8	7,1	6,6
$N_{80}P_{40}K_{40}$	$P_{20}K_{20}$	Донник белый	6,1	7,9	8,1	7,4
		Горчица белая	6,2	7,6	7,7	7,2
		Редька масличная	6,2	7,5	7,7	7,1
		Вика яровая	6,5	7,9	8,0	7,5
		Гречиха	6,2	7,4	7,7	7,1
НСР ₀₅	По фактору удобрения		0,2	0,2	0,3	–
	По фактору виды пара		0,1	0,2	0,2	
	Взаимодействие факторов		0,4	0,6	0,5	

Примечание. После чистого пара при внесении $N_{80}P_{60}K_{60}$ урожайность в 2014 г. – 6,4 т/га; 2015 г. – 6,2 т/га, 2016 г. – 6,4 т/га, в среднем за три года – 6,4 т / га (см. табл. 2).

Результаты учета урожая в 2014 г. показали, что в варианте с внесением $N_{80}P_{60}K_{60}$ непосредственно под пшеницу озимую урожайность была в пределах 4,6–5,4 т/га в зависимости от вида сидерата. Наименьшей она была после горчицы белой, наибольшей – после вики яровой. Внесение под сидераты $N_{80}P_{40}K_{40}$ и $P_{20}K_{20}$ под пшеницу озимую способствовало формированию урожая зерна пшеницы на уровне 6,1–6,5 т/га в зависимости от культуры, которая выращивалась на зеленое удобрение. Самый низкий показатель был получен при сидерации донником белым, самый высокий – викой яровой.

Особенностью вегетации пшеницы озимой в 2014–2015 г. было недостаточное количество тепла осенью, поэтому часть посевов вошли в зиму нераскущенными. Однако перезимовка прошла успешно, а вегетация восстановилась на 2–3 недели раньше обычного. При этом характер весны этого года с постепенным нарастанием тепла и достаточным количеством влаги в почве позволил растениям нормально раскущиться и укорениться, что положительно повлияло на урожайность озимой пшеницы. Так, урожай зерна при внесении всей дозы $N_{80}P_{60}K_{60}$ непосредственно под пшеницу озимую составлял 4,8–5,5 т/га в зависимости от сидерата. Наименьший он был после редьки масличной, наибольший – после донника белого и горчицы белой. Самым эффективным было внесение под сидераты $N_{80}P_{40}K_{40}$ и $P_{20}K_{20}$ под пшеницу озимую, что способствовало формированию урожая на уровне 7,4–7,9 т/га в зависимости от культуры на зеленое удобрение. Самый низкий показатель был получен при сидерации гречихой, самый высокий – донником белым и викой яровой.

Осенью 2015 г. создались неблагоприятные погодные условия для получения дружных всходов в связи с недостаточным количеством осадков в августе–сентябре. Они появились с опозданием, были изреженными и ослабленными. Только благодаря тому, что ноябрь–декабрь был теплым, состояние посевов улучшилось. Раннее развитие и медленный ход весенних процессов в 2016 г., достаточное количество осадков создали благоприятные условия для посевов озимой пшеницы. Дальнейший рост и развитие растений проходили в условиях постепенного нарастания тепла и достаточных запасов влаги в почве. Такая погода весной сдерживала активные вегетационные процессы и была благоприятной для формирования корневой системы и кущения озимой пшеницы. Однако за счет раннего начала вегетации и повышенного температурного фона в марте–апреле фазовое развитие растений озимой пшеницы происходило с опережением обычных сроков. Состояние посевов было хорошим. Увлажнение почвы в период интенсивного роста стеблей и формирования колоса преимущественно было достаточным и оптимальным. Условия для формирования и налива зерна в начале июня складывались близкие к оптимальным. Жаркая погода с температурой воздуха (30–33 °С), которая преобладала в третьей декаде июня, при наличии достаточных запасов влаги в почве и отсутствии суховеев, негативно не влияла на состояние посевов и будущий урожай.

Продуктивность культуры в этом году была высокой. При внесении полной нормы минеральных удобрений непосредственно под пшеницу урожайность была в пределах 5,1–5,9 т/га в зависимости от сидеральной культуры. Донник белый, горчица белая и гречиха, которые использовались в качестве зеленого удобрения, в варианте без внесения под них удобрений имели почти одинаковое влияние на урожайность озимой пшеницы – 5,8, 5,7, 5,6 т/га соответственно. Наименьшей она была после редьки масличной и составила 5,1 т/га, а самой

высокой – после вики – 5,9 т/га. В целом по опыту в 2016 г. самая высокая урожайность была получена в варианте с внесением под сидераты $N_{80}P_{40}K_{40}$ и $P_{20}K_{20}$ под пшеницу озимую, что способствовало формированию урожая, в зависимости от сидеральной культуры, на уровне 7,7–8,1 т/га.

В среднем за три года исследований в варианте, где удобрения под сидераты не вносили, урожайность озимой пшеницы была в пределах 4,9–5,6 т/га. Перенесение под сидераты азотных удобрений в дозе 40 кг/га д. в. повышало урожай озимой пшеницы на 0,4–0,9 т/га, в зависимости от вида зеленого удобрения по сравнению с контролем. Применение этой же дозы на фоне $P_{40}K_{40}$ способствовало повышению урожайности на 0,6–1,3 т/га по сравнению с вариантом, где вносились под сидераты только азотные удобрения. Дополнительное внесение N_{40} на фоне $N_{40}P_{40}K_{40}$ повышало урожай зерна только на 0,1–0,6 т/га.

Относительно влияния элементов питания на формирование продуктивности озимой пшеницы фосфорные и калийные туки в дозе 40 кг/га д. в. повышали урожайность соответственно на 0,4–0,8 и 0,2–0,6 т/га в зависимости от вида сидеральной культуры. Следовательно, дополнительный прирост урожая за счет перераспределения минеральных удобрений во времени может составлять 0,3–2,3 т/га по сравнению с контролем в зависимости от сидерата и доз удобрений.

Следует отметить, что в опыте не обнаружено преимуществ сидерального пара над чистым при внесении всей дозы удобрений ($N_{80}P_{60}K_{60}$) непосредственно под пшеницу озимую. Аналогичная закономерность прослеживалась и в вариантах переноса под сидераты удобрений в дозах N_{40} ; $P_{40}K_{40}$; $N_{40}K_{40}$. Преимущество проявлялась при выращивании пшеницы озимой на фоне внесения $N_{40}P_{40}$ под донник белый однолетний и вику яровую, соответственно на 0,5 и 0,6 т/га по сравнению с чистым паром. При использовании в качестве сидерата горчицы белой и гречихи это был вариант с внесением $N_{40}P_{40}K_{40}$, для редьки масличной – максимальная доза удобрений $N_{80}P_{40}K_{40}$.

Как видно из данных табл. 3, лучшим является вариант с внесением под сидераты $N_{80}P_{40}K_{40}$ и $P_{20}K_{20}$ под пшеницу озимую, где формировался урожай зерна пшеницы на уровне 7,1–7,5 т/га в зависимости от культуры на зеленое удобрение. Внесение всей дозы $N_{80}P_{60}K_{60}$ непосредственно под пшеницу озимую как после сидерального пара, так и на фоне чистого пара обусловило снижение урожайности соответственно на 33–47 и 11–15 %.

Аналогичные результаты были получены в исследованиях М. Н. Новикова и др. [19], где прирост урожая от сидератов при внесении удобрений в дозе $N_{120}P_{120}K_{120}$ непосредственно под рожь озимую в среднем составил 0,5 т/га (11 %) по сравнению с чистым паром, а при внесении удобрений дозой $N_{90}P_{120}K_{120}$ под сидеральный пар и N_{30} под рожь – 1,1 т/га (27 %). Дополнительный урожай за счет переноса минеральных удобрений во времени составил 0,6 т/га (16 %).

ВЫВОДЫ

Выявлено, что лучшим сидератом при выращивании без удобрений для накопления запасов азота минеральных соединений в почве является вика яровая и донник белый однолетний, а для увеличения содержания подвижных соединений фосфора и калия – гречиха. При этом больше всего питательных веществ в почве перед посевом озимой пшеницы наблюдалось при внесении удобрений дозой $N_{80}P_{40}K_{40}$ непосредственно под сидераты или только ее части – $N_{40}P_{40}K_{40}$ либо $N_{40}P_{40}$.

В условиях неустойчивого увлажнения Правобережной Лесостепи Украины в звене севооборота сидеральный пар–пшеница озимая целесообразно удобрять зерновую культуру через сидераты, что повышает эффективность минеральных удобрений. Самый высокий урожай пшеницы озимой формируется после вики яровой на фоне внесения под сидераты $N_{80}P_{40}K_{40}$ и $P_{20}K_{20}$ под пшеницу озимую – 7,5 т/га, что на 34 % больше контрольного варианта и на 17 % показателя чистого пара. Наряду с этим, при такой системе удобрения наибольший прирост, по сравнению с внесением всей дозы $N_{80}P_{60}K_{60}$ непосредственно под пшеницу озимую, получен при использовании донника белого однолетнего – на сидераты – 1,9 т/га, или 35 %, по сравнению с контролем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боинчан, Б. П.* Альтернативные системы земледелия / Б. П. Боинчан // Плодородие. – 2013. – №5. – С. 2–6.
2. *Докучаев, В. В.* Избранные произведения. О травопольной системе земледелия / В. В. Докучаев [и др.]. – М., 1949. – С. 13–45.
3. *Измаильский, А. А.* Как высохла наша степь / А. А. Измаильский. – М.-Л.: ОГИЗ, Сельхозгиз, 1937. – 75 с.
4. *Довбан, К. И.* Зеленое удобрение в современной земледелии: вопросы теории и практики / К. И. Довбан. – Минск: Белорусская наука, 2009. – 404 с.
5. *Кононюк, Л. М.* Врожайність та якість зерна пшениці озимої залежно від технології вирощування в Правобережному Лісостепу / Л. М. Кононюк [та ін.] // Зб. наук. пр. ННЦ «Інститут землеробства НААН». – 2014. – Вип. 4. – С. 46–54.
6. *Дуда, Г. Г.* Залежність деяких показників якості зерна озимої пшениці від ґрунтово-кліматичних умов, попередників і удобрення / Г. Г. Дуда., А. В. Дружченко, О. В. Іваненко // Агрохімія і ґрунтознавство. – 1975. – Вип. 30. – С. 29–35.
7. Перспективи застосування сидеральних парів в Лісостепу України / під ред. В. В. Кириченка, В. М. Костромітіна. – Харків, 2007. – 66 с.
8. *Колісник, В. І.* Урожай і якість зерна у сортів озимої пшениці при вирощуванні на сидеральних парах / В. І. Колісник // Селекція і насінництво: міжвід. темат. наук. зб. УААН, Ін-т рослинництва ім. В. Я. Юр'єва. – Харків. – 2008. – Вип. 95. – С. 230–247.
9. *Брук М.С.* Земля на ладони. / М.С. Брук. – М.: Агропромиздат, 1986. – 175 с.
10. *Анисимова, Т. Ю.* Агрохимическая и технологическая эффективность использования узколистого люпина и соломы в звеньях севооборотов Центрального Нечерноземья: автореф. дис. ...на соискание науч. степени канд.с.-х. наук: 06.01.04 / Т. Ю. Анисимова. – М., 2002. – 22 с.
11. *Артеменко, В.* Сидерати. Їм відроджувати колишню славу українських земель / В. Артеменко // Пропозиція. – 2003. – № 6. – С. 36–38.
12. *Балаєв, А. Д.* Родючість ґрунтів Лісостепу України за різної інтенсивності їх використання / А. Д. Балаєв [та ін.] // Наукові праці. Екологія. – 2011. – Вип. 140. – Т. 152. – С.16–20.
13. *Медведєв, В. В.* Родючість ґрунтів: моніторинг та управління / В. В. Медведєв [та ін.]; за ред. В. В. Медведєва. – К.: Урожай, 1992. – 248 с.
14. *Туктаров, Б. И.* Повышение плодородия чернозема выщелоченного в Лесостепной зоне при биологизации земледелия / Б. И. Туктаров, П. В. Тарасенко, А. В. Уваров // Плодородие. – 2012. – № 1. – С. 37–39.
15. *Дерпш, Р.* Опыт Южной Америки / Р. Дерпш // Ресурсосберегающее земледелие. – 2008. – № 1. – С. 6–9.

16. Колісник, В. І. Урожайність і якість зерна пшениці озимої при застосуванні сидератів в умовах Лісостепу України: автореф. дис. ...на здобуття наук. ступеня канд. с.н.: 06.01.09 / В. І. Колісник; Дніпропетровськ. – 2009. – 22 с.

17. Ковальчук, О. П. Вплив сидератів на поживний режим ґрунту і врожайність культур у короткоротаційній сівозміні / О. П. Ковальчук // Вісник аграрної науки. – 2011. – № 8 – С. 75–76.

18. Іваніна, В. В. Біологізація удобрення культур у сівозмінах / В. В. Іваніна. – К.: ЦП «Компринт». 2016. – 328 с.

19. Сидераты в земледелии Нечерноземной зоны / М. Н. Новиков [и др.] // Агротехнический вестник. – 2013. – № 4. – С. 20–28.

INFLUENCE OF SIDERAL VAPORS ON THE NUTRITIONAL REGIME OF BLACK PODZOLIC AND YIELD OF WHEAT WINTER

G. N. Gospodarenko, E. D. Chernob, A. L. Lysyansky

Summary

It was revealed that for the accumulation of nitrogen reserves of mineral compounds in the soil when grown without fertilizers, the best sideratom was spring and sweet clover, and buckwheat for increasing the content of mobile compounds of phosphorus and potassium. The same pattern was traced when applying mineral fertilizers. At the same time, most of the nutrients in the soil before sowing winter wheat accumulate when all the fertilizers are applied ($N_{80}P_{40}K_{40}$) directly under the green manure, or only part of it – $N_{40}P_{40}K_{40}$ and $N_{40}P_{40}$.

It was established that when applying for $N_{80}P_{40}K_{40}$ and $P_{20}K_{20}$ siderats for winter wheat, a grain yield of wheat at the level of 7,1–7,5 t/ha was formed depending on the crop that was used for green fertilizer. The introduction of the dose of $N_{80}P_{60}K_{60}$ directly under the winter wheat, both after siderate and against the background of pure steam, led to a decrease in yield by 33–47 and 11–15 %, respectively.

Поступила 08.02.19

УДК 631.474:631.164.2:631.31

ПРОСТРАНСТВЕННО-ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ ПАШНИ УКРАИНЫ)

И. В. Плиско

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

ВВЕДЕНИЕ

Во время антропогенной трансформации окружающей среды происходят необратимые изменения качественного состояния почв, приводящие в большинстве случаев к снижению уровня их плодородия (смыв, дефляция, засоление, дегумификация и др.) и ослаблению общеэкологических функций. Потому вопросы,

связанные с качеством почв, являются одними из определяющих в контексте изучения плодородия почв разных стран мира. Не исключение и украинские почвы, большинство которых составляют высокоплодородные черноземы, характеризующиеся высоким природным потенциалом. Однако в силу ряда объективных и субъективных причин они не всегда имеют высокий уровень эффективного плодородия. Поэтому очень важными являются вопросы, связанные с объективизацией подходов к оценке качества почв, определения ценности почв в денежном выражении и их агроинвестиционной привлекательности.

Значительный вклад в разработку и усовершенствование методов, связанных с бонитировкой и качественной оценкой почв сделано отечественными учеными: В. П. Кузмичевым, Р. А. Деревянко, И. А. Розумным, А. И. Серым, Г. А. Мазуром, В. В. Медведевым, Л. Я. Новаковским и др. Весомые разработки в этой области осуществлены рядом ученых бывшего СССР – С. С. Соболевым, И. И. Кармановым, В. А. Семеновым, М. Лысаком, Л. Шугалеем, С. Н. Тайчиновым, Н. А. Благовидовым (Россия), Т. Н. Кулаковской, А. Г. Медведевым (Беларусь), К. К. Бривкали (Латвия), И. И. Вайтекунасом, А. Кульветисом и В. П. Молишаускасом (Литва), а также иностранными учеными: Д. В. Питманом – для Америки, Р. Хейноненем – для Финляндии, И. К. Лилеем – для Индии и др.

В современных условиях реформирования необходимой составляющей успешного развития рыночных отношений в аграрном секторе Украины является наличие объективной и обобщенной информации о качественном состоянии почв для их эффективного использования и охраны. Актуальность разработки усовершенствованных подходов к оценке качества почв и земель обусловлена современными законодательно закрепленными требованиями государственной политики в сфере землепользования. Государственный контроль качества земель является средством определения цены земли, размера арендной платы, начисления штрафов и определения размеров других земельных налогов.

На основании критического анализа существующих методических подходов установлено, что бонитировка осуществляется для классификации почв по пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур и оценке уровня их плодородия [1]. Существенными недостатками существующих подходов является ограниченное количество критериев оценки (характеристика исключительно потенциального плодородия почв) [2, 3], фактическое игнорирование важнейших факторов урожайности (влаго- и теплообеспеченности, запасов доступных питательных элементов), искусственный характер разделения критериев на основные и модификационные, необоснованность большинства поправочных коэффициентов [4], упрощенные подходы к обобщению данных и объединению оценок [5], использование почвенных агрогрупп в качестве первичной территориальной единицы оценки [6], некорректность описания сложной системы «почва–урожай» с помощью парного корреляционного анализа, отсутствие производственных проверок методик, а также игнорирование неоднородности почвенного покрова при проведении земельно-оценочных работ. Практическое использование действующих бонитетов не позволяет объективно охарактеризовать ценность сельскохозяйственных земель и их современное качественное состояние [7, 8]. Это требует разработки новых методов по определению фундаментальной (базовой) ценности пахотных почв на почвенно-экологической основе. Именно такая оценка может определить как потенциальное плодородие почв, так и их экологическое значение независимо от социально-экономических условий развития страны и

использоваться для решения долгосрочных целей планирования, прогнозирования, рационального использования и охраны земельных ресурсов.

Качественная оценка почв также крайне важна для инвестора, который решил приобрести или арендовать участок земли для возделывания сельскохозяйственной продукции. В связи с этим важно заранее оценить инвестиционную привлекательность земельного участка, снизить возможный уровень инвестиционных рисков, быстро и в максимальной степени оправдать вложения от применения современных интенсивных агротехнологий с целью достижения стабильных экономических показателей при разработке конкретных инвестиционных проектов на практике. Анализ основ экологобезопасного землепользования [9–12] доказывает необходимость определения агроинвестиционной привлекательности пахотных почв для совершенствования механизма финансирования агропромышленного комплекса страны в современных сложных экономических условиях, когда земельные отношения требуют нового, более эффективного развития для создания цивилизованного рынка земли в Украине.

Таким образом, несмотря на существование многих методов по определению бонитетной, качественной и стоимостной оценок почв [13], которые имеют как преимущества, так и недостатки, возникает необходимость разработки и внедрения пространственно-дифференцированной системы управления качеством пахотных почв на основе совершенствования методических подходов к их бонитировке, определению ценности и агроинвестиционной привлекательности, научном обосновании и практическом внедрении дифференцированных агротехнологий с учетом зональных и региональных особенностей неоднородности почвенного покрова, что и явилось целью наших исследований.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработка научных основ пространственно-дифференцированной системы управления качеством почв осуществлена при проведении экспериментальных исследований на территориальных объектах, расположенных в различных природно-климатических зонах Украины. В зоне Полесья исследованы три поля: «Романов» (Волинская область, площадь 63 га), «Колки» (Волинская область, площадь 11 га), «Ведильцы» (Черниговская область, площадь 105 га). В зоне Лесостепи – два объекта в Харьковской области «Коротич» (площадь 31,15 га) и «Коммунар» (площадь 30 га), в зоне Степи – «Донецк» (Донецкая область, площадь 50 га). В зоне Полесья исследован комплекс дерново-подзолистых глееватых и дерновых глеевых почв, а также черноземов оподзоленных, светло-серых, серых и темно-серых оподзоленных почв, лугово-болотных разной степени оглеения легкого гранулометрического состава (супесчаного, глинисто-песчаного и легкосуглинистого). В зоне Лесостепи исследованы темно-серые оподзоленные почвы и черноземы типичные тяжелосуглинистые; в зоне Степи – черноземы обыкновенные тяжелосуглинистые.

Во время полевых исследований проведено натурное обследование почвенного покрова, заложена регулярная сетка элементарных участков из расчета один участок на 0,5 га (в Полесье) и на 1 га (в Лесостепи и Степи), в пределах которых отобраны пробы почвы согласно ДСТУ 4287: 2004 и определена плотность сложения почвы (ДСТУ ISO 11272: 2001), прямым измерением определены глубина корнеобитаемого слоя и степень выраженности оглеения (в случае его присутствия). Также исследованы основные морфологические (глубина гумусированно-

го слоя и пахотного слоя, пространственная конфигурация плужной подошвы) и физические (твердость – по ДСТУ 5096: 2008, удельное сопротивление во время пахоты) показатели почвы, а также степень покрытия почвы растительностью, проведен учет урожая выращиваемых культур.

На лабораторно-аналитическом этапе исследований в отобранных образцах почвы определены: гранулометрический состав (грансостав) методом пипетки в модификации Н. А. Качинского (ДСТУ 4730: 2007), содержание органического вещества (ДСТУ 4289: 2004), подвижных соединений фосфора и калия модифицированными методами Чирикова (ДСТУ 4115-2002) и Мачигина (ДСТУ 4114-2001), методом Кирсанова в модификации ННЦ ИПА (ДСТУ 4405: 2005), показатель pH (ДСТУ ISO 10390: 2007). Для оценки качества пахотных почв определены структурно-агрегатный состав ситовым методом в модификации Н. И. Саввинова (ДСТУ 4744: 2007) и водно-физические показатели общеизвестными методами [14] – наименьшая влагоемкость (НВ), влажность завядания (ВЗ), диапазон активной влаги (ДАВ).

Проведено обобщение экспериментальных данных и рассчитаны бонитеты почв, климата и синтезированные бонитеты, спрогнозированы их изменения в условиях окультуривания и деградации, определены фундаментальная (базовая) и текущая (рыночная) ценность пахотных почв на почвенно-экологической основе, определены интегральные оценки инвестиционной привлекательности пахотных почв.

В ходе исследований проведен статистический (среднее арифметическое, его погрешность, коэффициент вариации (K_v), дисперсия, среднее квадратическое отклонение, асимметрия, эксцесс и др.) и геостатистический (порог дисперсии, радиус корреляции, нагет-эффект, автокорреляционная функция и достоверность ее отклонения от нуля, спектральная плотность дисперсии и др.) анализ данных с помощью программного пакета Statistica и программы Surfer. Расчет общих и частных бонитетов, а также прогнозирование их изменений осуществлено в среде программы Excel. Для создания комплекса картографических материалов и определения площадей использована программа Mapinfo.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследований разработана пространственно-дифференцированная система управления качеством пахотных почв, которая представляет комплекс взаимосвязанных методов, принципов, средств, процессов целенаправленного воздействия на пахотные почвы с целью их рационального использования, охраны и обеспечения оптимального уровня их плодородия на основе детального учета специфики географического местонахождения и особенностей почвообразования. Схема системы управления качеством пахотных почв представлена на рис. 1. Составными частями системы являются информационный блок, блок аналитического оценивания и блок управления.

Информационный блок представляет собой совокупность данных о свойствах пахотных почв из разных информационных источников, использование которых позволяет проводить аналитико-оценочные работы на основе обновленных данных качественного состояния почв. Основным информационным источником при выполнении работы была база данных (БД) «Свойства почв Украины», созданная в лаборатории геоэкофизики почв ННЦ «ИПА имени Соколовского» [15]. БД содержит информацию об основных свойствах 2020 почвенных разрезов, расположенных в различных природно-климатических зонах Украины.

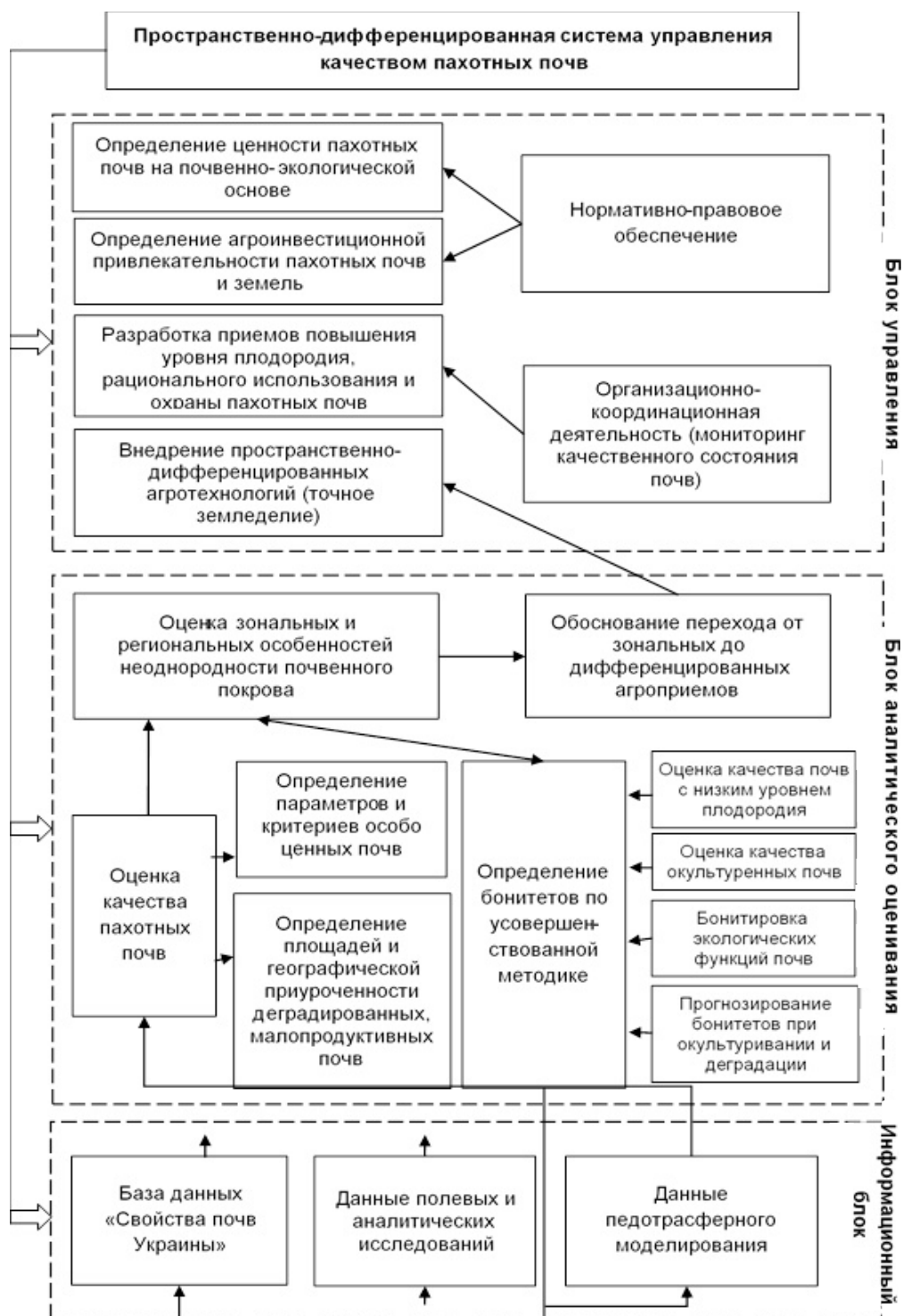


Рис. 1. Схема пространственно-дифференцированной системы управления качеством пахотных почв

При разработке системы управления вышеуказанная БД была дополнена агрохимическими показателями пахотных почв, которые были получены из областных филиалов Государственного учреждения «Институт охраны почв Украины»; некоторыми климатическими показателями по административным областям страны и урожайными данным по основным выращиваемым сельскохозяйственным культурам. Дополнительным источником были данные, полученные в ходе проведенных полевых и аналитических исследований. В случае отсутствия некоторых агрофизических показателей и для создания интегральных картографических материалов для территории всей страны были использованы методы педотрансферного моделирования. Важным источником информации могут быть также данные дистанционного зондирования, однако они не использовались при выполнении этой работы.

Блок аналитического оценивания включает процедуру проведения оценки качества пахотных почв на основании анализа новейших информационных данных и использования усовершенствованных методических подходов, разработанных сотрудниками лаборатории геоэкофизики почв ННЦ «ИПА имени А.Н. Соколовского» при непосредственном участии автора данной статьи [16].

Усовершенствованная методика бонитировки, которая позволяет оценивать продуктивные и экологические функции почв и имеет преимущества по сравнению с существующими аналогами за счет использования: расширенного количества критериев, определяющих потенциальное и эффективное плодородие почв (средние данные содержания в почве доступной влаги в момент появления всходов и при формировании генеративных органов, а также уровня обеспеченности почвы питательными веществами); дополнительных почвенно-климатических и технологических характеристик земельного участка (конфигурация поля, экспозиция, уклон поверхности и т.п.); использования почвенной разновидности в качестве элементарной пространственной единицы вместо почвенных агрогрупп; нового эталона бонитета – бонитета земельного участка с оптимальными параметрами почвы, климата, которая имеет 1-й класс технологической паспортизации; единой 100-бальной шкалы бонитета для всей страны вместо шкал для каждого природно-сельскохозяйственного района; нового способа расчета частного бонитета – как среднего геометрического значения от соотношения реальных (фактических) и оптимальных параметров критериев бонитировки. Результатом методики является общая и частная бонитетная оценка почвы и климата, а также обобщенная (синтезированная) оценка земельного участка. Использование усовершенствованной методики позволяет провести оценку почв с низким уровнем плодородия и высококультурных почв, оценить их экологические функции, а также прогнозировать изменения бонитета в условиях окультуривания или деградации.

Путем анализа выборок из БД «Свойства почв Украины», результатов собственных полевых и аналитических исследований и данных педотрансферного моделирования проведено определение качества пахотных почв относительно основных физических свойств пахотных почв. Результаты обобщения данных по природным зонам и провинциями Украины приведены в табл. Кв исследованных показателей в основном являются умеренными или близкими к ним, исключая влажность завядания. Установлено эталонные показатели физических свойств, характеризующих современное состояние физических свойств природно-клима-

тических зон Украины. Физические свойства, определенные в равновесном состоянии, свидетельствуют об их благоприятности для возделывания основных полевых культур, за исключением территорий, приуроченных к провинциям Полесья (повышенная плотность сложения), Лесостепи и Степи (пониженные параметры емкости доступной влаги – доступной активной влаги и водоустойчивости, повышенное равновесное уплотнение по сравнению с природными грунтами-аналогами).

Эталонные показатели современного физического состояния пахотных почв необходимо учитывать при проведении земельно-оценочных процедур.

В результате сравнения оптимальных и модальных (наиболее часто встречающихся) параметров установлено, что большинство исследованных пахотных почв характеризуются неблагоприятными для конкретных сельскохозяйственных культур свойствами, в частности, склонностью к переуплотнению и образования глыб во время основной обработки, существенно пониженной по сравнению с природными аналогами водоустойчивостью почвенной структуры. Доказано, что основными проблемами, которые сдерживают получение высоких урожаев в Украине являются пространственно-временной дефицит продуктивной влаги, возрастающий от северо-западных провинций на восток и юг и в течение вегетации культур, умеренный (относительно доступного фосфора) запас и отрицательный баланс питательных элементов, а также физическая деградация как следствие несбалансированного и некачественного землепользования.

Для проведения оценки пахотных почв Украины относительно потенциала оптимизации их физических свойств использованы: грансостав (содержание физической глины), фактор дисперсности, оценивающий потенциальные возможности образования микро- и макроструктуры, содержание агрономически ценной макроструктуры, равновесная плотность сложения и влажность в момент обработки почвы.

На основании оценки качества пахотных почв разработаны диагностические критерии и параметры особо ценных почв, которые дифференцируются в зависимости от природно-климатической зоны: Полесья, Лесостепи и Степи Украины. На основании созданных картографических материалов определены площади особо ценных, деградированных и малопродуктивных почв. Установлено, что из общей площади пашни 0,2 млн га имеют содержание песчаной фракции грансостава (размером $>0,25$ мм) более 35 %; 7,2 млн га – равновесную плотность сложения больше $1,55$ г/см³; 22,6 млн га – удельное сопротивление почвы при проведении основной обработки более $0,60$ кгс/см²; 37,1 млн га – средневзвешенный уклон земель более 3 градусов и т.д.

Оценка качественного состояния пахотных почв в целом позволила оценить зональные и региональные особенности неоднородности почвенного покрова по физическим, физико-химическим и агрохимическим свойствам с целью научного обоснования перехода от зональных к пространственно-дифференцированным агротехнологиям. Последнее в свою очередь обеспечило возможность внедрения пространственно-инновационных дифференцированных в пространстве агротехнологий с учетом мелкомасштабной неоднородности агроландшафтов и сельскохозяйственных угодий, является одной из составных частей следующего блока системы.

Таблица
Физические свойства наиболее распространенных почв почвенно-климатических зон и провинций Украины (пахотный слой)

Почвенно-климатическая зона	Почвенная провинция	Почвы и их гранстостав	Часть в структуре почвенного покрова провинции, %	Плотность сложения, г/см ³		Влажность завядания, %		Наименьшая влагоемкость, %		Диапазон активной влаги, %		Макроагрегаты 10–0,25 мм, %		Водоустойчивые агрегаты >0,25 мм, %								
				X*	Kv*	n*	X	Kv	n	X	Kv	n	X	Kv	n	X	Kv	n				
Полесье	Западная Правобережная Левобережная	Дерново-подзолистые слабооглеенные песчаные и супесчаные	48,9	1,5	9	17	1,7	40	17	15	26	9	13	29	9	–	–					
				1,5	7	17	2,0	43	16	16	21	14	15	21	14	–	–	–				
				1,5	7	13	1,9	23	10	16	15	10	14	18	8	–	–	–				
Лесостепь	Западная Правобережная Левобережная	Черноземы типичные, оподзоленные, темно-серые средне- и тяжелосуглинистые	29,6	1,3	6	14	9	23	13	24	12	28	17	11	11	64	12	8				
				1,3	9	23	10	20	23	27	13	21	17	26	21	73	8	4	34	26	4	
				1,2	11	107	11	25	81	28	17	77	18	26	77	69	14	66	52	31	66	
Степь	Придунайская Правобережная Левобережная	Черноземы обыкновенные тяжелосуглинистые и глинистые	94,6	1,2	8	12	13	12	12	29	16	14	16	29	12	72	15	5	54	41	5	
				1,1	12	25	14	11	25	32	20	25	19	32	25	78	13	17	55	30	16	
				1,1	10	134	14	18	118	31	14	116	17	24	114	67	27	144	46	36	144	
Степь засушливая	Придунайская Правобережная Левобережная	Черноземы обыкновенные, южные тяжелосуглинистые и глинистые	69,3	1,2	9	21	11	8	20	26	8	21	15	16	20	74	12	18	28	55	18	
				1,2	9	15	11	15	15	15	26	14	15	15	21	15	62	32	15	30	53	15
				1,2	10	10	12	15	10	28	14	10	16	26	10	66	32	7	37	85	7	
Степь сухая	Южно-Крымская Присивашская	Черноземы южные, темно-каштановые глинистые	24,4	1,2	6	21	13	13	21	32	24	21	19	37	21	58	38	13	44	26	13	
				1,2	10	44	12	26	42	28	17	42	17	27	38	65	27	23	40	34	23	
				1,2	10	44	12	26	42	28	17	42	17	27	38	65	27	23	40	34	23	

* X – среднее значение выборки; Kv – коэффициент вариации; n – количество дат в выборке.

Блок управления включает также определение ряда экономических оценочных показателей, в частности, ценности пахотных почв на почвенно-экологической основе и их агроинвестиционной привлекательности.

В ходе исследований разработана методика определения фундаментальной и текущей ценности пахотных почв. Фундаментальная ценность почв, отражающая потенциальные возможности почвы для производства продукции и позволяющая оценить его экологическое значение, определена на основе индексов ценности «подвижного» гумуса, основных элементов питания и биопродуктивности почв. Текущую ценность почв предложено определять с учетом цены одного балла бонитета, термина капитализации (33 года в Украине), стоимости 1 ц зерна и общего бонитета, рассчитанного по усовершенствованной методике [17].

Совершенствование механизма функционирования агропромышленного комплекса страны в сложных экономических условиях, сложившихся в Украине на данном этапе ее развития, невозможно без определения агроинвестиционной привлекательности пахотных почв с целью привлечения инвестиций в этот сектор экономики. В связи с этим составной частью блока управления является определение агроинвестиционной привлекательности пахотных почв и земель, в основу которой положен принцип экологического соответствия как фундаментальной основы агроэкологии. Показатели, характеризующие лучшие (эталонные) земельные участки, имеют параметры почв и климата, позволяют полностью реализовать потенциал почвы и технологий. Это участки с оптимальными параметрами, которые соответствуют требованиям полевых культур. Сопоставления оптимальных и фактических параметров позволило оценить пригодность конкретного земельного участка для выращивания сельскохозяйственных культур по классам: (1) – лучший (при незначительных различиях между оптимальными и реальными параметрами показателей), с увеличением различий – в соответствии со средним (2) и худшим (3) классом. На основании этих расчетов построены картосхемы инвестиционной привлекательности пахотных земель Украины для выращивания малотребовательных (рис. 2) и требовательных (рис. 3) к условиям произрастания сельскохозяйственных культур. Для требовательных культур (сахарная свекла, подсолнечник и кукуруза на зерно) использованы почвенно-климатические факторы, характеризующие длинный вегетационный период, для малотребовательных культур (яровые зерновые колосовые культуры) – короткий вегетационный период, в частности, содержание влаги в слое 0–20 и 0–100 см в критические периоды развития растений, температура во время появления всходов и формирования генеративных органов, сумма активных температур выше 10 °С.

Установлено, что значительно большую площадь в Украине занимают пахотные земли, которые по свойствам почв и климата могут считаться привлекательными для инвестирования и возделывания как малотребовательных, так и требовательных зерновых культур: 69,8 % (21,0 млн га) от общей площади пашни оценен как лучший и средний класс для выращивания малотребовательных культур и только 12,4 % (3,7 млн га) – как худший класс. Относительно требовательных культур выявлено следующее: лучший и средний класс имеют только 51,9 % (15,6 млн га), худший – 32,2 % (9,6 млн га) пахотных почв страны.

Оценка агроинвестиционной привлекательности земель позволяет оптимизировать выбор земельных угодий для возделывания сельскохозяйственных культур, что способствует повышению эффективности агропроизводства в стране, обеспечению устойчивого землепользования и минимизации возможных рисков для потенциальных инвесторов.

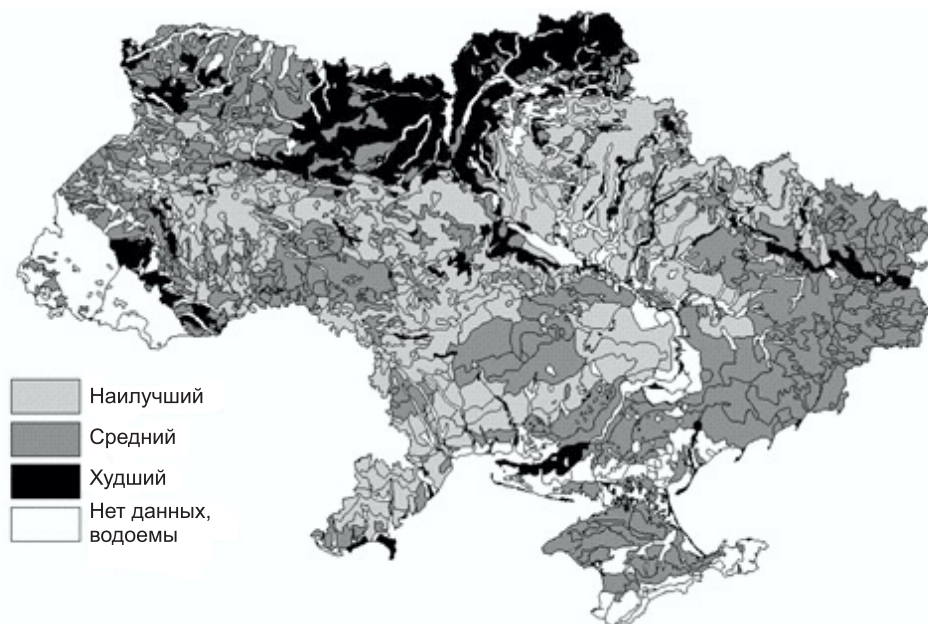


Рис. 2. Интегральная карта пригодности пашни Украины для выращивания малотребовательных к почвенно-климатическим условиям сельскохозяйственных культур

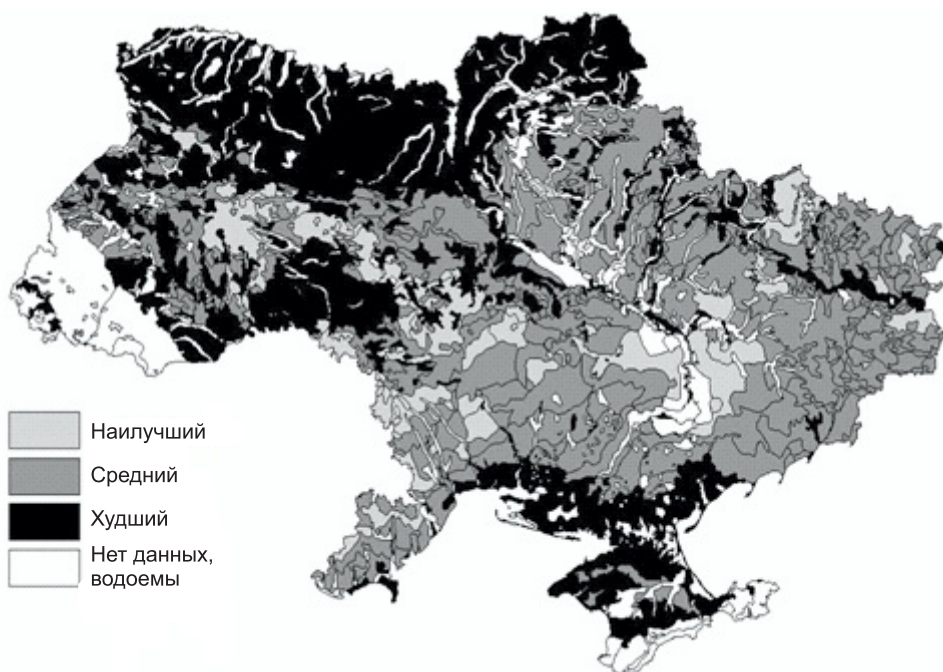


Рис. 3. Интегральная карта пригодности пашни Украины для выращивания требовательных к почвенно-климатическим условиям сельскохозяйственных культур

Определение ценности пахотных почв и их агроинвестиционной привлекательности требуют нормативно-правового обеспечения для возможности их внедрения и успешного функционирования в сфере земельных отношений, что находит отображение в блоке управления разработанной системы. Этот блок предусматривает также разработку мероприятий по повышению уровня плодородия, рационального использования и охраны пахотных почв страны, в том числе малопродуктивных и деградированных почв с целью предупреждения развития деградационных процессов. При этом особого статуса требуют особо ценные почвы, основными мероприятиями по охране которых являются: введение паспорта особо ценной почвы, в котором должны быть зафиксированы его параметры, балл бонитета, целесообразная и обоснованная категория использования, перечислены все технологические мероприятия и технические орудия, использование которых запрещено на данной почве, указаны максимально допустимые механические и химические нагрузки; введение режима заповедных ценных почв, находящихся в естественных условиях и не использующихся, категорический запрет их распашки и изменения целевого назначения; персональная ответственность за нарушение особого режима использования и охраны особо ценных почв.

Организационно-координационная деятельность, входящая в блок управления, предусматривает обязательное проведение фонового (эталонного) и производственного мониторинга с использованием большого количества индикаторных показателей для контроля качественного состояния пахотных почв.

Система управления качеством пахотных почв разработана с учетом неоднородности основных свойств пахотных почв различных природно-климатических зон Украины. Оценивание зональных и региональных особенностей неоднородности почвенного покрова проведено на основе определения агрофизических и агрохимических показателей пахотных почв. Установлено, что среди исследованных агрофизических показателей наибольшей неоднородностью характеризуется глубинность пахотного слоя почвы, затем плотность сложения и твердость посевного слоя, далее – количество агрономически ценных агрегатов. При этом неоднородность этих свойств сильнее выражена в пахотном слое почв, что является свидетельством необходимости дифференциации способов и глубины основной механической обработки почвы.

На всех исследованных территориальных объектах установлен значительный размах колебаний урожайных данных (в пересчете на зерновые единицы), в ходе расчетов установлена отрицательная корреляционная взаимосвязь агрофизических показателей с урожаями: по плотности строения в слое 0–5 см коэффициент корреляции (R) составляет $-0,68$, по твердости в слое 0–10 см – $R = -0,79$. Это может быть объяснено не только изменчивостью физических свойств почв, но и влиянием других факторов природного и хозяйственного происхождения.

По результатам обработки данных исследованные поля разделены на три агротехнологические группы в соответствии с качественными характеристиками их физических свойств. Для каждой из групп сформулированы рекомендации для применения различных по интенсивности приемов предпосевной и основной обработки: 1 – без обработки (параметры близки к требованиям выращиваемой культуры); 2 – с умеренной обработкой зонального типа (параметры близки к модальным величинам); 3 – с обработкой повышенной интенсивности (физические параметры почвы являются неудовлетворительными и требуется более интенсив-

ное предпосевное рыхление). Неоднородность физических свойств почв на всех исследованных объектах свидетельствует в пользу перспективности внедрения элементов точного земледелия в Украине.

Результаты исследований агрохимических свойств пахотных почв свидетельствуют о том, что наибольшей неоднородностью характеризуются объекты полесской и лесостепной зон (средние коэффициенты вариации составляют 0,42 и 0,49 соответственно), наименьшей (0,30) – объект степной зоны [18]. Опираясь на эти оценки, можно говорить о перспективности развития и внедрения точного земледелия во всех природных зонах страны, т. к. величина K_v существенно превышает критическую величину (0,25). Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что это лишь обобщенная и предварительная оценка, которая пригодна для решения общих стратегических вопросов, но не для решения вопроса о необходимости дифференциации агроприемов на конкретном земельном участке.

Сопоставление параметров неоднородности отдельных агрохимических показателей может указать на относительную важность планирования точного внесения удобрений или точной химической мелиорации. В связи с этим преимущество на исследованных объектах следует отдать дифференцированному внесению минеральных удобрений, особенно фосфорных. Точные способы химической мелиорации и внесение органических удобрений имеют подчиненное значение, исключая Полесье. Однако в случае низких значений K_v бесперспективность точного земледелия лишь кажущаяся, так как на исследованных земельных участках довольно значительные площади с параметрами индикаторов, близкими к оптимальным. Именно эти части участков, которые не требуют ни удобрений, ни мелиорации и обеспечивают эколого-экономические преимущества точного земледелия.

На основании анализа полученных данных проведено технико-экономическое обоснование внедрения пространственно-дифференцированных агроприемов, которое также входит в блок управления разработанной системы. Выявление неоднородности свойств почв исследованных территориальных объектов позволило разработать методы по его преодолению и предложить пути улучшения результатов хозяйственной деятельности:

1. Дробление поля на отдельные участки с целью исправления ошибок, допущенных землеустроителями во время нарезки полей, когда несовместимые по свойствам почвы попали в одно поле севооборота.

2. Адаптация технологий к особенностям поля с учетом вариабельности его производственных характеристик в технологиях выращивания культур (точное земледелие).

3. Устранение неоднородности поля путем интенсификации технологий на участках с пониженной плодородием с целью ее постепенного выравнивания, становится реальным при условии достаточного обеспечения ресурсами и многолетнего применения.

Важно отметить, что пространственно-дифференцированная система управления качеством пахотных почв может успешно функционировать только в условиях согласованной работы всех ее составляющих.

ВЫВОДЫ

В ходе проведенных исследований обоснованы и разработаны теоретические и практические основы создания пространственно-дифференцированной системы управления качеством почв на основе усовершенствования методических подходов к бонитировке, определения ценности и агроинвестиционной привлекательности пахотных почв, научного обоснования и практического внедрения пространственно-дифференцированных систем земледелия и агротехнологий с учетом зональных и региональных особенностей неоднородности физических и агрохимических свойств пахотных почв Украины.

Разработанные подходы к созданию пространственно-дифференцированной системы оценки качества пахотных почв позволяют получить объективную, обобщенную информацию о характеристиках и прогнозе изменений показателей плодородия почв для устойчивого и эффективного внедрения дифференцированных (точных) агротехнологий и способствуют рациональному использованию и сохранению почвы как важнейшего компонента окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Полупан, М. І.* Родючість ґрунтів і ґрунтового покриву Степу Південного і Сухого за агропотенціалами сільськогосподарських культур та бонітувальними критеріями / М. І. Полупан, В. А. Величко, В. Б. Соловей // Вісник аграрної науки. – 2008. – № 2. – С. 18–25.
2. *Гантимуров, І. І.* Опыт бонитировки пахотнопригодных почв Новосибирской области / И. И. Гантимуров. – Новосибирск, 1963. – 122 с.
3. Внутрихозяйственная качественная оценка (бонитировка) почв республики Беларусь по их пригодности для возделывания основных сельскохозяйственных культур (методические рекомендации) / Н. И. Смеян [и др.]. – Минск, 1998. – 26 с.
4. *Гаврилюк, Ф. Я.* Бонитировка почв : учеб. пособие для вузов / Ф. Я. Гаврилюк. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1974. – 272 с.
5. *Семенов, В. И.* Качественная оценка сельскохозяйственных земель / В. И. Семенов. – Л.: Колос, 1970. – 159 с.
6. Методика бонитировки почв Украины / Л.Я. Новаковский [та ін.]. – Киев, 1992. – 102 с.
7. *Медведев, В. В.* Физическая деградация черноземов. Диагностика, причины, следствия, предупреждение / В. В. Медведев. – Харьков: Городская типография, 2013. – 324 с.
8. *Медведев, В. В.* Критерії і нормативи фізичної деградації орних ґрунтів (пропозиції до вдосконалення нормативної бази) / В. В. Медведев, І. В. Пліско // Вісник аграрної науки. – 2017. – № 3. – С. 11–17.
9. *Добряк, Д. С.* Еколого-економічні засади реформування землекористування в ринкових умовах / Д. С. Добряк, Д. І. Бабміндра. – Київ: Урожай, 2006. – 336 с.
10. *Третьяк, А. М.* Землепорядне проектування: теоретичні та методичні основи інвестицій у землекористування / А. М. Третьяк, В. М. Друга, Д. П. Романська; під заг. ред. А. М. Третьяка. – Київ: ТОВ «ЦЗРУ», 2007. – 292 с.

11. Тараріко, О. Г. Формування сталих систем землекористування та охорони ґрунтів: актуальність та проблеми у сучасних умовах / О. Г. Тараріко, Т. В. Ільєнко, Т. Л. Кучма // Український географічний журнал. – 2016. – № 3. – С. 56–60.

12. Беспалько, Р. І. Інвестиційна привабливість земель сільськогосподарського призначення в Україні / Р. І. Беспалько, Ю. Ю. Воронюк // Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.16. – С. 309–313.

13. Карманов, И. И. Опыт разработки методики расчета индексов ценности земель сельскохозяйственного назначения на почвенно-экологической основе. Роль почв в биосфере / И. И. Карманов, Д. С. Булгаков // Тр. Ин-та почвоведения, МГУ и РАН, Оценка и учет почвенных ресурсов. – 2003. – Вып. 3. – С. 62–96.

14. Агрофизические исследования в опытах по обработке и удобрению почв: методические рекомендации. – Харьков, 1977. – 67 с.

15. База данных «Свойства почв Украины». Структура и порядок использования / Т. Н. Лактионова [и др.]. – 2-е изд. – Харьков: ЦТ № 1, 2012. – 150 с.

16. Медведев, В. В. Бонитировка и качественная оценка пахотных земель Украины / В. В. Медведев, И. В. Плиско. – Харьков: 13 типография, 2006. – 386 с.

17. Пліско, І. В. Методичні рекомендації з грошової оцінки орних ґрунтів України / І. В. Пліско, В. В. Медведев (Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»). – Харків: ТОВ «Смуґаста типографія», 2015. – 54 с.

18. Неоднородность почв и точное земледелие. Часть 2. Результаты исследований / Коллектив авторов под ред. В. В. Медведева. – Харьков: КП «Городская типография», 2009. – 260 с.

SPATIALLY-DIFFERENTIATED SYSTEM OF SOIL QUALITY MANAGEMENT (FOR EXAMPLE, ARABLE LAND OF UKRAINE)

I. V. Plisko

Summary

The article is devoted to decide an important scientific problem of modern soil science, it consists in the development of a spatially-differentiated system of arable soil quality management on the basis of improving of methodological approaches to soil rating, value determination and agro-investment attractiveness, scientific substantiation and practical implementation of differentiated agricultural technologies accounting the heterogeneity of the arable soils properties. It was developed a scheme of a spatially differentiated system of arable soil quality management. It was described in detail the functions of the main constituent parts of the information, analytical, assessment and management parts of the presented system.

Поступила 27.03.19

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ВОЗДУХЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ГЛЕЕВАТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ

П. И. Трофименко¹, Н. В. Трофименко¹, Ф. И. Борисов²,
В. И. Зацерковный¹

¹*Институт геологии Киевского национального университета
им. Тараса Шевченко, г. Киев, Украина*

²*Житомирский национальный агроэкологический университет,
г. Житомир, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в исследованиях почвоведов, экологов, геохимиков, биологов и других ученых пристальное внимание уделяется проблемам инвентаризации источников эмиссии CO_2 и других парниковых газов в атмосферу. Многочисленными исследованиями установлено, что почвенная эмиссия биогенных газов, в первую очередь диоксида углерода, представляет собой весомый источник их поступлений в атмосферу [1, 2]. Поэтому даже незначительные трансформации почвенного дыхания в глобальном масштабе могут привести к повышению концентрации CO_2 в атмосфере и к усилению парникового эффекта. Общеизвестно, что мировой объем двуокиси углерода оценивается в 60–75 Гт [3], две трети из которых являются следствием деятельности микроорганизмов, остальные – результатом его выделения корнями растений. В контексте указанной проблемы инвентаризации отдельных пулов органического вещества почв приобретают особое значение. К тому же концентрация CO_2 , как известно, служит одним из индикаторов биологической активности почвы. При этом для обеспечения надежных результатов исследований очень важным является использование простых и научно обоснованных инструментальных методов изучения профилного распределения концентрации в почвенном воздухе диоксида углерода и других биогенных газов.

Анализ последних исследований. Как известно, в слое 0–100 см с увеличением глубины концентрация CO_2 в почвенном воздухе большинства почв постепенно повышается [4, 5, 6]. Однако по данным Безбородова А. и др. (2005), на сероземе типичном тяжелосуглинистом под пшеницей озимой после восстановления ее вегетации характерное увеличение концентрации CO_2 с глубиной происходило неравномерно, достигая максимума на глубине 80 см [7]. По данным этого же автора, расчеты концентрации диоксида углерода по известным уравнениям [8, 9], которые описывают его профилное распределение для орошаемых суглинистых почв, дали довольно неоднозначные результаты.

Наряду с эмиссией CO_2 с поверхности почв важное значение в круговороте органического углерода играет его распределение по почвенному профилю, отдельные пулы которого находятся в твердой, жидкой или газообразной фазах

почвы. В верхней части профиля величина концентрации CO_2 в значительной мере обусловлена интенсивностью течения воздухообмена с атмосферой, что вполне закономерно. Однако с увеличением глубины концентрация двуокиси углерода в большей степени зависит от гранулометрического состава почвы, уровня залегания грунтовых вод, пространственного распространения корневых систем растений, степени и типа засоления.

Постоянный воздухообмен между почвой и атмосферой по своей сути является «дыханием почвы». Поэтому наиболее известные устройства для определения биологической активности на разных горизонтах почвы преимущественно базируются на измерениях выделений CO_2 из глубин почвы или спада эквивалентной концентрации O_2 , который расходовался на почвенное дыхание.

Однако следует понимать, что современная интерпретация биологической активности почвы шире и базируется на учете результатов функционирования имеющихся в нем микроорганизмов, выделений корней растений (ризосферного дыхания) и живых организмов в виде диоксида углерода, метана, окислов азота и соединений серы: $\text{CO}_2 \leftrightarrow (\text{O}_2)$, CH_4 , CO , NO , N_2O , NO_2 , NH_3 , SO_2 , H_2S . Как известно, воздух в почвенной среде и снаружи (в атмосфере) существенно отличается по структурному составу и концентрации газов и постоянно претерпевает трансформации во времени. Последние обусловлены влиянием различных факторов: изменения барометрического и парциального давления газов, динамики влажности и температуры почвы в суточном и сезонном циклах. Кроме того, плотность сложения почвы вместе с особенностями пространственного развития корневой системы сельскохозяйственных культур в соответствии с этапами их органогенеза, являются важными определяющими газового состава почвенного воздуха.

В связи с вышеизложенным разработка современной методологии определения концентрации CO_2 в почвенном воздухе и оценки его запасов представляют собой важную научную задачу. А отсутствие систематизированных данных о запасах Сорг в почвенном воздухе стало весомой причиной проведения данных исследований.

Во время выполнения исследований ставились следующие задачи:

- научно обосновать и разработать методологию определения профильного распространения концентрации биогенных газов (на примере двуокиси углерода) в почвенном воздухе;
- определить степень обусловленности концентрации CO_2 значениями влажности почвы и оценить величину запасов органического углерода.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование профильного распределения диоксида углерода в почвенном воздухе проведены в 2018 году на территории опытного поля Житомирского национального агроэкологического университета. Научные наблюдения проведены на дерново-подзолистой глееватой супесчаной почве на водно-ледниковых отложениях, под посевом ржи озимой ($B = 5^\circ 50' 26''$ $8,835''$ $L = 28^\circ 41' 40,454''$, $H = 258,29$ м, WGS 84, картографическая проекция UTM – универсальная проекция Меркатора).

Выполнение исследований предусматривало закладку шурфов диаметром 140 мм через каждые 10 см до глубины 0,50 м с последующим использованием специально разработанного устройства (рис. 1.).

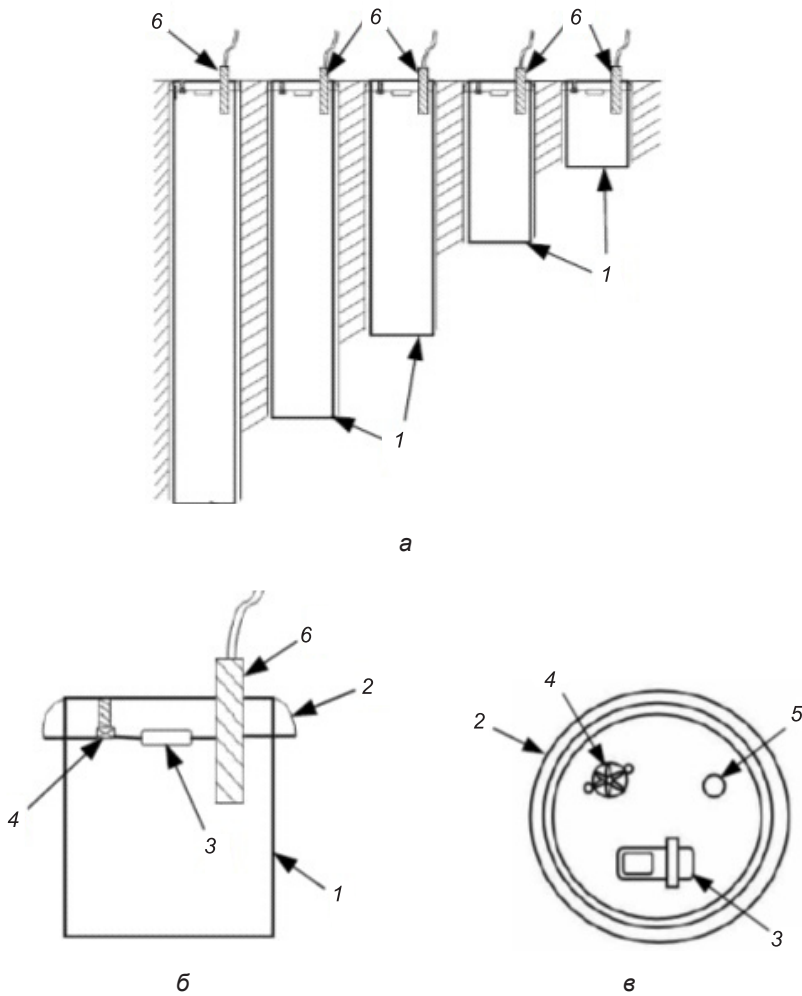


Рис. 1. Устройство для определения концентрации CO_2 и других биогенных газов в почвенном воздухе:

а – комплект изолирующих камер; б – увеличенное изображение одной из изолирующих камер; в – вид сверху на съемную крышку; 1 – изолирующая камера; 2 – съемная крышка из прозрачного материала; 3 – портативная метеостанция; 4 – вентилятор с бесколлекторным электродвигателем; 5 – отверстие; 6 – зонд газоанализатора

Каждая изолирующая камера снабжена съемной крышкой с отверстием для зонда газоанализатора с возможностью блокировки доступа воздуха в камеру, вентилятором и метеостанцией для измерения температуры и давления воздушной смеси.

Использован комплект изолирующих камер высотой 10, 20, 30, 40 и 50 см выполненных в соответствии с глубиной измерений с объемами: $V = 0,0015386 \text{ м}^3$, $V = 0,0030772 \text{ м}^3$, $V = 0,0046158 \text{ м}^3$, $V = 0,0061544 \text{ м}^3$, $V = 0,0076930 \text{ м}^3$ соответс-

твенно. Глубина врезки камеры в почву – 2 см. Во время измерений использован газоанализатор с инфракрасным сенсором Testo 525. С целью уменьшения влияния градиента концентрации на результат измерений перемешивание воздушной смеси проводили непосредственно перед началом измерения в течение 1 минуты. Интенсивность выделения диоксида углерода ECO_2 проводили в соответствии с ранее опубликованной методикой [10, 11]. Экспозиция измерения эмиссии CO_2 с поверхности почвы и на соответствующей глубине составляла 6 часов с периодичностью измерений 30 мин. Принцип определения концентрации CO_2 в почвенном воздухе заключался в достижении его величины в изолирующей камере, при которой наблюдалось постепенное замедление эмиссии двуокиси углерода с достижением минимальных значений. При этом достигалось состояние относительного динамического равновесия, при котором течение процесса эмиссии \leftrightarrow депонирования двуокиси углерода почвой происходит в закрытой системе, когда его количество приблизительно равно количеству депонированного. В таких условиях при достаточном истечении времени концентрации CO_2 почвенного воздуха и воздуха изолирующей камеры будут максимально близкими.

Определение величины влажности почвы (в % объемной влажности) на глубине измерений проводили методом частотной рефлектометрии с использованием влагомера MST 3000+ с сенсором SMT 100.

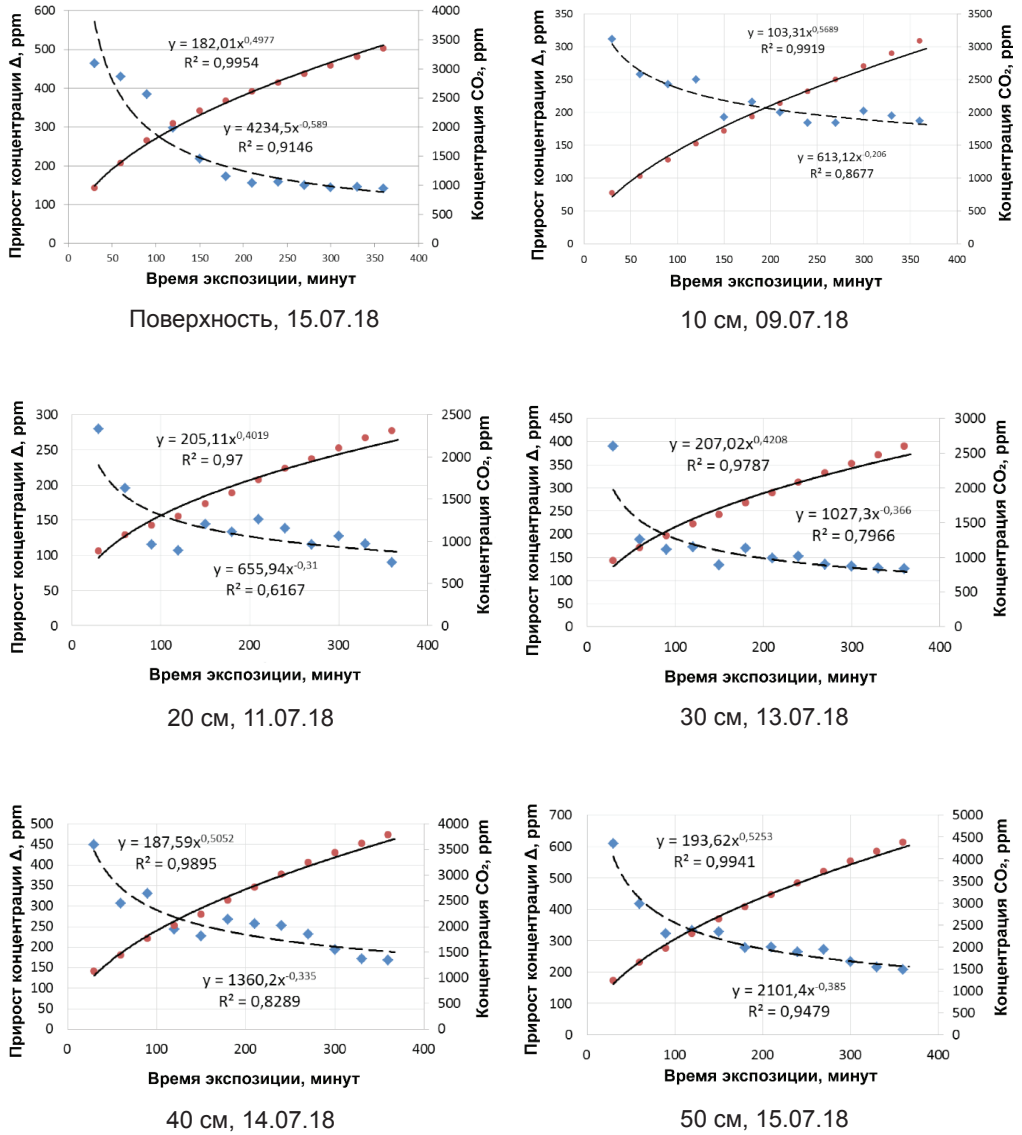
Почвенный профиль дерново-подзолистой глееватой супесчаной почвы на водно-ледниковых отложениях является типичным для переходной зоны Полесья Украины: A_0 – 0–24 см, A_2 – 25–35 см, A_2B – 36–55 см, $BA_2(\text{gl})$ – 56–90 см, $B(\text{gl})$ – 91–130 см.

В отобранном из слоя почвы 0–30 см почвенном образце определяли углерод органического вещества ДСТУ 4289 – 0,78 %; гранулометрический состав – по Качинскому ДСТУ 4730:2007, физическая глина – 15,35 %; сумму поглощенных оснований – по МВИ 31-497058-007 ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии имени А. Н. Соколовского» – 2,2 ммоль/100 г почвы; нитратный и аммонийный азот – ДСТУ 4729–3,57 и 14,04 мг/кг соответственно; подвижный фосфор и обменный калий – ДСТУ 4115-2002-133,4 и 201,8 мг/кг соответственно; гидролитическую кислотность – ГОСТ 26212-2,11 ммоль/100 г почвы; рН водный – ГОСТ 26423-85-5,5; рН солевой – ГОСТ 26483-85-4,56.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из приведенных данных, снижение интенсивности эмиссии CO_2 вследствие повышения концентрации в изолирующей камере по профилю почвы происходит с определенной закономерностью (рис. 2). Выявлено, что начало постепенного замедления эмиссионной активности почвы на разных горизонтах более рельефно наблюдается после пересечения степенных кривых: насыщения воздушной смеси двуокисью углерода (I) и прироста концентрации CO_2 (II) (рис. 2).

Указанное пересечение в большинстве случаев наблюдалось примерно на 100-й минуте экспозиции, за исключением глубины 10 см (рис. 2). Относительный минимум эмиссионных выбросов начинался примерно после 300-й минуты измерений. При этом значение разницы между приращениями концентрации (ΔC) последующего и предыдущего измерений находилось в пределах точности газоанализатора (<2 %).



Умовні позначення

- — концентрация диоксида углерода в изолирующей камере (I)
- — прирост концентрации CO_2 в камере (ΔC) (II).

Рис. 2. Зависимость прироста концентрации CO_2 в изолирующей камере (ΔC) от концентрации диоксида углерода в воздушной смеси в течение экспозиции, ppm.

Вычисление значений концентрации проводили на основе полученных уравнений повышения концентрации CO_2 (табл.).

**Уравнения степенной зависимости концентрации диоксида углерода в почвенном воздухе дерново-подзолистой глееватой супесчаной почвы на водно-ледниковых отложениях и величины профильного распределения CO₂.
Период наблюдений 09.07.2018–15.07.2018 года**

Генетический горизонт	Глубина измерения, см	Уравнения регрессии	Объемная влажность %	Концентрация CO ₂ мг/м ³	Масса	
					CO ₂	С
					кг/га	
Ап	0	$y = 182,01 \cdot x^{0,4977}$ RI = 0,995	12,2	6107	2,280*	0,602**
Ап	10	$y = 103,31 \cdot x^{0,5689}$ RI = 0,991	15,1	5636		
		20	$y = 205,11 \cdot x^{0,4019}$ RI = 0,970	15,0	4219	1,739
А ₂	30	$y = 207,02 \cdot x^{0,4208}$ RI = 0,979	16,9	4743	1,326	0,362
	40	$y = 187,59 \cdot x^{0,5052}$ RI = 0,989	18,1	6903	1,403	0,383
А ₂ В	50	$y = 193,62 \cdot x^{0,5253}$ RI = 0,994	18,6	7989	2,107	0,575
Общая масса CO ₂ и С в слое 0–50 см					8,783	2,396

* Масса CO₂ в слоях почвы 0–10, 11–20, 21–30, 31–40, 41–50;

** масса С в слоях почвы 0–10, 11–20, 21–30, 31–40, 41–50.

Массу диоксида углерода в почвенном воздухе исследуемой почвы определяли по формуле

$$M_{CO_2} = 10^{-2} \cdot A \cdot C_{CO_2} \cdot (P \text{ total} - P \text{ water}), \quad (1)$$

где M_{CO_2} – масса CO₂ кг/га; А – мощность горизонта, м; C_{CO_2} – концентрация CO₂, мг/м³; P total – общая пористость почвы, выраженная десятичной дробью; P water – объемная влажность почвы, выраженная десятичной дробью; 10⁻² – величина, которая является результатом вычислений и пересчета единиц отдельных составляющих формулы: концентрации, массы и площади.

Для расчета массы углерода в почвенном воздухе по профилю использованы величины общей пористости дерново-подзолистой почвы в соответствии с результатами исследованиями Воронина А. Д. (1986) [12].

Как свидетельствуют результаты исследований, концентрация CO₂ в воздухе дерново-подзолистой глееватой супесчаной почвы на водно-ледниковых отложениях в целом увеличивается от поверхности до нижележащих горизонтов (рис. 3). Выявлено, что величина массы CO₂ в почвенном воздухе в профиле почвы колеблется в пределах от 1,326 (слой 20–30 см) до 2,208 кг/га (слой 0–10 см).

На фоне перманентного повышения влажности почвы с глубиной наблюдается постепенное повышение концентрации CO₂. Однако в слое 10–30 см зафиксировано незначительное ее снижение (рис. 3). Обнаруженная особенность, по нашему мнению, обусловлена сосредоточенностью большей, по сравнению с нижними слоями корневой массы, ржи озимой в верхнем слое почвы и началом

разложения той ее части, которая в связи с завершением периода активной вегетации является отмершей. Зависимости влияния температуры на концентрацию CO_2 по профилю дерново-подзолистой глееватой супесчаной почвы не выявлено.

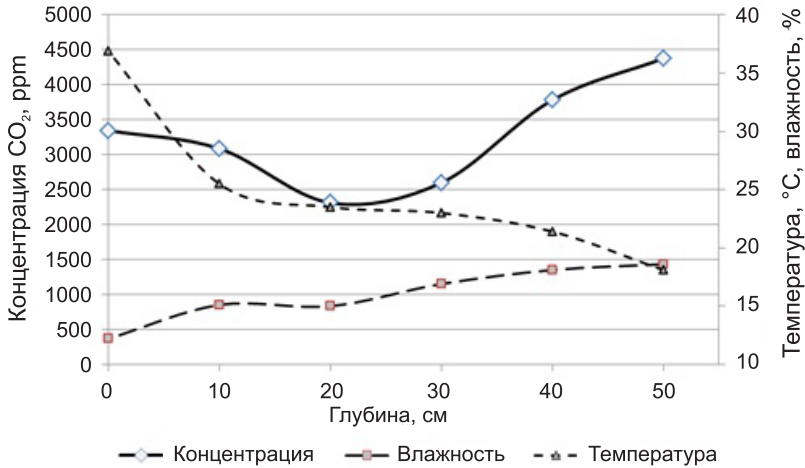


Рис. 3. Профильное распределение концентрации CO_2 и абиотических факторов в дерново-подзолистой глееватой супесчаной почве на водно-ледниковых отложениях под рожью озимой

Повышение концентрации CO_2 в почвенном воздухе с глубины 30 см не привело к пропорциональному увеличению его массы. Параллельно с увеличением глубины произошло закономерное уменьшение объема свободных пор $P_{\text{АЭР}}$ (пор аэрации), где содержится газ ($P_{\text{total}} - P_{\text{water}}$). Установлено, что при изменении в относительных процентах значений объемной влажности почвы (+7,6), пористости аэрации (-24,7), концентрации CO_2 (+27,9), увеличение абсолютной массы диоксида углерода составило 50,1 %. Соответственно, масштабы увеличения величины массы газа почти вдвое превосходили увеличение объема пространства, где он находился. Следовательно, можно утверждать, что с увеличением глубины повышение концентрации на глубине 31–50 см действительно произошло и его причиной вероятнее всего является ухудшение газообмена между почвой и атмосферой.

Результаты достаточно хорошо коррелируют с данными других авторов, полученными на дерново-подзолистой супесчаной почве под лесом [6] и многолетними травами [5], а также сероземе тяжелосуглинистом под пшеницей озимой [7]. По своей сути, углерод, содержащийся в воздухе почв, вместе с углеродом жидкой фазы представляет собой наиболее лабильную часть запасов органического вещества. Несмотря на относительно незначительные запасы CO_2 в почвенном воздухе на момент исследований, отсутствие видимой ощутимой связи с внешними факторами атмосферы и внутренними условиями среды позволяет сделать вывод об их определенной стабилизирующей роли. В этом смысле сосредоточенный в почвенном воздухе углекислый газ выступает в роли стабилизирующего буфера между органическим углеродом твердой фазы почвы и диоксидом углерода приземного слоя атмосферы. Вне сомнения, усиление

уровня интенсивности антропогенного воздействия на почву в виде использования агротехнических приемов (глубина и частота обработок) неизбежно приведет к изменению параметров профильного распределения концентрации CO_2 в почвенном воздухе.

ВЫВОДЫ

В результате исследований установлено, что предложенный алгоритм определения элементов газового режима почв на разной глубине вполне пригоден к использованию и предлагается в качестве относительно простого способа исследования концентрации биогенных газов в условиях *in situ*.

Полученные величины профильного распределения концентрации диоксида углерода в дерново-подзолистой глееватой супесчаной почве на водно-ледниковых отложениях указывают на их определенную дифференциацию в зависимости от общей пористости (P_{total}), содержания влаги (P_{water}) и глубины измерения. Значения концентрации CO_2 на глубинах почвы 10, 20, 30, 40, 50 см составляют 5636, 4219, 4743, 6903, 7989 мг/м^3 соответственно.

Диапазон величин массы CO_2 в почвенном воздухе колеблется пределах от 1,326 до 2,208 кг/га , достигая наибольших значений в слоях 0–10 см (2,208 кг/га) и 41–50 см (2,107 кг/га). Выявлено, что общая масса CO_2 и С в профиле дерново-подзолистой глееватой супесчаной почвы на водно-ледниковых отложениях под пшеницей озимой для слоя 0–50 см составляет соответственно 8,783 и 2,396 кг/га . Более значительная в верхнем слое почвы по сравнению с нижележащими слоями масса диоксида углерода объясняется следствием скопления в этой части профиля отмерших корней ржи озимой и начала процесса их разложения с соответствующим выделением CO_2 . Установлено, что повышение концентрации CO_2 в слое почвы 31–50 см связано с ухудшением режима аэрации с глубиной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bouwman, A. F. Spatial Issue – Soil and climate change / A. F. Bouwman, J. C. Germon // Introduction, Biology and Fertility Soils. – 1998. – Vol. 27. – 219 p.*
2. *Кудеяров, В. Н. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах / В. Н. Кудеяров. – М.: России, 2007. – 315 с.*
3. *Кудеяров, В. Н. Роль почв в круговороте углерода / В. Н. Кудеяров // Почвоведение. – 2005. – № 8. – С. 915–923.*
4. *Ковда, В. А. Основы учения о почвах / В. А. Ковда. – М.: Наука, 1973. – Кн. 1. – 447 с.*
5. *Макаров, Б. Н. Газовый режим почвы / Б. Н. Макаров. – М.: Агропромиздат, 1985. – 105 с.*
6. *Ястребов, М. Я. Влияние важнейших биологических факторов на состав почвенного воздуха в пойменных почвах р. Клязьмы / М. Я. Ястребов // Почвоведение. – 1958. – № 10. – С. 81–88.*
7. *Безбородов, Г. А. Профильное распределение углекислого газа и метана в воздухе орошаемых сероземов / Г. А. Безбородов, А. Г. Безбородов, Ю. Г. Безбородов // Почвоведение. – 2008. – № 1. – С. 68–74.*

8. *Авдеенко А.П.* Расчет содержания углекислого газа и кислорода в орошаемых суглинистых почвах / А. П. Авдеенко // Исследования по мелиорации болот и минеральных почв. – Горки: БСХА, 1969. – Т. 59. – С. 180–183.

9. *Безбородов, А. Г.* Мелиорирующий эффект при мульчировании полиэтиленовой пленкой орошаемых почв сероземной зоны / А. Г. Безбородов, Ю. Г. Безбородов // Почвоведение. – 2000. – № 7. – С. 861–866.

10. *Трофименко, П. І.* «Спосіб визначення інтенсивності емісії газів з ґрунту» Пат. № 117911 Україна, МПК G01N 33/24 (2006.01) G01N 7/14 (2006.01) / П. І. Трофименко, Ф. І. Борисов; заявник і патентовласник Житомирський національний агроекологічний університет. – заявка № а 2014 12734, 25.10.2018, бюл. № 20.

11. *Трофименко, П. І.* Наукове обґрунтування алгоритму застосування камерного статичного методу визначення інтенсивності емісії парникових газів із ґрунту / П. І. Трофименко, Ф. І. Борисов // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2015. – № 83. – С. 17–24.

12. *Воронин, А. Д.* Основы физики почв / А. Д. Воронин. – М.: изд-во Моск. ун-та, 1986. – 245 с.

RESEARCH METHODOLOGY AND PROFILE DISTRIBUTION OF THE CARBON DIOXIDE CONCENTRATION IN THE AIR OF SOD-POD-STYLE GLAYED SOUP SOIL

P. I. Trofymenko, N. V. Trofymenko, F. I. Borysov, V. I. Zatserkovnyi

Summary

The article discusses the methodology of determination and character of the profile distribution of carbon dioxide concentration in the air of sod middle podzolic gleyic sandy soil on waterborne and glacier sediments of Polissya of Ukraine.

It has been shown that the differentiation of carbon dioxide concentrations in soil air depends on P (total), moisture content (P water), and depth of measurement. It has been established that the range of values of CO₂ concentration in soil air at depths 10, 20, 30, 40, 50 cm is 5636, 4219, 4743, 6903 and 7989 mg/m³, respectively. It was found that the total mass of CO₂ and organic carbon in soil air of sod-podzolic glued suppository soil on winter-winter wheat winter ice and winter ice compartments is 8,783 and 2,396 kg/ha, respectively.

Поступила 09.01.19

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.147

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ТРАДИЦИОННОЙ И ОРГАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМАХ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, Ю. А. Белявская, Т. М. Кирдун,
М. М. Торчило, Н. Ю. Жабровская

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

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей агропромышленного комплекса Республики Беларусь является обеспечение продовольственной безопасности страны. На данном этапе эту задачу невозможно выполнить без применения научно обоснованных севооборотов и систем удобрения, химических средств защиты растений, высокоурожайных сортов возделываемых культур. В то же время интенсивное развитие традиционного земледелия связано с рядом экологических рисков. Это привело к внедрению в мировую практику хозяйствования форм альтернативного земледелия, одной из которых является органическое производство.

В Республике Беларусь на начало 2019 г. насчитывается 25 сертифицированных органических производств. Толчок развитию данного направления в республике, возможно, даст подписанный Президентом Республики Беларусь 9.11.2018 г. № 144-З «Закон Республики Беларусь о производстве и обращении органической продукции». В Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Беларуси до 2030 г. предусмотрен рост доли органического земледелия до 3–4 % [1].

Органическое сельское хозяйство – способ сельскохозяйственного производства, при котором не используются химические препараты, гормоны роста, антибиотики и методы генной инженерии. Результат достигается за счет агротехнических приемов, предупреждения возникновения болезней и распространения вредителей механическими и биологическими методами [2, 3]. Среди проблем, с которыми сталкиваются производители органической продукции в Беларуси до сих пор – отсутствие знаний по технологиям выращивания культур и ведению документации, недостаток материальных ресурсов и финансовых средств, маркетинговых навыков.

Органическое производство на территории Республики Беларусь имеет свои особенности, определяемые экономическими и почвенно-климатическими условиями. Это обуславливает необходимость проведения исследований по разработке агробиологических и агротехнических приемов органического земледелия

для условий нашей страны со сравнительной оценкой урожайности, качества и экономических показателей органической продукции.

Цель исследований – дать сравнительную оценку влияния традиционного и органического производства на продуктивность культур севооборота, показатели качества урожая, плодородие почвы и экономическую эффективность.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в полевом технологическом опыте на опытном поле Института почвоведения и агрохимии, расположенном в ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой оглеенной внизу, суглинистой, развивающейся на мощном легком лессовидном суглинке почве в севообороте: овес сорт Юбилар (2013, 2014 гг.) – картофель сорт Лилея (2014, 2015 гг.) – гречиха сорт Влада (2015, 2016 гг.) – кабачок гибрид F1 Каризма (2016, 2017 гг.). Предшественник овса – горох на зерно. Опыт заложен в двух последовательно открывающихся полях. В каждом поле культуры возделывали в блоке с применением минеральных удобрений и химических средств защиты растений (традиционное земледелие) и в блоке с применением бактериальных удобрений, компостов, подстилочного навоза и биологических средств защиты растений (органическое производство). В блоке с органическим производством солома овса и гречихи измельчалась и равномерно распределялась по вариантам; после уборки овса высевали люпин, после картофеля – озимую рожь на сидерацию. Повторность вариантов в опыте четырехкратная, размер делянки – 29,4 м².

Пахотный слой исследуемой почвы перед закладкой опыта в среднем имел следующие агрохимические показатели: рН_{KCl} – 6,2, содержание гумуса – 2,51 %, подвижных форм P₂O₅ – 601 мг/кг и K₂O – 357 мг/кг почвы.

В результате изучения и анализа характеристики сортов картофеля для возделывания в системе органического земледелия выбран ранний столовый высокоурожайный сорт картофеля Лилея с очень хорошими вкусовыми качествами. Сорт пригоден для выращивания на всех типах почв, устойчив к раку картофеля и картофельной нематоде, высокоустойчив к фитофторозу клубней.

Из сортов гречихи выбран сорт Влада, отличающийся высокой конкурентоспособностью в отношении сорных растений и более дружным созреванием зерна. Сорт относится к ценным по качеству. Он устойчив к полеганию и среднеустойчив к осыпанию семян.

В результате изучения и анализа характеристики сортов и гибридов кабачка выбран ранний высокоурожайный гибрид F1 Каризма с длительным периодом сбора урожая и отличными вкусовыми качествами. Предназначен для реализации в свежем виде и переработки. Требуется минимум затрат на профилактические обработки за счет высокого уровня устойчивости к болезням.

Характеристика органических удобрений, внесенных в опыте (на естественную влажность): подстилочный навоз крупного рогатого скота (влажность – 74 %, зольность – 3,5 %, содержание органического вещества – 22,5 %, азота – 0,53 %, фосфора – 0,25 %, калия – 0,56 %, рН_{KCl} – 8,3); вермикомпост (влажность – 55 %, зольность – 16,3 %, содержание органического вещества – 18 %, азота – 0,74 %, фосфора – 0,46 %, калия – 0,83 %, рН – 7,3); ПолиФунКур (влажность – 40 %, содержание органического вещества – 47,6 %, азота – 2,28 %, фосфора – 1,88 %, калия – 2,13 %).

Среднее содержание элементов питания в соломе и сидератах (на сухое вещество): солома овса (внесено 5,9 т/га) – влажность 16,0 %, содержание азота – 0,67 %, фосфора – 0,67 %, калия – 2,73 %; солома гречихи (внесено 2,5 т/га) – влажность 16,0 %, содержание азота – 0,52 %, фосфора – 0,95 %, калия – 2,90 %; зеленая масса люпина (внесено 100 ц/га) – влажность 91,8 %, содержание азота – 3,4 %, фосфора – 1,02 %, калия – 2,6 %; зеленая масса озимой ржи (внесено 148,3 ц/га) – влажность 79,4 %, содержание азота – 1,62 %, фосфора – 1,03 %, калия – 3,02 %.

Под овес, картофель и кабачок проводили зяблевую вспашку, под гречиху – весновспашку.

В блоке с традиционным земледелием посевы овса обрабатывали гербицидом Балерина в фазу кущения, СЭ из расчета 0,4 л/га (2013 г.); Прима СК, 0,5 л/га (2014 г.); в стадию флагового листа – фунгицидом Менара, КЭ из расчета 0,45 л/га. Довсходовая защита картофеля от сорняков проведена гербицидом Аркаде, КЭ в дозе 4,5 л/га. В фазу начало бутонизации в 2014 г. проведена обработка посевов баковой смесью фунгицида Ридомил Голд МЦ, ВДГ (2,5 кг/га) и инсектицида Децис профи, ВДГ (0,03 кг/га). Повторная обработка посевов картофеля от фитофтороза, альтернариоза и колорадского жука проведена в фазу цветения баковой смесью фунгицида Дитан Нео Тек 75, ВДГ (1,4 кг/га) и инсектицида Децис профи, ВДГ (0,03 кг/га). Для борьбы с колорадским жуком в 2015 г. проведена одна обработка инсектицидом Агролан РП (0,06 кг/га). Защита посевов гречихи от сорняков в блоке с традиционной и биологизированной системами земледелия проведена гербицидом Гезагард, КС из расчета 1,5 л/га.

В блоке с органическим производством в 2014 г. проведено 4 окучивания картофеля, в 2015 г. – 2. От альтернариоза и фитофтороза защиту посевов картофеля проводили биологическим препаратом Ксантрел, 2-процентный р-р (6 л/га) в фазу начало бутонизации и в стадию цветения. Защиту картофеля от колорадского жука проводили биологическим препаратом Ксантрел с использованием ранцевого опрыскивателя по мере заселения растений локально. При возделывании овса, гречихи и кабачка мероприятий по защите не проводили.

Агрохимические показатели пахотного слоя определяли по общепринятым методикам: рНКСI – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483–85), содержание гумуса – по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213–91), подвижных форм фосфора и калия – по методу Кирсанова (ГОСТ 26207–91), обменных соединений кальция и магния – на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-30 в 1 М КСИ (ГОСТ 26487–85).

Химический анализ органических удобрений выполнен в соответствии с Государственными отраслевыми стандартами: органический углерод (ГОСТ 27980–88), общий азот (ГОСТ 26715–85), фосфор (ГОСТ 26717–85), калий (ГОСТ 26718–85), кальций (ГОСТ 26570-95), магний (ГОСТ 30502-97).

Нитраты определяли ионометрическим методом (ГОСТ 13496.19–93), сырой белок – расчетным путем по количеству общего азота через поправочный коэффициент 6,25 (ГОСТ 13496.4–93), аминокислотный состав белка – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Статистическую обработку результатов осуществляли согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова [4] с использованием MS Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В опыте овес является первой открывающей севооборот культурой. В среднем за два года за счет плодородия дерново-подзолистой суглинистой почвы при соблюдении элементов традиционной технологии возделывания овса получено 44,7 ц/га зерна [5]. Следует отметить, что подобранный для опыта участок достаточно чистый от сорняков, поэтому при органической системе земледелия, исключение химической защиты посевов не привело к существенному недобору зерна (1,9 ц/га в среднем за два года) относительно урожая, полученного в неудобренном варианте при традиционной системе возделывания. Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{60+30}P_{30}K_{50}$ обеспечило в среднем за 2 года дополнительный сбор зерна 9,9 ц/га. Применение бактериального удобрения Азобактерин-АФ и Вермикомпоста под овес, возделываемый по органической системе земледелия, способствовало повышению урожайности относительно неудобренного варианта в среднем на 5,9 и 5,6 ц/га соответственно.

При соблюдении традиционных элементов возделывания картофеля урожайность клубней в неудобренном варианте в среднем за 2014–2015 гг. составила 236 ц/га. Внесение подстильного навоза крупного рогатого скота в дозе 60 т/га обеспечило прибавку урожайности – 117 ц/га, или 50 % к контролю. Максимальная урожайность получена в варианте с органоминеральной системой удобрения – 397 ц/га (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние систем земледелия и удобрений на урожайность
культур звена севооборота**

Вариант	Картофель, т/га		Гречиха, ц/га		Кабачок, т/га	
	урожай- ность	при- бавка	урожай- ность	при- бавка	урожай- ность	при- бавка
<i>Традиционная система земледелия</i>						
Без удобрений (контроль)	23,6		22,8	–	80,5	–
ПН крупного рогатого скота, 60 т/га	35,3	11,7	30,8	8,0	138,5	58,0
ПН крупного рогатого скота, 60 т/га + НРК*	39,7	16,1	30,0	7,2	146,2	65,7
<i>Органическая система земледелия</i>						
Солома+Сидерат – Фон	27,4	–	24,6	–	88,3	–
Фон + ПН крупного рогатого скота	34,9	7,5	27,2	2,6	112,5	24,3
Фон + Вермикомпост	29,2	1,8	22,2	–2,4	93,0	4,8
Фон + ПолиФунКур	28,1	0,7	20,6	–3,9	86,5	–1,8
Фон + Байкал ЭМ1	21,5	–5,9	17,3	–7,2	78,5	–9,8
Фон + ПолиФунКур, 2% раствор	23,5	–3,9	19,4	–5,2	84,2	–4,1
Фон + Жыцень	24,0	–3,5	23,1	–1,4	95,4	7,1
НСР ₀₅	2,2	–	2,1	–	6,8	–

* Картофель – $N_{90}P_{30}K_{50}$; гречиха – $N_{40}K_{40}$; кабачок – $N_{60}P_{30}K_{60}$.

Запашка соломы овса и сидеральной массы люпина в блоке с органической системой возделывания картофеля способствовала повышению урожайности клубней на 38 ц/га (16 % к контролю). Внесение 40 т/га подстильного навоза на фоне запашки соломы и сидерата обеспечило дальнейший рост урожайности:

прибавка составила 75 ц/га (27 % к фону). Установлено, что действие на урожайность удобрений с высокой биологической активностью при биологической защите от фитофтороза и колорадского жука было неэффективным. Так, в вариантах с применением 2 т/га ПолиФунКура и 10 т/га Вермикомпоста отмечена только небольшая тенденция роста (табл. 1). В вариантах с внесением микробиологических удобрений Байкал ЭМ1 и Жыцень, 2-процентного р-ра биоудобрения ПолиФунКур наблюдалось снижение урожайности на 34–59 ц/га. Урожайность гречихи при традиционной технологии возделывания в неудобренном варианте в среднем за 2015–2016 гг. составила 22,8 ц/га зерна (табл. 1). Последствие навоза крупного рогатого скота, внесенного в дозе 60 т/га под предшественник (картофель), обеспечило дополнительный сбор – 8,0 ц/га зерна. Внесение минеральных удобрений на фоне последствие навоза было неэффективным.

В блоке с органической системой возделывания при запашке зеленой массы озимой ржи отмечена тенденция роста урожайности зерна гречихи (на 1,8 ц/га) по сравнению с контролем. Достоверная прибавка к фону (2,6 ц/га) получена только в варианте с последствием подстильного навоза крупного рогатого скота. Минимальная урожайность отмечена при внесении микробиологического удобрения Байкал ЭМ1 – 17,3 ц/га, снижение урожая по сравнению с фоном составило 7,2 ц/га.

Урожайность кабачка при соблюдении традиционных элементов возделывания в среднем за 2016–2017 гг. на контроле составила 80,5 т/га. Внесение подстильного навоза крупного рогатого скота в дозе 60 т/га увеличило урожайность на 58,0 т/га, или 72 % к контролю. Применение $N_{60}P_{30}K_{60}$ на фоне подстильного навоза крупного рогатого скота способствовало росту урожайности на 7,7 т/га, или 13 % к навозному фону (см. табл. 1).

В органической системе земледелия в варианте с запашкой соломы гречихи получено 88,3 т/га кабачка. Существенную прибавку урожая к фону (24,3 т/га) обеспечило внесение 40 т/га подстильного навоза крупного рогатого скота. Обработка соломы гречихи микробным препаратом Жыцень в дозе 3 л/га увеличила урожайность кабачка на 7,1 т/га, или 8 % к фону. Применение Вермикомпоста в дозе 5 т/га обеспечило только тенденцию к росту урожайности кабачка. Внесение микробиологического удобрения Байкал ЭМ1 способствовало снижению урожайности на 9,8 т/га. Удобрение ПолиФунКур как в твердом виде, так и некорневая обработка посевов 2-процентным его настоем не оказали значимого влияния на урожайность.

Таким образом, на высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве наиболее эффективным удобрением в органической системе возделывания является подстильный навоз крупного рогатого скота. Тем не менее в данном варианте по сравнению с применением удобрений, согласно технологическим регламентам возделывания культур в традиционной системе земледелия, урожайность картофеля была ниже на 12 %, гречихи – на 9 %, кабачка – на 34 %. В варианте с запашкой соломы и сидератов урожайность соответственно была ниже картофеля на 31 %, гречихи – на 18 %, кабачка – на 58 %, т.е. чем требовательнее культура к плодородию почвы, тем урожайность при органическом производстве продукции ниже.

Наряду с получением высоких урожаев сельскохозяйственных культур не менее важной задачей является качество растениеводческой продукции.

Величина ПДК нитратов (NO_3^-) в клубнях картофеля на продовольственные цели согласно Техническому регламенту таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» составляет 250 мг/кг [6]. В условиях опыта содержание нитратов в клубнях не превышало ПДК. В 2014 г. в варианте с органоминеральной системой удобрения содержалось 178 мг $\text{NO}_3^-/\text{кг}$, в то время как в блоке с органической системой возделывания в варианте с запашкой соломы и сидератов – 116 мг/кг, с подстилочным навозом крупного рогатого скота – 138 мг $\text{NO}_3^-/\text{кг}$, в 2015 г. соответственно 66, 41 и 34 мг $\text{NO}_3^-/\text{кг}$. В целом за 2 года исследования при органической системе земледелия содержание нитратов в клубнях картофеля было в среднем на 42 % меньше, а содержание крахмала на 0,2–2,4 % выше, чем при органоминеральной системе удобрения [7].

ПДК нитратов в плодах кабачка на продовольственные цели составляет 400 мг/кг, на детское питание – 150 мг/кг. Установлено, что в плодах первого сбора содержание нитратов превышало или было близким к ПДК на продовольственные цели, в кабачках каждого последующего сбора накапливалось нитратов меньше, чем в предыдущем, особенно это было характерно для урожая в органической системе земледелия. В результате весь урожай четвертого сбора по содержанию нитратов проходил на детское питание. В среднем содержание нитратов в плодах кабачка, выращенных в органической системе земледелия было на 27 % ниже, чем в традиционной [8].

Применение удобрений оказало существенное влияние на содержание белка: максимальное его содержание в клубнях картофеля, зерне гречихи и плодах кабачка было в варианте с органоминеральной системой удобрения. также в данном варианте было наиболее высокое в продукции содержание незаменимых и критических аминокислот. При органической системе земледелия по сравнению с органоминеральной системой удобрения содержание всех незаменимых и критических аминокислот имело выраженную тенденцию к снижению (табл. 2).

Таблица 2

Влияние систем земледелия и удобрений на содержание белка, незаменимых и критических аминокислот в урожае культур звена севооборота

Вариант	Картофель, т/га			Гречиха, ц/га			Кабачок, т/га		
	Белок, %	Сумма аминокислот		Белок, %	Сумма аминокислот		Белок, %	Сумма аминокислот	
		критические	незаменимые		критические	незаменимые		критические	незаменимые
<i>Традиционная система земледелия</i>									
ПН крупного рогатого скота, 60 т/га + НРК	10,8	5,47	17,44	12,7	12,10	32,97	12,4	9,50	24,11
<i>Органическая система земледелия</i>									
Солома + Сидерат – Фон	8,1	4,02	12,75	10,6	11,04	30,15	9,7	8,46	20,11
Фон + ПН крупного рогатого скота	7,7	3,58	11,77	12,5	9,88	28,60	9,7	7,80	18,22
Фон + Вермикомпост	7,2	4,71	16,18	10,2	8,81	26,40	10,3	7,60	20,60
Фон + ПолиФунКур	7,6	4,88	15,93	10,8	9,91	30,92	9,0	7,43	19,22
Фон + Байкал ЭМ1	7,9	4,20	13,81	11,5	8,88	26,56	9,4	7,49	18,58

За ротацию севооборота (овес – картофель – гречиха – кабачок) наиболее благоприятный баланс элементов питания сложился при органоминеральной системе удобрения: по азоту приход превышал вынос на 491 кг/га, по фосфору – на 115 кг/га, по калию – на 38 кг/га (табл. 3).

При органической системе земледелия бездефицитный баланс элементов питания сложился только в варианте с внесением подстилочного навоза по фону соломы с сидератами: за четыре года поступление в почву превышало вынос с урожаем: азота на 196 кг/га, фосфора – на 63, калия – на 180 кг/га. Во всех остальных вариантах получен отрицательный баланс элементов питания, что в дальнейшем отрицательно скажется на плодородии почвы, особенно на содержании подвижных форм калия.

Таблица 3

Влияние применяемых систем удобрения на баланс основных элементов питания в почве за ротацию севооборота

Вариант	+ кг/га					
	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	вынос	баланс	вынос	баланс	вынос	баланс
<i>Традиционная</i>						
Без удобрений	258	–258	173	–173	509	–509
ПН крупного рогатого скота, 120 т/га	390	336	248	64	733	–89
ПН крупного рогатого скота, 120 т/га + N ₂₈₀ P ₉₀ K ₂₀₀	424	491	256	115	756	38
<i>Органическая</i>						
Солома + Сидерат – Фон	255	–189	183	–108	476	–234
Фон + ПН крупного рогатого скота, 80 т/га	295	196	216	63	575	180
Фон + Полифункур, 2,5 т/га	235	–111	171	–58	446	–165
Фон + Вермикомпост, 17 т/га	258	–42	191	–31	508	–108
Фон + Байкал ЭМ1	214	–155	159	–95	430	–191

Анализ почвенных образцов, отобранных перед закладкой опыта и в конце ротации севооборота, показал, что увеличение содержания гумуса в почве при традиционной системе земледелия отмечено в вариантах с органоминеральной и органической системами удобрения (табл. 4).

При органической системе земледелия бездефицитный баланс гумуса обеспечило внесение подстилочного навоза на фоне применения соломы и сидерата. В вариантах с применением удобрений ПолиФунКур, Вермикомпост и микробного удобрения Байкал ЭМ1 наблюдается тенденция к снижению содержания гумуса в почве. Аналогичные тенденции отмечены и в изменении содержания в почве подвижных форм фосфора (табл. 4). Следует отметить, что высоко окультуренная дерново-подзолистая суглинистая почва имеет высокую буферную способность, т.к. при довольно высоком отрицательном балансе калия, а в отдельных вариантах и фосфора (табл. 3), фактическое снижение подвижных форм калия и фосфора в почве было невысоким.

Результаты изменения денежной выручки в расчете на 1 га с учетом уровня затрат при применении различных систем удобрений и защиты растений приведены в табл. 5.

Таблица 4

Влияние применяемых систем удобрения на изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой суглинистой почвы

Вариант	pH _{KCl}			Гумус, %			P ₂ O ₅ , мг/кг			K ₂ O, мг/кг		
	1	2	+	1	2	+	1	2	+	1	2	+
<i>Традиционная система земледелия</i>												
Без удобрений	6,17	6,14	-0,03	2,47	2,54	0,07	624	592	-32	343	299	-44
ПН крупного рогатого скота, 120 т/га	6,30	6,29	0,00	2,58	2,71	0,14	609	611	2	348	339	-9
ПН крупного рогатого скота, 120 т/га + N ₂₈₀ P ₉₀ K ₂₀₀	6,30	6,28	-0,02	2,37	2,60	0,24	606	629	24	345	347	2
<i>Органическая система земледелия</i>												
Солома + Сидерат – Фон	6,12	6,10	-0,02	2,49	2,42	-0,07	602	582	-20	362	337	-26
Фон + ПН крупного рогатого скота, 80 т/га	6,18	6,19	0,01	2,47	2,59	0,12	584	593	10	360	366	7
Фон + ПолиФунКур, 2,5 т/га	6,14	6,12	-0,02	2,54	2,52	-0,02	598	588	-10	367	349	-18
Фон + Вермикомпост, 17 т/га	6,20	6,17	-0,03	2,55	2,53	-0,02	595	589	-6	361	355	-7
Фон + Байкал ЭМ1	6,19	6,15	-0,04	2,60	2,55	-0,05	590	576	-14	367	334	-33

Примечание. 1 – начало ротации (2013–2014 гг.), 2 – конец ротации (2016–2017 гг.).

Таблица 5

Изменение денежной выручки при возделывании культур в системе органического земледелия с учетом затрат на удобрения и защиту растений, USD/га

Вариант	Денежная выручка	Изменение (Δ) денежной выручки	Затраты на удобрения и средства защиты растений		Потери денежной выручки с учетом затрат на удобрения и средства защиты
			всего	Δ к традиционной	
<i>Картофель Лилея</i>					
ПН крупного рогатого скота, 60 т/га + N ₉₀ P ₃₀ K ₅₀	3970	–	234	–	–
<i>Органическая система земледелия</i>					
Солома + Сидерат – фон	2740	-1230	194	-40	-1190
Фон + ПН крупного рогатого скота, 40 т/га	3490	-480	266	32	-512
Фон + Вермикомпост, 10 т/га	2920	-1050	794	560	-1610
Фон + ПолиФунКур, 2 т/га	2810	-1160	554	320	-1480
Фон + Байкал ЭМ1, 9 л/га	2150	-1820	230	-5	-1816
<i>Гречиха Влада</i>					
ПН крупного рогатого скота, 60 т/га + N ₄₀ K ₄₀	687	–	89	–	–
<i>Органическая система земледелия*</i>					
Сидерат (озимая рожь) – Фон	563	-124	72	-17	-107

Вариант	Денежная выручка	Изменение (Δ) денежной выручки	Затраты на удобрения и средства защиты растений		Потери денежной выручки с учетом затрат на удобрения и средства защиты
			всего	Δ к традиционной	
Фон + ПН крупного рогатого скота, 40 т/га	623	-64	108	19	-83
Фон + Вермикомпост, 10 т/га	508	-179	372	283	-462
Фон + ПолиФунКур, 2 т/га	472	-215	252	163	-378
Фон + Байкал ЭМ1, 9 л/га	396	-291	107	18	-309
Кабачок Каризма					
ПН крупного рогатого скота, 60 т/га+N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3655	-	281	-	-
Органическая система земледелия*					
Солома – фон	2208	-1447	-	-281	-1166
Фон + ПН крупного рогатого скота, 40 т/га	2813	-842	144	-137	-706
Фон + Вермикомпост, 5 т/га	2325	-1330	500	219	-1549
Фон + ПолиФунКур, 0,5 т/га	2163	-1492	150	-131	-1362
Фон + Байкал, 6 л/га	1963	-1692	35	-246	-1447

В условиях полевого опыта снижение урожайности культур в системе органического земледелия в сравнении с традиционной технологией возделывания наблюдалось по всем вариантам применения органических удобрений и биопрепаратов. Расчет изменения денежной выручки сделан в USD/га на основе средней цены на продовольственный картофель (100 USD/т), цены на гречиху 2 класса, закупаемую для государственных нужд (229 USD/т) и цены, по которой был сдан кабачок на Столбцовский плодоовощной завод (25 USD/т), а также дополнительных разноуровневых затрат, связанных с применением микробиологических и органических удобрений, сидератов, биопрепаратов и средств защиты растений.

Наименьшие потери денежной выручки в сравнении с традиционной технологией возделывания наблюдались при внесении по фону подстилочного навоза крупного рогатого скота в дозе 40 т/га в органической системе земледелия: картофеля – 512 USD/га, гречихи – 83 USD/га, кабачка – 706 USD/га.

Наибольшие потери денежной выручки в сравнении с традиционной технологией возделывания были отмечены при применении биоорганических удобрений Вермикомпост, ПолиФунКур и микробного удобрения Байкал ЭМ1.

ВЫВОДЫ

На высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве в варианте с органоминеральной системой удобрения при химической защите посевов урожайность овса составила 56,4 ц/га, картофеля – 397 ц/га, гречихи – 30,0 ц/га, кабачка – 146,2 т/га.

В органической системе земледелия наиболее эффективным удобрением был подстилочный навоз крупного рогатого скота. Тем не менее в данном варианте по сравнению с применением удобрений, согласно технологическим регламентам возделывания культур в традиционной системе земледелия, урожайность овса и

гречихи была ниже на 9 %, картофеля – на 12 %, кабачка – на 34 %. В варианте только с запашкой соломы и сидератов урожайность соответственно была ниже картофеля на 31 %, гречихи – на 18 %, кабачка – на 58 %, т.е. чем требовательнее культура к плодородию почвы, тем урожайность при органическом производстве продукции ниже.

Максимальное содержание белка в клубнях картофеля (10,8 %) и в зерне гречихи (12,7 %) отмечено в варианте с органоминеральной системой удобрения. При органической системе земледелия в зависимости от удобрения содержание белка было в клубнях на уровне 7,2–8,1 %, зерне – 9,1–12,6 %. Содержание всех незаменимых аминокислот в клубнях картофеля имело выраженную тенденцию к снижению при органической системе земледелия по сравнению с органоминеральной системой удобрения.

При органической системе земледелия содержание нитратов в клубнях картофеля было в среднем на 42 % ниже, в плодах кабачков – на 27 % ниже, чем при органоминеральной системе удобрения.

Наиболее благоприятное влияние на агрохимические показатели почвы при традиционной системе земледелия оказало внесение минеральных удобрений на фоне подстилочного навоза крупного рогатого скота (за ротацию ПН крупного рогатого скота, 120 т/га + N₂₈₀P₉₀K₂₀₀): содержание гумуса увеличилось на 0,24 % при тенденции роста подвижных форм фосфора и калия, в блоке с органической системой земледелия – внесение подстилочного навоза на фоне применения соломы и сидерата: содержание гумуса увеличилось на 0,12 % при тенденции роста подвижных форм фосфора и калия, в остальных вариантах отмечена тенденция к снижению плодородия почвы.

Потери денежной выручки в органическом земледелии в сравнении с традиционной технологией возделывания культур составили: картофеля – 512–1816 USD/га, гречихи – 83–462 USD/га, кабачка – 706–1549 USD/га при наименьших показателях в варианте с внесением подстилочного навоза крупного рогатого скота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года. – Минск, 2017. – 59 с.
2. *Поречина, Н. И.* Органическое сельское хозяйство Беларуси: перспективы развития / Н. И. Поречина // Материалы междунар. науч.-практ. конф. – Минск: Донарит, 2012. – 104 с.
3. *Лавыш, В. Г.* Органическое сельское хозяйство: мировой опыт и возможности развития в Республике Беларусь / В. Г. Лавыш // Беларусь в современном мире: материалы VII Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 22 мая 2014 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого; под общ. ред. В. В. Кириенко. – Гомель, 2014. – С. 219–221.
4. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
5. Сравнительная эффективность возделывания овса в традиционной и органической системе земледелия на дерново-подзолистой суглинистой почве / Т. М. Серая [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 2(53). – С. 111–118.

6. О безопасности пищевой продукции: ТР ТС 021/2011: принят 9.12.2011: вступ. в силу 15.12.2011 / Евраз. экон. комис. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mart.gov.by>. – Дата доступа: 04.12.2018.

7. Сравнительная оценка возделывания картофеля при традиционной, биологизированной и органической системах земледелия / Т. М. Серая [и др.] // Агрохимия. – 2017. – № 7. – С. 34–41.

8. Эффективность возделывания кабачка в разных системах земледелия на дерново-подзолистой высококультуренной суглинистой почве / Ю. А. Белявская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. 2018. – № 2(61). – С. 136–145.

COMPARATIVE EFFICIENCY OF CULTIVATION OF AGRICULTURAL CULTURES IN TRADITIONAL AND ORGANIC SYSTEMS OF AGRICULTURE

**T. M. Seraya, E. N. Bogatyreva, Yu. A. Belyavskaya, T. M. Kirdun,
M. M. Torchilo, N. Yu. Zhabrovskaya**

Summary

A comparative assessment of the influence of traditional and organic production on the crop productivity of crops, crop quality indicators, soil fertility and economic efficiency is given.

Поступила 02.05.19

УДК 631.879.4:631.878:631.445.24

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕСЕНИЯ КОМПОСТА НА ОСНОВЕ БУРОГО УГЛЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

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

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

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь проблемой для сельскохозяйственных организаций и экологии страны в последнее время является утилизация полужидкого навоза, ежегодный выход которого при существующих способах содержания скота составляет около 10 млн т. Неудовлетворительные физико-механические свойства полужидкого навоза, отсутствие комплекса машин делают практически невозможным внесение его в почву в чистом виде. Наиболее рациональное решение этой проблемы заключается в компостировании данного вида навоза с органическими компонентами, имеющими высокую емкость поглощения, в первую очередь, тор-

фом и соломой. По существующей технологии компостирования потребность во влагопоглощающих материалах составляет как минимум 4 млн т. Однако в последние годы добыча торфа для сельскохозяйственных нужд резко сократилась и не превышает 1 % к потребности. В результате полужидкий навоз вместо удобрения является загрязнителем окружающей среды: грунтовых вод и воздушного бассейна.

Кроме торфа, в Республике Беларусь имеются достаточно большие запасы неогеновых бурых углей, которые находятся на самой низшей ступени метаморфизма и являются переходными в ряду торф – каменные угли. По данным И. И. Лиштвана с соавторами [1, 2], прогнозные общие запасы бурых углей в республике составляют около 1,5 млрд т: разведанные (балансовые экономически целесообразные) около 160 млн т, детально разведанные к настоящему времени – 100 млн т. Наиболее перспективными для промышленного освоения являются месторождения бурых углей в западной части Гомельской области (Житковичское, Бриневское, Тонежское). Средняя мощность пластов – 3–4 м, максимальная – 19,9 м, вскрыши – от 21 до 81 м [3].

Бурые угли пригодны для использования в качестве энергетического и коммунально-бытового топлива. Кроме этого, в ряде научных статей была показана перспективность использования гуматных препаратов на основе бурых углей при возделывании сельскохозяйственных культур [4, 5]. Изучено влияние мелиоранта, синтезированного на основе бурого угля, на растения ячменя и гороха в условиях загрязнения кадмием [6]. По характеру исходного материала неогеновые бурые угли относятся к гумусовым, так как основную часть их органической массы (около 80 %) составляют гуминовые вещества. Поэтому при использовании их на промышленные нужды, отходы бурого угля можно рассматривать как важный компонент органических удобрений. Такие исследования как в нашей республике, так и в ближнем зарубежье не проводились. С учетом вышесказанного целесообразным представляется проведение поисковых исследований по установлению влияния компоста на основе бурых углей на урожайность, качество сельскохозяйственных культур и агрохимические показатели почвы. Особенно это актуально для хозяйств, расположенных недалеко от месторождений бурых углей.

Цель исследований – провести сопоставительный анализ агроэкономической эффективности действия компоста на основе бурого угля с имеющимся традиционным аналогом на основе торфа.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в стационарном полевом опыте в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района на дерново-подзолистой, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 80 см моренным суглинком, почве. Почва опытного участка перед закладкой полевого опыта имела следующие агрохимические показатели: pH_{KCl} – 6,0, содержание гумуса – 2,71 %, подвижных форм K_2O – 172 мг/кг, P_2O_5 – 187 мг/кг, обменных форм CaO – 1527 мг/кг и MgO – 246 мг/кг почвы. Полевой опыт заложен в 2-х последовательно открывающихся полях в звене севооборота: кукуруза на зеленую массу – яровой ячмень. Предшественник – картофель. Повторность вариантов в опыте трехкратная, общая площадь делянки – 36 м², учетная – 25,0 м².

Предварительно в начале марта 2017–2018 гг. закладывали компостные бурты для внесения под 1-ю культуру звена севооборота следующих составов: 1-й – на основе полужидкого навоза крупного рогатого скота и торфа; 2-й – на основе полужидкого навоза крупного рогатого скота и бурого угля при соотношении компонентов 1:0,3. В среднем за 2 года при влажности 75 % содержание азота в 1 т угленавозного компоста (УНК) составило 4,4 кг, P_2O_5 – 2,0 кг, K_2O – 4,7 кг, CaO – 1,4 кг, MgO – 0,9 кг, органического вещества – 194 кг при отношении C/N на уровне 22 и pH_{KCl} 7,0 ед., что по своим характеристикам соответствовало торфонавозному компосту (ТНК) (влажность 75 %, N – 4,9 кг, P_2O_5 – 2,1 кг, K_2O – 4,9 кг, CaO – 1,8 кг, MgO – 0,9 кг, органическое вещество – 192 кг, C/N – 20, pH_{KCl} – 7,4 ед.).

Исследуемые культуры – кукуруза на зеленую массу ЕС Палацио и яровой ячмень Магутны. УНК и ТНК в дозе по 60 т/га вносили под кукурузу весной с последующим дискованием и вспашкой. Посев кукурузы произведен в 2017 г., во второй декаде мая, в 2018 г. – в первой декаде мая, норма высева семян – 110 тыс. шт. всхожих семян/га. Ячмень возделывали по 1-ому году последствия компостов; посеян 24 апреля 2018 г. с нормой высева 4 млн шт. всхожих семян/га.

Минеральные удобрения в виде карбамида, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия под кукурузу ($N_{90}P_{90}K_{120}$) и ячмень ($N_{60}P_{60}K_{120}$) внесены под предпосевную культивацию. Подкормка посевов азотом (N_{30}) проведена: кукурузы – в фазу 6–8 листьев, ячменя – в фазу образования 1-ого узла. Уход за посевами кукурузы включал обработку посевов в фазу 2–3 листьев развития культуры гербицидом Аденго, КС (0,4 л/га). Посевы ячменя в фазу начало кущения обработаны инсектицидом Борей, СК (0,12 л/га); в фазу основного кущения – гербицидом Балерина, СЭ (0,5 л/га). Уборку посевов ячменя проводили в фазу полной спелости зерна, кукурузы – в фазу молочно-восковой спелости зерна. Учет урожайности зеленой массы кукурузы, зерна и соломы ярового ячменя проводили сплошным методом поделяночно.

Химический анализ органических удобрений выполнен в соответствии с Государственными отраслевыми стандартами: определение влаги и сухого остатка – ГОСТ 26713–85; органического вещества – ГОСТ 27980–88; общего азота – ГОСТ 26715–85; общего фосфора – ГОСТ 26717–85; общего калия – ГОСТ 26718–85, кальция – ГОСТ 26570–95, магния – ГОСТ 30502–97, pH_{KCl} – ГОСТ 27979–88. В почвенных образцах основные агрохимические показатели определены по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213–91); обменная кислотность pH_{KCl} – потенциметрическим методом (ГОСТ 26483–85); подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207–91), обменные кальций и магний в 1 М KCl-вытяжке с определением на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS-30 (ГОСТ 26487–85).

В растительных образцах определяли следующие показатели: содержание влаги и сухого вещества – ГОСТ 27548–97, общий азот – ГОСТ 13496.4–93, фосфор – ГОСТ 26657–85, калий – ГОСТ 30504–97, кальций – ГОСТ 26570–95, магний – ГОСТ 30502–97. Содержание белка в зерне ярового ячменя определяли на инфракрасном спектрометре «Infraneo», нитратов в зеленой массе кукурузы – по ГОСТ 13496.19–93. Урожайность зерна ярового ячменя приведена к влажности 14 %, соломы – к 16 %, зеленой массы кукурузы – к 70 %. Для перевода зеленой массы кукурузы в кормовые единицы использовали коэффициент 0,27,

зерна ячменя – 1,21, соломы – 0,36 [7]. Экономическая эффективность внесения минеральных удобрений и компостов под культуры рассчитана по уровню цен на 2018 г. согласно [8]: стоимость 1 т к. ед. – 90,0 USD; затраты на уборку и доработку прибавки урожая – 12,0 USD/т; стоимость минеральных удобрений 1 т д.в.: азот – 506 USD, фосфор – 886, калий – 65 USD; затраты на внесение 1 т д.в. минеральных удобрений на расстояние 5 км от склада: азот – 40,0 USD, фосфор – 28,0 USD, калий – 19,2 USD. При внесении компостов под кукурузу отнесено 60 % затрат на их приготовление и внесение, под ячмень – 40 %: стоимость 1 т торфа – 10,0 USD, бурого угля при его добыче – 23,1 USD, затраты на доставку бурого угля или торфа к ферме на расстояние 15 км от места добычи – 6,8 USD, 5 км – 2,3 USD; затраты на приготовление и внесение 1 т компоста при удалении поля от фермы на расстояние 5 км – 4,5 USD. Для статистической обработки экспериментального материала использовали программу MS Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ урожайных данных показал, что в погодных условиях 2017 г. за счет плодородия супесчаной почвы при соблюдении основных элементов технологии возделывания кукурузы сформировано 290 ц/га **зеленой массы**, в 2018 г. – 351 ц/га, в среднем за 2 года получено 321 ц/га, что характеризовалось минимальным показателем по вариантам опыта (табл. 1). Внесение ТНК в дозе 60 т/га в среднем за 2 года способствовало существенному увеличению урожайности зеленой массы на 105 ц/га, или 33 %, относительно варианта без удобрений (рис. 1).

При сравнительной оценке агрономической эффективности нового УНК с традиционным ТНК, эквивалентных по соотношению исходных компонентов, установлено их равнозначное влияние на формирование зеленой массы кукурузы. Применение УНК в дозе 60 т/га позволило получить 420 ц/га зеленой массы и сформировать прибавку урожая на уровне 99 ц/га, что не превышало ошибки опыта по сравнению с вариантом, где внесен ТНК в аналогичной дозе. Дополнительный прирост по отношению к варианту без удобрений составил 31 %. Каждая тонна УНК окупалась 165 кг зеленой массы, что близко к окупаемости, полученной на фоне ТНК (175 кг на 1 т компоста).

Таблица 1

Влияние угленавозного и торфонавозного компостов на урожайность зеленой массы кукурузы, 2017–2018 гг.

Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка к контролю, ц/га	Окупаемость удобрений, кг зеленой массы	
	2017 г.	2018 г.	средняя за 2 года		1 т компоста	1 кг NPK
Без удобрений (контроль)	290	351	321	–	–	–
N ₉₀₊₃₀ P ₉₀ K ₁₂₀	468	411	440	119	–	36,1
ТНК, 60 т/га (стандарт)	418	433	426	105	175	14,8
УНК, 60 т/га	413	426	420	99	165	14,9
НСП ₀₅	43	40	41	–	–	–

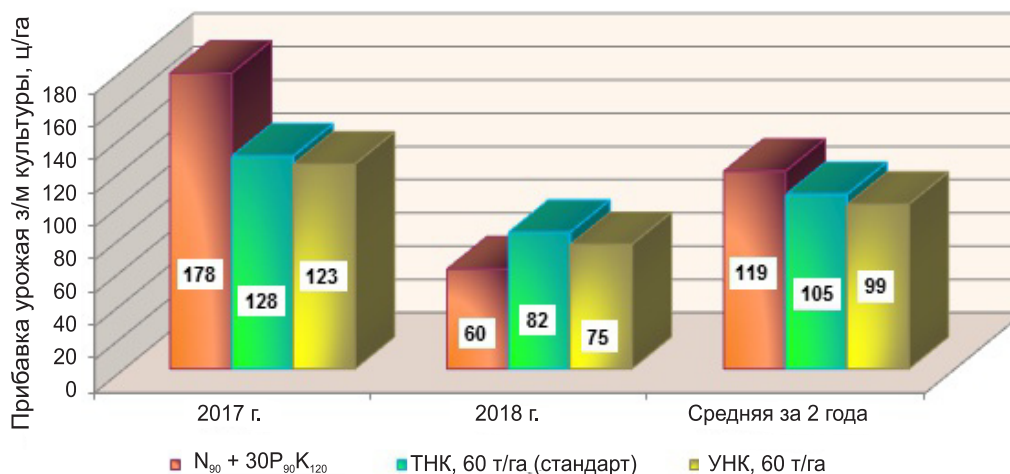


Рис. 1. Прибавка урожая зеленой массы кукурузы при внесении удобрений, ц/га

Применение минеральных удобрений в дозе $N_{90+30}P_{90}K_{120}$ в среднем за 2 года обеспечило получение урожайности зеленой массы 440 ц/га; достоверная прибавка составила 119 ц/га по сравнению с неудобренным вариантом; по сравнению с вариантами, где внесены компосты, наблюдаемые различия не превышали НСР₀₅.

Расчет эффективности 1 кг NPK, внесенного с минеральными удобрениями и компостами показал, что максимальная окупаемость 1 кг NPK (36,1 кг зеленой массы) получена в варианте с внесением $N_{90+30}P_{90}K_{120}$. Оплата 1 кг NPK, содержащегося в ТНК, снижалась до 14,8 кг. Аналогичный эффект обеспечил УНК, где прибавка от 1 кг NPK, внесенного с компостом, составила 14,9 кг зеленой массы.

В результате проведенных исследований установлено, что на дерново-подзолистой супесчаной почве в сложившихся вегетационных условиях 2018 г. последствие торфомазочного компоста, внесенного в дозе 60 т/га под предшественник, оказало положительное влияние на урожай **зерна ярового ячменя**, увеличивая его до 22,7 ц/га против 16,8 ц/га в варианте без удобрений; существенная прибавка составила 5,9 ц/га, или 35 % (рис. 2). По влиянию на формирование урожая зерна ячменя последствие УНК характеризовалось практически равнозначной агрономической эффективностью в сравнении с традиционным ТНК, обеспечив его выход на уровне 21,3 ц/га, наблюдаемая разница находилась в пределах ошибки опыта. Дополнительный прирост от внесения компоста на основе бурого угля составил 27 %, или 4,5 ц/га, относительно варианта без удобрений.

Максимальные показатели по урожайности зерна (39,9 ц/га) в опыте отмечены на минеральном фоне ($N_{60+30}P_{60}K_{120}$). По сравнению с неудобренным вариантом дополнительно получено 23,1 ц/га зерна ярового ячменя, с вариантами на фоне 1-го года последствия компостов – 17,2–18,6 ц/га.

Окупаемость 1 тонны ТНК 1-го года последствия составила 9,8 кг зерна, УНК – 7,5 кг зерна (несколько ниже относительно стандарта). Оплата 1 кг NPK минеральных удобрений составила 8,6 кг зерна. Прибавка зерна на 1 кг NPK, внесенного с компостами, была меньше – 0,7–0,8 кг зерна.

Урожайность соломы ярового ячменя составила 16,2 ц/га в неудобренном варианте, на фоне последействия компостов – 19,6–21,1 ц/га при соотношении зерно : солома равным 1: 0,9–1.

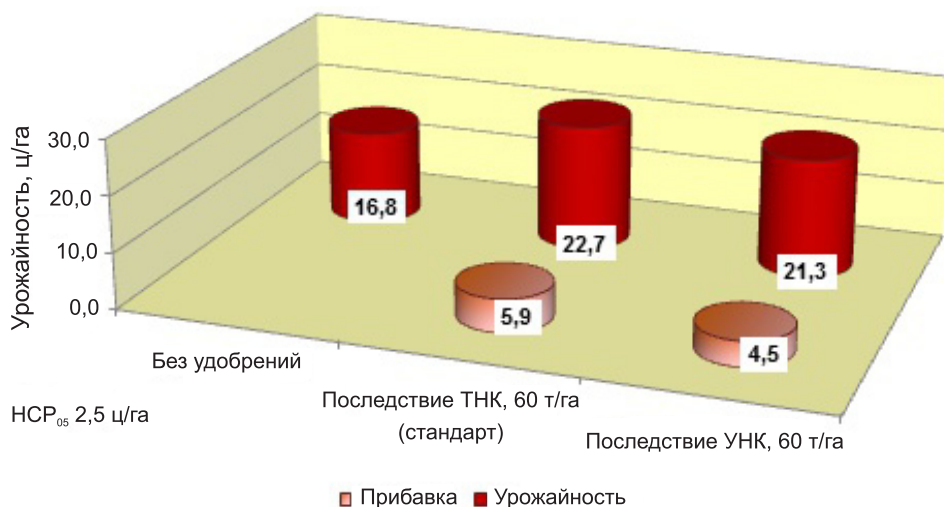


Рис. 2. Влияние угленавозного и торфонавозного компостов на урожайность зерна ярового ячменя

В целом за звено севооборота наибольшую продуктивность культур (179 ц к.ед./га) на дерново-подзолистой супесчаной почве обеспечило внесение минеральных удобрений при дополнительном сборе 66,6 ц к.ед./га и окупаемости 1 кг НРК 11,1 к.ед. (табл. 2).

Таблица 2

Влияние угленавозного и торфонавозного компостов на продуктивность звена севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве, 2017–2018 гг.

Вариант	Продуктивность, ц к. ед./га			Прибавка, ц к.ед./га	Окупаемость удобрений, к. ед.	
	кукуруза на з.м.	яровой ячмень	за звено севооборота		1 т компоста	1 кг НРК
Без удобрений (контроль)	86,5	26,2	112,8	–	–	–
N ₂₁₀ P ₁₅₀ K ₂₄₀	118,7	60,7	179,4	66,6	–	11,1
ТНК, 60 т/га (стандарт)	114,9	35,0	149,9	37,1	61,9	5,2
УНК, 60 т/га	113,3	32,9	146,1	33,3	55,6	5,0
НСП ₀₅	11,1	4,2	15,3	–	–	–

Применение нового УНК в дозе 60 т/га под кукурузу позволило получить суммарную продуктивность на уровне традиционного ТНК, внесенного в аналогичной дозе. Прибавка продуктивности возделываемых культур за счет компостов относительно варианта без удобрений составила 33,3–37,1 ц к.ед./га при оплате 1 т УНК 55,6 к.ед., 1 т ТНК – 61,9 к.ед. При этом окупаемость 1 кг НРК, внесенного с компостами, составила 5,0–5,2 к.ед., что ниже по сравнению с минеральными удобрениями более чем в 2 раза.

По действию на прирост урожайности каждой культуры звена севооборота относительно суммарной прибавки продуктивности УНК соответствовал ТНК: от прямого действия компостов получено 76–80 % прибавки урожайности, в 1-й год последствия – 20–24 % (рис. 3).

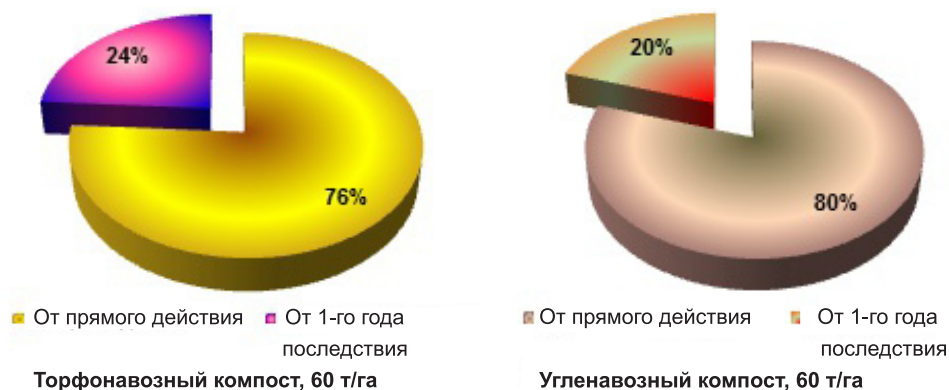


Рис. 3. Соотношение прибавки урожая от прямого действия и последствия компостов

Определение показателей качества выявило, что при уборке кукурузы в фазу молочно-восковой спелости зерна содержание сырого белка в зеленой массе в варианте без удобрений было самым низким – 5,9 % (табл. 3). Внесение $N_{90+30}P_{90}K_{120}$ и компостов в среднем за 2 года способствовало существенному приросту этого показателя на 1,0–1,6 % до уровня 6,9–7,5 % и характеризовалось равновеликими величинами.

Таблица 3

Влияние угленавозного и торфонавозного компостов на показатели качества зеленой массы кукурузы (среднее за 2017–2018 гг.)

Вариант	Сырой белок, % в сухом веществе	Сбор сырого белка, кг/га	Пп, г/кг корма	Обеспеченность 1 к.ед Пп, г	Сбор КПЕ, ц/га	Сбор к. ед., ц/га	NO_3^- , мг/кг сырого вещества
Без удобрений (контроль)	5,9	467	10	36	62	87	198
$N_{90+30}P_{90}K_{120}$	7,5	820	12	46	92	119	315
ТНК, 60 т/га (стандарт)	7,1	756	12	43	88	115	227
УНК, 60 т/га	6,9	716	11	42	85	114	234
HCP_{05}	0,7	–	–	–	–	12	26

Применение под кукурузу УНК обеспечило сбор кормовых единиц 114 ц/га, сырого белка – 716 кг/га, кормопротеиновых единиц – 85 ц/га, что равноценно влиянию ТНК. При этом относительно неудообренного варианта дополнительный прирост данных показателей в вариантах с применением компостов составил 27–28 ц/га (31–32 %), 249–289 кг/га (53–62 %), 23–26 ц/га (37–42 %) соответственно при увеличении содержания переваримого протеина в 1 к.ед. на 6–7 г. Несколько более высокие величины получены на минеральном фоне: выход сырого белка

достиг 820 кг/га, кормовых единиц – 119 ц/га, кормопротеиновых единиц – 92 ц/га при содержании переваримого протеина в 1 к.ед. 46 г.

Содержание нитратов в зеленой массе кукурузы в вариантах с внесением компостов составило 227–234 мг/кг, что достоверно выше (на 15–18 %), чем в неудобренном варианте. Максимальный уровень накопления (315 мг/кг) в опыте отмечен на минеральном фоне. Однако при существующей ПДК нитратов для зеленых кормов (500 мг/кг) зеленая масса кукурузы всех изучаемых вариантов пригодна для использования на кормовые цели.

Не установлено существенного влияния УНК и ТНК в последствии на содержание сырого белка в зерне ярового ячменя, его содержание в обоих вариантах было на уровне неудобренного варианта – 9,6 % (табл. 4). Последствие компоста на основе бурого угля обеспечило выход кормовых единиц – 25,8 ц/га, сырого белка – 176 кг/га, кормопротеиновых единиц – 22,5 ц/га, что по эффективности сопоставимо с последствием традиционного ТНК. В результате по сравнению с вариантом без удобрений превышение данных показателей на фоне последствия компостов за счет более высокой урожайности достигло 5,4–7,0 ц/га, 37–49 кг/га и 4,7–6,1 ц/га соответственно, что в относительном выражении составило 26–35 %. При этом обеспеченность 1 кг корма и кормовой единицы переваримым протеином была на уровне неудобренного варианта – 75 и 62 г.

Более эффективными являлись минеральные удобрения, внесение которых в дозе $N_{60+30}P_{60}K_{120}$ способствовало накоплению сырого белка в зерне до 11,1 %, что достоверно превышало уровень в варианте без удобрений на 1,5 %. Наиболее высокий сбор кормовых единиц (48,3 ц/га), сырого белка (380 кг/га) и кормопротеиновых единиц (44,9 ц/га) при обеспеченности кормовой единицы 72 г переваримого протеина также получен при внесении под ячмень минеральных удобрений. Относительно варианта без удобрений прирост сырого белка достиг 241 кг/га, кормовых единиц – 27,9 ц/га, кормопротеиновых единиц – 27,1 ц/га. По сравнению с вариантами на фоне последствия компостов превышение по выходу кормовых единиц составило 20,9–22,5 ц/га, сырого белка – 192–204 кг/га, кормопротеиновых единиц – 21,0–22,4 ц/га.

Результаты химического анализа показали, что внесенные в опыте удобрения не оказали значимого влияния на поступление фосфора (0,49–0,50 %), кальция (0,12–0,13 %) и магния (0,16–0,17 %) в зеленую массу кукурузы (табл. 5).

Таблица 4

Влияние угленавозного и торфонавозного компостов на показатели качества зерна ярового ячменя, 2018 г.

Вариант	Сбор к.ед., ц/га	Сырой белок, % в сухом веществе	Сбор сырого белка, кг/га	Пп, г/кг корма	Обеспеченность 1 к.ед. Пп, г	Сбор КПЕ, ц/га
Без удобрений (контроль)	20,4	9,6	139	75	62	17,8
$N_{60+30}P_{60}K_{120}$	48,3	11,1	380	87	72	44,9
Последствие ТНК, 60 т/га (стандарт)	27,4	9,6	188	75	62	23,9
Последствие УНК, 60 т/га	25,8	9,6	176	75	62	22,5
НСР ₀₅	3,0	1,0	–	–	–	–

Влияние угленавозного и торфонавозного компостов на содержание основных элементов питания в зеленой массе и их вынос с урожаем кукурузы (среднее за 2017–2018 гг.)

Вариант	Содержание элементов питания, % в сухом веществе					Общий вынос, кг/га				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Без удобрений (контроль)	0,93	0,50	1,70	0,12	0,16	90	48	163	12	15
N ₉₀₊₃₀ P ₉₀ K ₁₂₀	1,19	0,50	1,97	0,13	0,17	158	66	259	17	22
ТНК, 60 т/га (стандарт)	1,14	0,49	1,86	0,12	0,16	145	63	238	16	20
УНК, 60 т/га	1,09	0,49	1,90	0,13	0,17	138	62	239	16	21
НСП ₀₅	0,10	0,04	0,12	0,01	0,02	–	–	–	–	–

Более существенно компосты и минеральные удобрения повлияли на содержание калия и азота в растениях, обеспечивая их накопление в зеленой массе до уровня 1,86–1,97 % и 1,09–1,19 % соответственно против 1,70 и 0,93 % в варианте без удобрений.

Вынос элементов питания с зеленой массой кукурузы зависел как от ее урожайности, так и от их содержания в ней. Минимальным отчуждением основных элементов питания характеризовался неудобренный вариант, в котором с зеленой массой кукурузы вынесено 90 кг азота, 48 кг фосфора, 163 кг калия, 12 кг кальция и 15 кг магния. Применение торфонавозного и угленавозного компостов обеспечило близкий уровень величин хозяйственного выноса элементов питания, что обусловлено практически одинаковым влиянием этих удобрений на урожайность зеленой массы кукурузы и накопление в ней азота и зольных элементов. По сравнению с вариантом без удобрений внесение компостов в дозе 60 т/га увеличило общий вынос азота на 48–55 кг, фосфора – на 14–17 кг, калия – на 75–76 кг, кальция – на 4 кг, магния – на 5–6 кг. На минеральном фоне хозяйственный вынос элементов питания имел сопоставимые показатели с вариантами, где внесены компосты. Установлено, что варианты с внесением компостов и минеральных удобрений также существенно не отличались между собой по удельному выносу зольных элементов питания и соответствовали величинам неудобренного варианта: с 1 т зеленой массы кукурузы вынесено 1,5 кг фосфора, 5,6–5,9 кг калия, 0,4 кг кальция и 0,5 кг магния. При этом более высокий нормативный вынос отмечен для азота – 3,3–3,6 кг/т, что в 1,2–1,3 раза превышало показатель в варианте без удобрений.

Последствие компостов не влияло на содержание азота и зольных элементов питания в зерне и соломе ячменя. Содержание азота в зерне составило 1,54 %, P₂O₅ – 0,92–0,94 %, K₂O – 0,73–0,74 %, CaO – 0,03 % и MgO – 0,14 %; в соломе: N – 0,47–0,49 %, P₂O₅ – 0,30–0,33 %, K₂O – 1,39–1,47 %, CaO – 0,26–0,27 %, MgO – 0,11–0,12 % (табл. 6).

При возделывании ярового ячменя установлено, что последствие ТНК и УНК, как и в случае с кукурузой, оказало приблизительно одинаковое влияние на отчуждение элементов питания с урожаем, увеличивая вынос азота на 7–9 кг/га, фосфора – на 5–7 кг/га, калия – на 7–11 кг/га, кальция и магния – на 1 кг/га. Наибольшим выносом элементов питания характеризовался вариант с внесением минеральных удобрений (N – 79 кг/га, P₂O₅ – 39, K₂O – 80, CaO – 9, MgO – 8 кг/га). Удельный вы-

нос элементов питания в вариантах на фоне 1-ого года последействия компостов был близок и практически не отличался от показателей неудобренного варианта: с 1 т зерна и соответствующим количеством соломы вынесено: N – 16,9–17,0 кг, P₂O₅ – 10,3–10,6 кг, K₂O – 17,0–17,8 кг, CaO – 2,3–2,4 кг, MgO – 2,1 кг.

Таблица 6

Влияние угленавозного и торфонавозного компостов на содержание основных элементов питания в зерне и их вынос с урожаем ярового ячменя, 2018 г.

Вариант	Содержание элементов питания в зерне, % в сухом веществе					Общий вынос, кг/га				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Без удобрений (контроль)	1,54	0,91	0,73	0,02	0,14	29	17	29	4	4
N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	1,77	0,86	0,74	0,03	0,13	79	39	80	9	8
Последействие ТНК, 60 т/га (стандарт)	1,54	0,94	0,74	0,03	0,14	38	24	40	5	5
Последействие УНК, 60 т/га	1,54	0,92	0,73	0,03	0,14	36	22	36	5	5
НСР ₀₅	0,16	0,09	0,05	0,01	0,01	–	–	–	–	–

Закономерно, что за звено севооборота наиболее низкий вынос элементов питания характерен для варианта без удобрений: азот – 119 кг/га, фосфор – 65 кг/га, калий – 192 кг/га, кальций – 16 кг/га, магний – 19 кг/га. УНК и ТНК способствовали довольно близкому отчуждению элементов питания: N – 174–183 кг/га, P₂O₅ – 84–87 кг/га, K₂O – 275–278 кг/га, CaO – 21 кг/га, MgO – 25–26 кг/га. В среднем за звено севооборота компосты увеличили общий вынос азота относительно варианта без удобрений на 50 %, фосфора – на 32 %, калия – на 44 %, кальция – на 31 %, магния – на 35 %. Максимальные показатели получены на фоне минеральных удобрений, под влиянием которых общий вынос азота вырос на 118 кг/га, P₂O₅ – на 40 кг/га, K₂O – на 147 кг/га, CaO – на 10 кг/га, MgO – на 11 кг/га.

При анализе долевого участия каждой культуры в общем выносе элементов питания за звено севооборота установлено, что на зеленую массу кукурузы приходится более 70 %; с зерном и соломой ярового ячменя отчуждено 25 % азота, 29 % фосфора, 17 % калия, 27 % кальция и 22 % магния от общего выноса за звено севооборота (рис. 4).

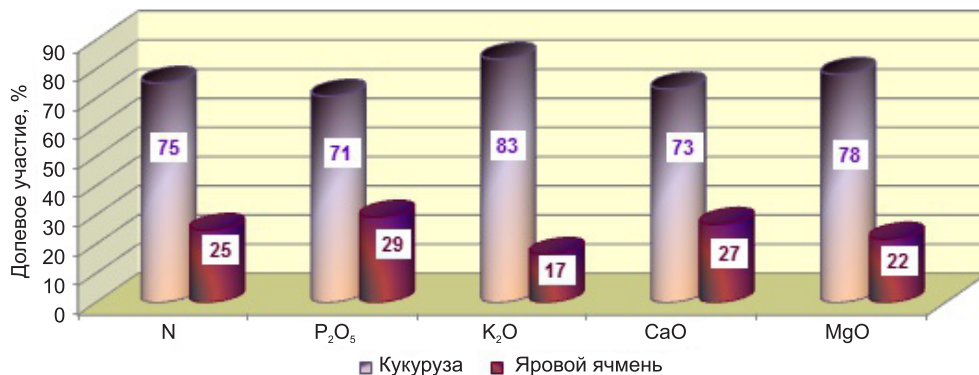


Рис. 4. Долевое участие культур звена севооборота в общем выносе элементов питания

Расчет коэффициентов использования элементов питания из УНК и ТНК показал отсутствие различий между ними. Так, за звено севооборота коэффициент использования азота из компостов составил 21–22 %, фосфора – 16–18 %, калия – 29–30 % (рис. 5).

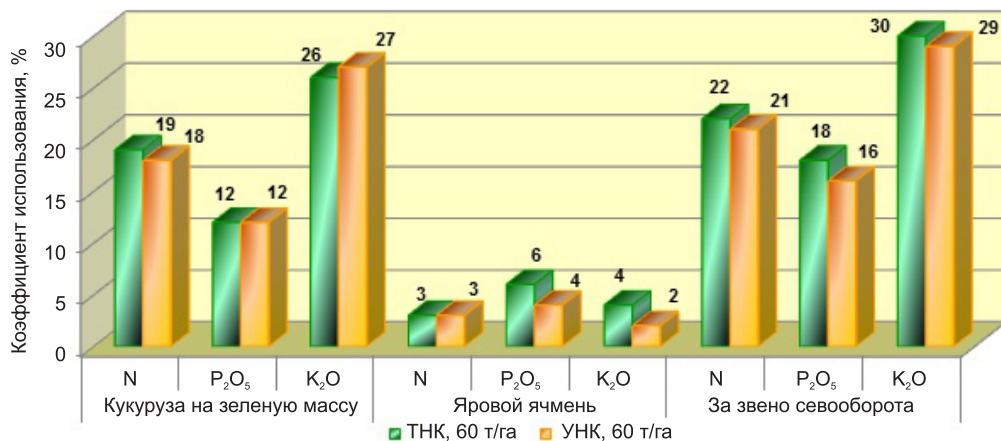


Рис. 5. Коэффициенты использования элементов питания из компостов культурами звена севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве, %

При этом на 1-ую культуру звена севооборота приходится большая часть элементов питания, усвоенных из торфонавозного и угленавозного компостов: кукурузой было использовано в среднем из компостов 19 % азота, 12 % фосфора и 27 % калия. Значительно меньшие коэффициенты азота (3 %), фосфора (4–6 %) и калия (2–4 %) из внесенных компостов характерны для ярового ячменя.

На основании учета приходных и расходных статей выполнен расчет хозяйственного баланса основных элементов питания. Расчеты показали, что возделывание кукурузы и ярового ячменя за звено севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве в варианте без удобрений привело к дефициту азота (–126 кг/га), фосфора (–62 кг/га), калия (–208 кг/га) (табл. 7).

Таблица 7

Баланс элементов питания в дерново-подзолистой супесчаной почве за звено севооборота при внесении угленавозного и торфонавозного компостов

Вариант	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
	Баланс, ± кг/га	ИБ	Реутилизация, %	Баланс, ± кг/га	ИБ	Реутилизация, %	Баланс, ± кг/га	ИБ	Реутилизация, %
Без удобрений (контроль)	–126	16	–	–62	6	–	–208	10	–
N ₂₁₀ P ₁₅₀ K ₂₄₀	–86	73	–	49	146	–	–115	70	–
ТНК, 60 т/га (стандарт)	30	110	102	40	146	142	–1	100	92
УНК, 60 т/га	17	106	97	40	148	144	–10	97	89

Применение угленавозного и торфонавозного компостов под кукурузу обеспечило формирование небольшого положительного баланса азота (+17–30 кг/га) и фосфора (+40 кг/га). Интенсивность баланса азота в данных вариантах была на уровне 106–110 %, фосфора – 146–148 %, повторное их использование составило 97–102 % и 142–144 % соответственно. Отмечен бездефицитный баланс калия при внесении ТНК, тогда как применение УНК не компенсировало его вынос с урожаем – снижение составило 10 кг/га. При этом интенсивность баланса элемента колебалась на уровне 97–100 %, а реутилизация составила 89–92 %.

За счет более высокой продуктивности за звено севооборота внесение азотных и калийных удобрений хотя и снижало дефицит азота и калия, но не обеспечивало полностью их компенсации (–86 и –115 кг/га соответственно). Только внесение фосфорных удобрений было достаточным для возмещения выноса фосфора с урожаем возделываемых культур, обеспечивая его накопление в почве на уровне 49 кг/га.

Довольно точным критерием при оценке влияния удобрений на состояние плодородия почв является фактическое изменение агрохимических показателей за звено севооборота. В результате анализа почвенных образцов, отобранных перед закладкой опыта и после уборки посевов ячменя, не установлено существенного изменения уровня pH_{KCl} , полученные величины близки к исходным показателям (табл. 8).

Таблица 8

Влияние угленавозного и торфонавозного компостов на агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы в звене севооборота

Вариант	pH_{KCl}		гумус, %		P_2O_5 , мг/кг		K_2O , мг/кг	
	1*	2*	1	2	1	2	1	2
Без удобрений (контроль)	5,94	5,96	2,63	2,56	194	183	172	121
ТНК, 60 т/га (стандарт)	5,98	5,99	2,69	2,71	185	187	174	165
УНК, 60 т/га	5,91	5,92	2,75	2,78	178	178	164	154
НСР ₀₅	0,09	0,14	0,15	0,13	18	17	14	12

* 1 – до внесения компостов; 2 – после уборки урожая ярового ячменя.

Содержание гумуса в варианте без внесения удобрений имело тенденцию к снижению (–0,07 %), в то время как внесение компостов обеспечило его поддержание на исходном уровне (рис. 6).

Наиболее значимое снижение плодородия почвы по содержанию подвижных форм фосфора (–11 мг/кг) и калия (–51 мг/кг) относительно исходного уровня установлено в варианте без удобрений. Отмечено равноценное влияние УНК и ТНК на изменение уровня фактического содержания этих элементов в почве. При этом их внесение в дозе 60 т/га было достаточным для поддержания бездефицитного баланса фосфора. В отличие от фосфора вследствие большего выноса наблюдалось уменьшение содержания калия в почве не только в неудобренном варианте, но даже при использовании компостов. Однако в вариантах с их внесением его дефицит был менее выраженным: наметилась лишь тенденция снижения содержания калия в почве (на 9–10 мг/кг). В результате обеднение пахотного слоя калием по сравнению с вариантом без удобрений уменьшилось на 24–25 %.

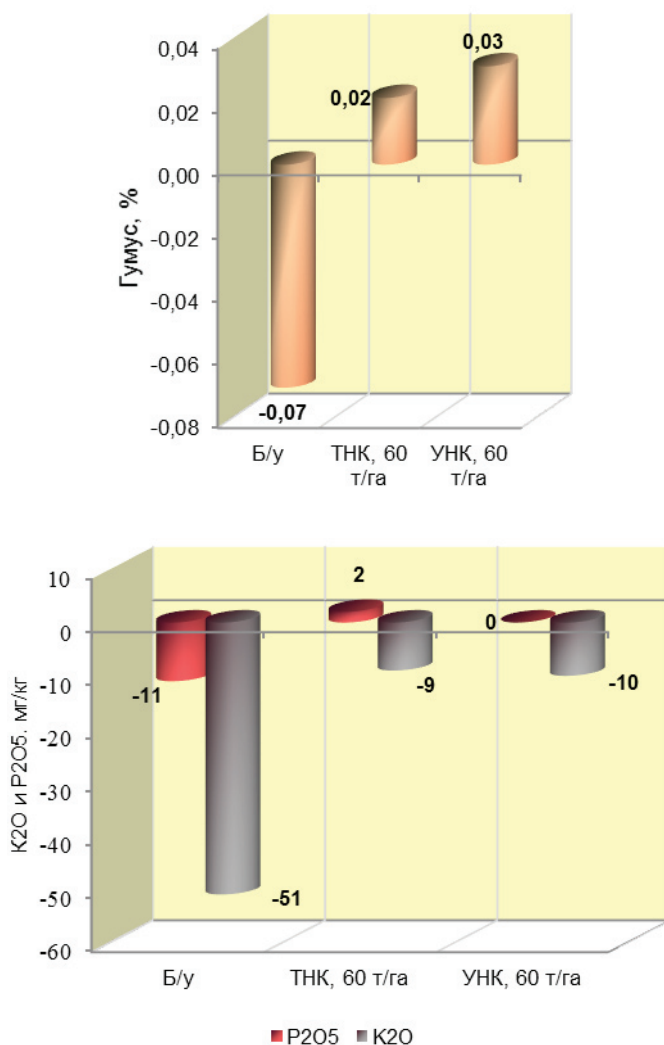


Рис. 6. Изменение содержания гумуса, фосфора и калия в дерново-подзолистой супесчаной почве в звене севооборота под влиянием компостов

В ходе исследований определено, что внесение УНК и ТНК в равных дозах оказывало сходное влияние на активность гидролитических и окислительных ферментов в супесчаной почве. Под влиянием внесенных компостов установлено статистически достоверное повышение полифенолоксидазной (на 14–18 %) и пероксидазной (на 15–21 %) активности почвы (табл. 9).

Действие компостов на активность гидролитических (инвертаза и уреазы) ферментов было менее выраженным, наблюдалась лишь тенденция к увеличению на уровне 6–7 % (за исключением уреазной активности на фоне ТНК, где прирост составил 16 %). Расчет биохимических показателей активности гумификации и минерализации по данным ферментативной диагностики показал, что применение компостов усиливало интенсивность гумификационных процессов в супесчаной почве на 17 %, минерализационных – на 7–11 %.

Таблица 9

Активность гидролитических и окислительных ферментов в дерново-подзолистой супесчаной почве при внесении компостов

Вариант	Инвертаза, мг глюк./кг	Уреаза, мг N-NH ₄ ⁺ /кг	Минерализация, %	Полифенолоксидаза (ПФО)	Пероксидаза (ПО)	Гумификация, %	БА, %
				мг хинона/кг			
Контроль (без удобрений)	2458	134	100	49,7	37,2	100	100
ТНК, 60 т/га (стандарт)	2605	156	111	56,5	45,1	117	114
УНК, 60 т/га	2640	143	107	58,9	42,9	117	112
НСП ₀₅	235	13	–	4,2	2,5	–	–

Полученные данные свидетельствуют, что внесение компоста на основе бурого угля и традиционного аналога на основе торфа в большей степени повышало активность оксидаз (ПФО, ПО), тем самым обеспечивая преобладание процессов гумификации над процессами минерализации. В целом при внесении компостов общий уровень биологической активности (БА) супесчаной почвы увеличился на 12–14 % по сравнению с неудобренным вариантом.

Расчет экономической эффективности показал, что при условии удаления поля от склада на расстояние 5 км внесение минеральных удобрений в дозе N₉₀₊₃₀P₉₀K₁₂₀ под кукурузу, возделываемую на зеленую массу, способствовало получению по опыту максимального условно чистого дохода (92 USD/га) при рентабельности 47 % и себестоимости прибавки урожая 61 USD/т к. ед. (табл. 10).

Таблица 10

Экономическая эффективность применения удобрений за звено севооборота

Вариант	NPK	Транспортировка бурого угля/торфа на 5 км			Транспортировка бурого угля/торфа на 15 км		
		ТНК, 60 т/га	УНК, 60 т/га		ТНК, 60 т/га	УНК, 60 т/га	
			при добыче бурого угля	при использовании отходов бурого угля		при добыче бурого угля	при использовании отходов бурого угля
<i>Кукуруза на зеленую массу</i>							
Условно чистый доход, USD/га	92	–27	–147	45	–35	–156	36
Рентабельность, %	47	–9	–38	22	–12	–39	18
Себестоимость, USD/т к. ед.	61	99	145	74	102	148	77
<i>Яровой ячмень</i>							
Условно чистый доход, USD/га	104	–111	–196	–68	–116	–202	–74
Рентабельность, %	70	–63	–80	–58	–65	–80	–60
Себестоимость, USD/т к. ед.	53	246	449	215	254	459	225
<i>За звено севооборота</i>							
Условно чистый доход, USD/га	196	–138	–343	–24	–151	–357	–37
Рентабельность, %	57	–30	–54	–7	–32	–55	–11
Себестоимость, USD/т к. ед.	52	123	191	95	127	195	99

Применение ТНК в дозе 60 т/га под кукурузу на зеленую массу нерентабельно: при доставке торфа к ферме на расстояние 5 км от места добычи убыток составил 27 USD/га; 15 км – 35 USD/га. Еще более убыточным (147–156 USD/га) было применение УНК в аналогичной дозе, что обусловлено более высокой стоимостью 1 т бурого угля (23,1 USD) при условии его добычи непосредственно для изготовления компостов по сравнению с торфом (стоимость 1 т торфа – 10,0 USD). Себестоимость дополнительной продукции при этом характеризовалась наиболее высоким показателем по опыту – 145–148 USD/т к. ед. В том случае, если под кукурузу вносить компост на основе отходов бурого угля, оставшихся после его использования на промышленные нужды, то снижение затрат на его приготовление при удалении фермы от места добычи на расстояние 5 км позволило получить условно чистый доход 45 USD/га при рентабельности 22 % и себестоимости 1 т к. ед. кукурузы – 74 USD. С увеличением расстояния между месторождением бурого угля и местом приготовления компостов до 15 км чистый доход снижался до 36 USD/га, рентабельность – до 18 %.

Последствие компостов при возделывании ярового ячменя было экономически невыгодным, т. к. размеры полученных доходов от прибавки урожая зерна не покрывали понесенные расходы. Прибыльным было только внесение под яровой ячмень минеральных удобрений в дозе $N_{60+30}P_{60}K_{120}$: условно чистый доход составил 104 USD/га, рентабельность – 70 %.

В целом за звено севооборота экономически оправдано было только применение минеральных удобрений ($N_{210}P_{150}K_{240}$), обеспечивая получение условно чистого дохода на уровне 196 USD/га при рентабельности 57 % и себестоимости 1 т к. ед. 52 USD. На дерново-подзолистой супесчаной почве в звене севооборота: кукуруза на зеленую массу – яровой ячмень внесение в дозе по 60 т/га ТНК и нового УНК при добычи бурого угля непосредственно для закладки компоста экономически не целесообразно даже при доставке торфа или бурого угля от места добычи к ферме на расстояние 5 км, т. к. затраты превышают стоимость прибавки урожая (убыток 138–343 USD/га). Наименьший убыток (24 USD) получен при внесении УНК, при изготовлении которого использовали отходы бурого угля при условии его доставки к ферме на расстояние до 5 км от места добычи.

ВЫВОДЫ

В сельскохозяйственных организациях, расположенных недалеко от месторождений бурых углей, целесообразно для приготовления компостов с полужидким навозом использовать в качестве влаговпитывающего органического компонента отходы бурого угля, оставшиеся после его использования на промышленные нужды, из расчета на 1 т навоза 300 кг бурого угля. Полученный компост на основе бурого угля по своим характеристикам соответствует традиционному торфонавозному компосту и имеет близкие агрохимические показатели. Внедрение технологии компостирования полужидкого навоза с бурым углем позволит увеличить выход качественных удобрений и решить экологические проблемы, связанные с утилизацией полужидкого навоза.

В звене севооборота – кукуруза на зеленую массу – яровой ячмень – применение нового компоста на основе бурого угля на дерново-подзолистой супесчаной почве по агрономической эффективности равноценно традиционному аналогу на

основе торфа. Внесение угленавозного и торфонавозного компостов с одинаковым соотношением исходных компонентов (0,3 части бурого угля или торфа на 1 часть навоза) в дозе 60 т/га обеспечило получение равновеликой продуктивности 146,1–149,9 ц к.ед./га при дополнительном сборе урожая 33,3–37,1 ц к.ед./га и окупаемости 1 т компостов 55,6–61,9 к.ед. Прибавка зеленой массы кукурузы от их прямого действия достигла 99–105 ц/га, кормовых единиц 27–28 ц/га, сырого белка – 249–289 кг/га, кормопротеиновых единиц – 23–26 ц/га; за счет 1-ого года последействия дополнительно получено 4,5–5,9 кг зерна ярового ячменя, 5,4–7,0 ц/га кормовых единиц, 37–49 кг/га сырого белка и 4,7–6,1 ц/га кормопротеиновых единиц.

При добыче бурого угля непосредственно для приготовления компоста применение ТНК и УНК в дозе 60 т/га в звене севооборота кукуруза на зеленую массу – яровой ячмень нерентабельно даже при доставке торфа или бурого угля от места добычи к ферме на расстояние 5 км (убыток 138–343 USD/га). Наименьший убыток (24 USD) получен при внесении под кукурузу компоста на основе отходов бурого угля, оставшихся после его использования на промышленные нужды, при условии их доставки от места добычи к ферме на расстояние до 5 км.

Внесение угленавозного компоста за звено севооборота обеспечило бездефицитный баланс гумуса и подвижных форм P_2O_5 в пахотном слое дерново-подзолистой супесчаной, но было недостаточным для поддержания подвижных форм калия на исходном уровне (–10 мг/кг), что аналогично влиянию торфонавозного компоста на агрохимические показатели. Применение компостов увеличило полифенолоксидазную активность почвы на 14–18 %, пероксидазную – на 15–21 % при усилении интенсивности гумификационных процессов на 17 %, минерализационных – на 7–11 %.

Таким образом, установлено, что компосты из полужидкого навоза с неогеновыми бурыми углями по влиянию на урожайность, показатели качества урожая и плодородие почвы аналогичны торфонавозным компостам. Экономическая эффективность применения УНК будет зависеть от цели добычи бурых углей (отходы от промышленной добычи или добыча для сельскохозяйственных нужд), дальности перевозки и места в севообороте (при внесении под культуры с более высокой закупочной ценой, соответственно экономическая эффективность компостов будет выше).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пиролиз бурых углей Брииевского месторождения Республики Беларусь / И. И. Лиштван [и др.] // Химия твердого топлива. – 2009. – № 3. – С. 20–25.
2. *Лиштван, И. И.* Твердые горючие ископаемые Беларуси и особенности их глубокой переработки / И. И. Лиштван, В. М. Дударчик, В. М. Крайко // Доклады НАН Беларуси. – 2015. – Т. 59. – № 3. – С. 97–101.
3. *Ажгиревич, Л. Ф.* Закономерности размещения и образования горючих ископаемых / Л. Ф. Ажгиревич. – Минск: Наука и техника, 1986. – 174 с.
4. Оценка биологической активности буроугольных комплексных гранулированных гуматных удобрений / К. С. Вотолин [и др.] // Биологически активные препараты для растениеводства. Научное обоснование – рекомендации – прак-

тические результаты: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 3–8 июля 2018 г. / Беларус. гос. ун-т ; редкол.: Д. В. Маслак [и др.]. – Минск, 2018. – С. 60–62.

5. Чистова, О. А. Оценка эффективности применения гуматов при выращивании картофеля (на примере УО ПЭЦ МГУ имени М. В. Ломоносова) / О. А. Чистова, О. А. Макаров, Н. Н. Панина // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: проблемы, перспективы, достижения: тезисы докл. VII съезда Об-ва почвоведов им. В. В. Докучаева и Всероссийской с зарубежным участием науч. конф., Белгород, 15–22 августа 2016 г. : в 2 ч. / Белгород. гос. национ. исследоват. ун-т ; отв. ред.: С. А. Шоба, И. Ю. Савин. – Москва – Белгород, 2016. – Ч. 1. – С. 139–140.

6. Влияние бурого угля, монокремниевой кислоты и кремний-органического мелиоранта на их основе на поглощение кадмия ячменем и горохом / Е. А. Бочарникова [и др.] // Агрохимия. – 2016. – № 5. – С. 41–46.

7. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая: монография / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, 2006. – 120 с.

8. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И. М. Богдевич [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Ин-т проблемных исследований в АПК НАН Беларуси, 2010. – 24 с.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF COMPOST BASED ON BROWN COAL ON SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL

**E. N. Bogatyrova, T. M. Seraya, T. M. Kirdun,
Y. A. Belyavskaya, M. M. Torchilo**

Summary

The comparative analysis of agroeconomic efficiency of new compost on the basis of brown coal with traditional analogue on the basis of peat in field experiment on sod-podzolic sandy loam soil has been carried out. The introduction of coal-manure compost in the dose of 60 t/ha contributed to obtaining the productivity of the crop rotation link is 146,1 kg of fodder units/ha, which is equivalent to the influence peat-manure compost (149,9 kg of fodder units/ha). The use of compost under the condition of extraction of brown coal directly for its production is unprofitable. The lowest loss (24 USD) was obtained when composting on the basis of brown coal waste remaining after its use for industrial purposes, when they were delivered from brown coal deposits to the farm at a distance of up to 5 km. The introduction of coal-manure compost provided a deficit-free balance of humus and mobile forms of P_2O_5 in the arable layer of sandy soil, but not enough to maintain K_2O at the initial level (–10 mg/kg), which is similar to the effect of peat-manure compost on agrochemical indicators.

Поступила 08.04.19

ДЕЙСТВИЕ УДОБРЕНИЙ В ЗЕРНОПРОПАШНОМ СЕВООБОРОТЕ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ С ОЧЕНЬ ВЫСОКИМИ ЗАПАСАМИ ФОСФОРА И КАЛИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева, О. А. Шедова, Н. Ю. Жабровская

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

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных признаков окультуренности дерново-подзолистых почв является содержание в них подвижных форм фосфора и калия. При этом приводимые в литературе оптимальные уровни содержания подвижного фосфора и эффективность внесения фосфорных удобрений при содержании фосфатов в почве выше оптимальных значений резко различаются между собой. По данным исследований, проводившихся на территории России, оптимальный уровень содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистых почвах находится в пределах от 100 [1] до 200 мг/кг почвы [2–4]. Считается, что при содержании подвижных фосфатов выше 200 мг/кг почвы происходит снижение продуктивности и рост непроизводительных затрат основных элементов питания [5].

В Беларуси принятый интервал оптимальных параметров содержания подвижных фосфатов составляет 150–300 мг/кг почвы, калия – 100–300 мг/кг почвы [6]. Многочисленные исследования свидетельствуют о неэффективности внесения фосфорных удобрений при содержании фосфатов 300–400 мг/кг почвы и выше [7, 8]. В то же время И. М. Богдевич по результатам опытов [9] предлагает повысить диапазон оптимального содержания подвижных фосфатов до 400 мг/кг почвы, и отмечает, что по мере повышения интенсивности земледелия оптимальные уровни обеспеченности почв фосфором, калием и другими элементами минерального питания будут также несколько повышаться.

Установлено [10], что при высокой обеспеченности почвы фосфором и калием сельскохозяйственные культуры положительно реагируют лишь на азот удобрений, при почти полном отсутствии прибавок от фосфорных и калийных удобрений. При этом более эффективными считаются повышенные дозы азота (120 кг/га), обеспечивающие существенную мобилизацию почвенных запасов фосфора и калия.

В то же время отмечается, что применение моноазотной системы удобрения связано с неизбежным ухудшением фосфатно-калийного и гумусного состояния почвы. Считается [11], что для предотвращения деградации плодородия необходимо вносить не менее 11 т навоза на 1 га в год.

Таким образом, дерново-подзолистые высокообеспеченные фосфором и калием почвы обладают значительным потенциалом эффективного плодородо-

дия, что определяет их особую ценность для земледелия. Основной задачей агрохимических исследований в таких условиях должна быть разработка приемов питания растений, позволяющих полностью использовать эффективное плодородие почв и потенциальные возможности сортов сельскохозяйственных культур.

Необходимость установить целесообразные уровни применения органических и минеральных удобрений, которые обеспечивают высокую и устойчивую продуктивность сельскохозяйственных культур, возделываемых в зернопропашном севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высоким содержанием подвижных соединений фосфора и калия, явилась целью наших исследований.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Стационарный опыт заложен на полях Института почвоведения и агрохимии, расположенных в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области, на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в двух последовательно открывающихся полях. Агрохимическая характеристика пахотного слоя: pH_{KCl} – 6,02–6,33, гумус – 2,07–2,40 %, содержание подвижных P_2O_5 – 736–847, K_2O – 387–432 мг/кг почвы.

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

Схема опыта включала 15 вариантов в 4-кратной повторности (60 опытных делянок). Общая площадь делянки – 24,0 м² (4,0 × 6,0 м).

В опыте предусматривалось внесение минеральных удобрений на двух органических фонах. Органические удобрения – навоз крупного рогатого скота со следующими показателями качества (в среднем за 2 года): N – 0,5 %, P_2O_5 – 0,3 %, K_2O – 0,6 %, CaO – 0,4 %, MgO – 0,12 %, влажность – 75 %, вносили осенью под первую культуру севооборота. Минеральные удобрения – карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий применяли в основное внесение и, кроме того, карбамид в подкормку согласно схеме опыта (табл. 3).

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

Расчет экономической эффективности применения удобрений проводили по соответствующим методикам [12] с использованием следующих цен на удобрения и продукцию: стоимость 1 т кормовых единиц – 90 USD; затраты на уборку и доработку 1 т к. ед. – 25 USD; стоимость минеральных удобрений с затратами на их внесение: 1 т д.в. азота – 606,87 USD, фосфора – 917,80, калия – 71,24 USD; затраты на приготовление и внесение на расстояние 5 км 1 т навоза крупного рогатого скота – 3,7 USD.

Метеорологические условия вегетационных периодов 2013–2018 гг. исследований различались по температурному режиму и количеству осадков, что оказало неоднозначное влияние на рост и развитие растений (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Температурный режим вегетационных периодов 2013–2018 гг.

Месяц	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее многолетнее
Апрель	6,3	8,7	7,4	8,5	6,0	10,5	7,2
Май	16,8	14,4	12,8	15,4	13,0	17,4	13,3
Июнь	19,3	15,8	17,4	18,3	16,4	17,7	16,4
Июль	18,6	20,7	18,6	19,5	17,6	19,5	18,5
Август	18,2	19,1	21,0	18,8	19,0	17,5	17,5

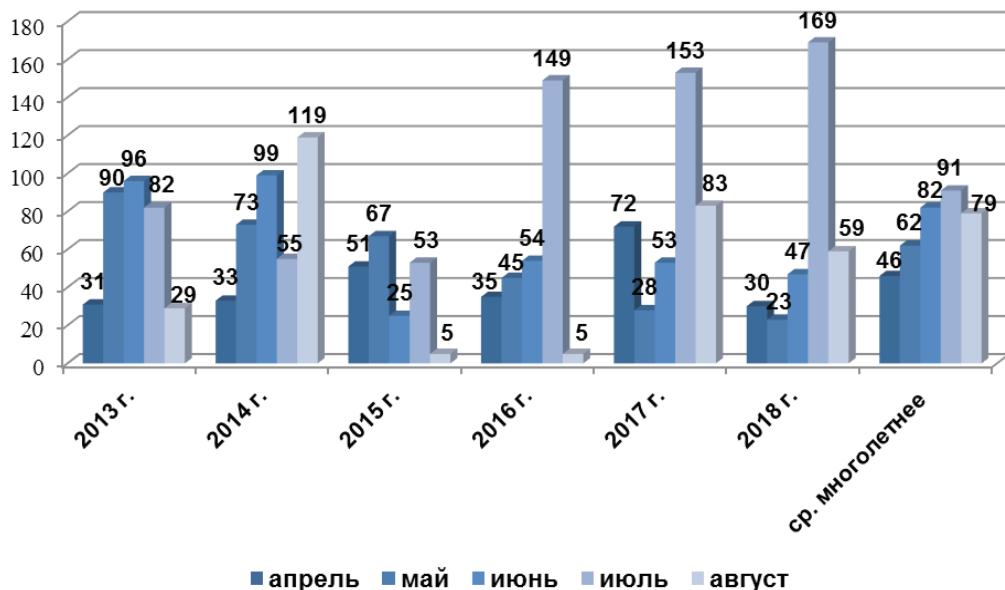


Рис. 1. Условия увлажнения вегетационных периодов, 2013–2018 гг.

Наиболее благоприятными для формирования урожая культур севооборота, можно считать 2013 и 2015 гг. Для них были характерны температуры воздуха ниже или на уровне среднемноголетнего показателя в апреле, а также в мае 2015 г. и количество осадков в апреле-мае близкое или выше нормы. Метеорологические условия июня-августа сильно различались, в 2013 г. они были благоприятны для формирования высокой урожайности зеленой массы кукурузы, засушливые условия 2015 г. помешали полностью реализовать потенциал сортов возделываемых культур, но недобор урожая был меньше, чем в другие годы исследования, когда неблагоприятные условия отмечались в начальный период вегетации.

2014 и 2017 гг. можно охарактеризовать как достаточно благоприятные. В 2014 г. условия апреля-мая были на уровне благоприятных 2013 и 2015 гг. (ГТК в апреле – 1,2, в мае – 1,6) (табл. 2), но анализ погодных условий марта (средняя температура месяца +5,2 °С, при норме 0 °С и количество осадков 52 % от нормы) может свидетельствовать об очень низких запасах почвенной влаги, которые не были компенсированы осадками апреля-мая, при этом температу-

ры воздуха превышали норму более чем на 1 °С. В 2017 г., напротив, запасы влаги в почве, сформированные благодаря обильным осадкам в апреле (157 % от нормы), нивелировали значительный недобор осадков в мае (ГТК 0,7), при этом температуры воздуха апреля-июня не превышали среднееголетних значений.

Таблица 2

ГТК вегетационных периодов 2013–2018 гг.

Год	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Среднее
2013	2,5	1,7	1,7	1,4	0,5	1,6
2014	1,2	1,6	2,1	0,9	2,0	1,6
2015	2,3	1,7	0,5	0,9	0,1	1,1
2016	1,4	0,9	1,0	2,5	0,1	1,2
2017	15,2	0,7	1,1	2,8	1,4	4,2
2018	1,2	0,4	0,9	2,8	0,9	1,2

2016 и 2018 гг. были наименее благоприятные для получения высокой продуктивности. Повышенные температуры в апреле-июне 2016 и 2018 гг. и значительный недобор влаги в этот период оказали негативное влияние на закладку и развитие генеративных и вегетативных органов растений.

Таким образом, данные шести лет исследований свидетельствуют о том, что на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве погодные условия в начальный период роста и развития растений – апрель-май в большей степени ограничивали формирование урожая, чем условия июня-августа. Неблагоприятные условия июня-июля в 2015 г. (ГТК 0,5–0,9) не помешали получить более 80 ц/га зерна яровой пшеницы и 70 ц/га зерна ячменя, в то время как более благоприятные условия июня-июля в 2014 и 2016 гг. не нивелировали негативного последствия неблагоприятных условий в более ранний период вегетации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Формирование урожая протекает под совокупным влиянием широкого спектра внешних факторов: свойств почвы, агротехнических приемов возделывания сельскохозяйственных культур, а также погодных условий, каждый из которых оказывает определенное непосредственное или косвенное действие на продуктивность посевов.

В опыте значительный потенциал почвы с очень высоким содержанием подвижных соединений фосфора и калия позволил получить в контрольном варианте 308 ц/га к.ед. за севооборот (табл. 3). Основным приемом воздействия на продуктивность было внесение органических и минеральных азотных удобрений. Наибольшие прибавки получены от применения азотных удобрений. На фоне без навоза от внесения $N_{330-630}$ было дополнительно получено 96–140 ц к.ед./га. Моноазотная система удобрения была наиболее экономически выгодной при рентабельности – 72–96 % и условно чистом доходе – 424–528 USD/га. Но в тоже время при данной системе отмечены наибольшие темпы деградации почвенного плодородия (табл. 4).

Таблица 3

Продуктивность культур зернопропашного севооборота

Вариант	Кукуруза, з.м. ц/га		Яровая пше- ница, ц/га		Яровой яч- мень, ц/га		Яровой рапс, ц/га		Озимая пше- ница, ц/га		Продуктив- ность сево- оборота, ц к.ед./га	Условно чистый доход, USD/га	Рента- бель- ность, %
	2013 г.	2014 г.	2014 г.	2015 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2017 г.	2017 г.	2018 г.			
Без удобрений – Фон 1	639	331	43,0	57,7	42,4	22,7	18,2	46,5	35,9	308	–	–	–
N1	700	414	54,7	67,5	59,8	41,0	27,8	64,9	48,0	404	424	424	96
N2	715	487	58,4	68,4	66,2	41,5	27,1	69,5	57,1	429	495	495	83
N3	742	518	62,5	73,2	69,9	42,7	27,0	74,2	57,9	448	528	528	72
N3PK	749	522	63,5	76,3	71,8	50,0	32,6	75,0	64,1	476	607	607	68
Навоз 50 т/га – Фон 2	687	447	53,4	61,1	48,9	26,1	21,8	50,6	40,1	354	114	114	38
Фон 2 + N1	724	459	56,9	72,6	65,2	42,2	27,5	65,7	47,4	421	343	343	52
Фон 2 + N2	716	527	58,3	76,5	69,3	44,1	30,5	73,1	52,9	449	440	440	53
Фон 2 + N3	774	576	62,3	78,4	72,2	45,3	29,5	75,2	56,8	470	479	479	49
Фон 2 + N3PK	778	580	64,8	82,2	74,3	49,3	33,8	77,2	62,0	493	539	539	48
Навоз 100 т/га – Фон 3	717	463	53,7	61,8	51,6	29,1	22,2	48,8	39,1	363	–13	–13	–3
Фон 3 + N1	681	519	57,1	78,1	66,3	45,7	27,8	68,7	52,7	436	262	262	29
Фон 3 + N2	789	550	59,6	78,6	70,9	46,1	29,2	73,1	54,5	463	346	346	33
Фон 3 + N3	868	616	62,1	81,8	73,7	49,5	28,7	74,1	60,1	489	424	424	35
Фон 3 + N3PK	864	628	64,6	83,4	70,7	54,6	33,3	76,4	64,7	509	458	458	34
НСР ₀₅ фон (фактор А)	49	62	2,0	4,2	–	4,7	–	–	–	16	–	–	–
НСР ₀₅ мин. уд. (фактор В)	64	80	2,6	5,4	5,8	3,7	3,1	4,2	5,2	21	–	–	–
НСР ₀₅ взаимодействие фактора А и В	–	–	6,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

N1 – N₉₀ – под кукурузу, N₆₀ – под остальные культуры, N₃₃₀ – за севооборот; N2 – N₉₀₊₃₀ – под кукурузу, N₆₀₊₃₀ – под остальные культуры, N₄₈₀ – за севооборот; N3 – N₁₂₀₊₃₀ – под кукурузу, N₉₀₊₃₀ – под остальные культуры, N₆₃₀ – за севооборот; PK – P₁₅K₃₀ – под яровые пшеницу и ячмень, P₂₀K₆₀ – под кукурузу, P₂₀K₃₀ – под яровой рапс, P₂₀K₄₅ – под озимую пшеницу, P₉₀K₁₉₅ – за севооборот.

Динамика содержания подвижных соединений фосфора и калия, мг/кг почвы

Фон	Подвижные фосфаты			Подвижный калий		
	2012–2013 гг.	2017–2018 гг.	±	2012–2013 гг.	2017–2018 гг.	±
Без навоза	782	720	–62	396	298	–98
Навоз, 50 т/га	806	774	–32	413	342	–71
Навоз, 100 т/га	789	772	–17	425	379	–46
НСР ₀₅ (фон)	–	36	–	–	27	–
НСР ₀₅ (2012–2013/ 2017–2018)	33			20		

На фоне навоза эффективность азотных удобрений несколько снижалась, прибавки составили 67–126 ц к.ед./га. При этом существенное преимущество наибольшей в опыте дозы азотных удобрений (N_{630}) наблюдалось только на фоне 100 т/га навоза. На безнавозном фоне и фоне с применением 50 т/га органических удобрений более эффективным было внесение за севооборот N_{480} . Экономическая эффективность при применении навоза снижалась, рентабельность упала до 49–52 % на фоне 50 т/га навоза и до 29–35 % на фоне 100 т/га навоза. При этом можно отметить, что при меньшей дозе органических удобрений наиболее экономически выгодным было внесение N_{330} , на фоне 100 т/га органических удобрений – N_{630} . Условно чистый доход при применении азотных удобрений на фоне навоза снижался до 262–479 USD/га.

Достоверные прибавки от внесения органических удобрений были получены на первых трех культурах севооборота. В целом за севооборот за счет действия и последствия навоза получено 46–55 ц к.ед./га. При этом преимущество двойной дозы навоза было недостоверным при прибавке 15 ц к.ед./га. Органическая система удобрения с применением 100 т/га навоза оказалась экономически невыгодной, при уровне рентабельности –3 % и убытке 13 USD/га. Внесение 50 т/га навоза обеспечило получение наименьшего условно чистого дохода – 114 USD/га при рентабельности 38 %.

Несмотря на очень высокое содержание в почве подвижных форм фосфора и калия в целом за севооборот на безнавозном фоне и фоне с применением 50 т/га навоза наблюдалось преимущество варианта $N_{630}P_{90}K_{195}$ перед N_{630} , прибавки составили 23–28 ц к.ед./га. При внесении 100 т/га навоза преимущество варианта NPK перед N было недостоверным, при прибавке 20 ц к.ед./га. Полная минеральная система удобрения ($N_{630}P_{90}K_{195}$) по отношению к N_{630} обеспечила рентабельность на 4 % ниже при увеличении условно чистого дохода на 79 USD/га. На фоне 50 т/га навоза рентабельность снизилась всего на 1 %, а условно чистый доход повысился с 479 до 539 USD/га.

Необходимо отметить, что при органоминеральной системе удобрения ($N_{330-630}$, $N_{630}P_{90}K_{195}$ на фоне 50 т/га навоза) по сравнению с минеральной системой темпы снижения содержания подвижного калия замедляются на 28 %, подвижного фосфора – на 48 %.

Таким образом, применение азотных удобрений на почве с очень высоким содержанием подвижных фосфатов и калия является наиболее экономически эффективным. В то же время необходимо отметить, что более благоприятное воздействие на фосфатное и калийное состояние почвы оказывает совместное

применение органических и минеральных удобрений. И, вопреки ожиданиям, необходимо отметить высокий агрономический эффект от совместного применения с азотными небольшими дозами фосфорных и калийных удобрений. Применение за севооборот $N_{630}P_{90}K_{195}$ обеспечило и максимальный условно чистый доход – 607 USD/га.

Особенности действия удобрений в различных гидротермических условиях отражает анализ продуктивности возделываемых в севообороте культур. Погодные условия вегетационного периода являлись значительным фактором, лимитирующим продуктивность. Так, в 2015 г., охарактеризованном нами как благоприятный по погодным условиям, продуктивность яровой пшеницы в варианте без удобрений достигала 57,7 ц/га, в то время как по данным Белстата [13] в среднем по республике в этом году она составила 39,6 ц/га. В то же время в 2016 г. в опыте в контрольном варианте было получено всего 22,7 ц/га зерна ярового ячменя, тогда как в среднем по республике урожайность данной культуры составила 27,8 ц/га.

В целом размах урожайности культур севооборота по годам зависел от системы удобрения и изменялся от 13 до 93 % (табл. 5). Максимальное варьирование отмечено в варианте без внесения удобрений: в среднем за севооборот 61 %, при самом низком значении 30 %, отмеченном у озимой пшеницы, и самом высоком 93 % – у кукурузы. Внесение удобрений способствовало повышению устойчивости продуктивности по годам. Органические удобрения способствовали снижению размаха продуктивности по годам в среднем до 43–45 %. При применении азотных удобрений в наибольшей в опыте дозе (N_3) варьирование урожайности составило 35–38 % в зависимости от фона. Наилучший эффект был достигнут при применении полного минерального удобрения – 27–34 %, в первую очередь за счет повышения устойчивости урожайности в годы с неблагоприятными условиями. Ведь, как известно, удобрения снижают расход воды на образование единицы урожая на 10–20 % и более. При этом лучший эффект получается от применения фосфорных удобрений и при их сочетании с азотом и калием [14].

В годы с благоприятными метеорологическими условиями эффективность удобрений была ниже, растения в большей степени использовали почвенное плодородие. Наименьшие прибавки от минеральных удобрений получены в 2013 г. при возделывании кукурузы: 13–21 % от N_3 и N_3PK . Также и в 2015 г. на яровой пшенице прибавки от азотных удобрений в наибольшей в опыте дозе составили 27–32 %, от полного минерального удобрения – 32–35 %. В то же время в этом году ячмень был более отзывчив на внесение минеральных удобрений, при прибавках 43–65 и 37–69 % соответственно. Наибольший эффект от внесения N_3 – прибавка 70–88 % и от N_3PK – 88–120 % отмечен при возделывании ярового ячменя в неблагоприятных условиях 2016 г.

Необходимо отметить, что эффективность азотных удобрений в значительной степени зависела от количества осадков в мае. Наибольшая в опыте доза азота – 120–150 кг/га была эффективна в годы с влажным маем. В 2016 и 2017 гг. при недоборе осадков (ГТК в мае 0,9 и 0,7 соответственно) на яровом рапсе и ячмене не отмечалось увеличение продуктивности при повышении доз азота выше 60 кг д.в./га. Вместе с тем отмечена высокая отзывчивость на внесение полного минерального удобрения. Прибавки от применения фосфорных и калийных удобрений в составе N_3PK составили для ячменя 15–32 %, для рапса – 20–31 % по отношению к вариантам с внесением N_3 . Также холодные погодные условия в

начале вегетации озимой пшеницы (первая декада октября 2017 г., средняя температура на 2 °С ниже, чем в этот же период 2016 г.) способствовали получению достоверных прибавок зерна озимой пшеницы от NЗРК в 2018 году – 13–18 %.

Таблица 5

Варьирование урожайности культур севооборота по годам, %

Вариант	Кукуруза	Яровая пшеница	Яровой ячмень	Озимая пшеница	Среднее
Без удобрений	93	34	87	30	61
NЗ	43	15	64	28	38
NЗРК	44	17	43	17	30
Навоз 50 т/га	53	13	87	26	45
Навоз 50 т/га + NЗ	35	22	59	33	37
Навоз 50 т/га + NЗРК	35	23	51	26	34
Навоз 100 т/га	54	13	78	25	43
Навоз 100 т/га + NЗ	41	26	49	23	35
Навоз 100 т/га + NЗРК	38	23	30	18	27

Отмечается различная эффективность органических удобрений при меняющихся погодных условиях. В годы с благоприятными метеорологическими условиями органические удобрения способствовали повышению продуктивности яровой пшеницы на 6–7 % (2015 г.), на 8–12 % у кукурузы (2013 г.). На озимой пшенице действие навоза также было невысоким в оба года исследований (увеличение продуктивности на 5–12 %), что может быть связано как с особенностями погодных условий, так и с невысокой эффективностью четвертого года последствия навоза. Наибольшие прибавки от применения навоза отмечены в 2014 г.: сбор зеленой массы кукурузы увеличился на 35–40 %, прибавки зерна яровой пшеницы составили 24–25 %. Также высокое последствие органических удобрений отмечено на яровом рапсе: прибавка – 20–22 % относительно контроля. При очень контрастных погодных условиях по месяцам в 2015 и 2016 годах ГТК за вегетацию были близки (1,1 и 1,2 соответственно), что может объяснить сопоставимую эффективность последствия навоза на яровом ячмене – увеличение продуктивности на 15–22 и 15–28 % соответственно.

Анализ участия отдельных факторов в формировании продуктивности культур севооборота свидетельствует о значительном изменении их роли в зависимости от погодных условий. Необходимо отметить, что в разные годы возделывались различные культуры, поэтому данные в некоторой степени могут быть искажены из-за специфики реакции возделываемых культур, обусловленной биологическими особенностями. Не принимая во внимание данный факт, можно констатировать, что при благоприятных погодных условиях (2013 и 2015 гг.) доля почвенного плодородия в формировании урожая достигала 70 % (рис. 2). Ухудшение метеорологических условий вегетационного периода сопровождалось снижением доли участия почвенного плодородия до 59 % в 2014 и 2017 гг. и до 54 % в среднем по 2016 и 2018 гг.

Вместе со снижением роли почвенного плодородия значение удобрений повышалось. В наименее благоприятных условиях 2016 и 2018 гг. 37 % продукции было получено за счет минеральных удобрений, из них 28 % обеспечили азотные

удобрения, 9 % – фосфорные и калийные. В 2013 и 2015 гг. значение фосфорных и калийных удобрений было незначительным, обеспечив получение 3 % продукции. Доля азотных удобрений также снизилась, но оставалась существенной – 21 %.

Органические удобрения наибольшую эффективность показали в 2014, 2017 гг., когда их доля в формировании продуктивности составила 13 %. Вероятно, достаточная влажность и благоприятный тепловой режим, о чем свидетельствует высокий ГТК за вегетацию в эти годы (1,6 в 2014 г. и 4,2 в 2017 г.), способствовали разложению и минерализации органических удобрений.

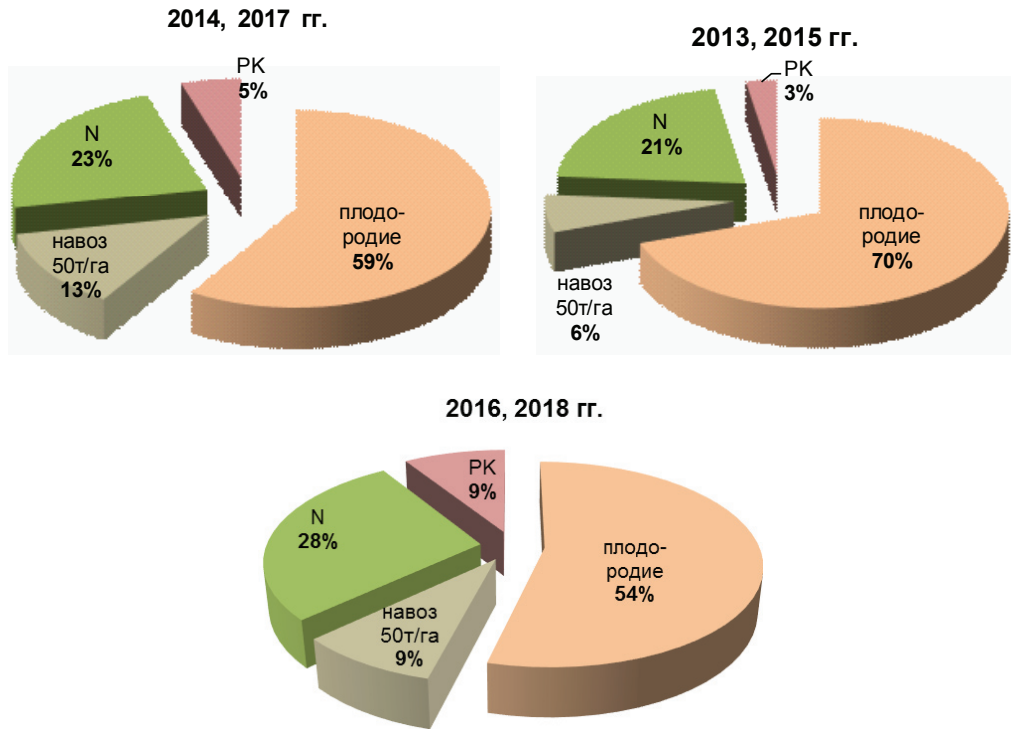


Рис. 2. Участие отдельных факторов в формировании продуктивности культур севооборота в зависимости от особенностей метеоусловий в период вегетации

ВЫВОДЫ

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высоким содержанием подвижных соединений фосфора и калия в зернопропашном севообороте наиболее экономически выгодной при рентабельности – 72–96 %, условно чистом доходе – 424–528 USD/га и продуктивности 404–448 ц к.ед./га является моноазотная система удобрения ($N_{330-630}$).

Применение фосфорных и калийных удобрений (ежегодное внесение $P_{15-20}K_{30-60}$) в составе полного минерального удобрения на безнавозном и органических фонах способствует повышению устойчивости продуктивности в годы с неблагоприятными гидротермическими условиями, вариабельность по годам в среднем за севооборот снижается на 3–8 % по сравнению с азотной системой удобрения. Рентабельность данного агроприема ниже на 1–4 % по отношению к

азотной системе, условно чистый доход выше на 34–79 USD/га при наибольшей продуктивности – 476–509 ц к.ед./га.

Для поддержания высокого уровня плодородия целесообразно совместное применение органических (навоз 50 т/га) и минеральных ($N_{330-630}$, $N_{630}P_{90}K_{195}$) удобрений, при этом темпы снижения содержания подвижного калия замедляются на 28 %, подвижного фосфора – на 48 %.

Доля почвенного плодородия в формировании урожая достигает 70 % при благоприятных гидротермических условиях вегетационного периода и снижается до 54 % при ухудшении метеорологических условий. Из удобрений наиболее эффективными являются азотные, обеспечивающие 21–28 % продукции севооборота в зависимости от погодных условий. Органические удобрения способствуют повышению урожая на 6–13 %, в то время как фосфорные и калийные на 3–9 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимов, С. Н. Фосфатное состояние и плодородие дерново-подзолистых среднесуглинистых почв / С. Н. Трофимов, В. А. Варламов // Почвы и их плодородие на рубеже столетий: материалы II съезда Бел. общ-ва почвоведов, Минск, 25–29 июня 2001 г.: в 3 кн. / БелНИИПА; отв.ред. И. М. Богдевич, Н. И. Смяян. – Минск, 2001. – Кн. 2. – С. 302–305.

2. Рациональный круговорот и баланс питательных веществ в интенсивном земледелии / Л. Л. Шишов [и др.] // Агрохимия. – 1987. – № 2. – С. 28–35.

3. Касицкий, Ю. И. Об оптимальном содержании подвижного фосфора в почвах Нечерноземной зоны СССР / Ю. Н. Касицкий // Агрохимия. – 1991. – № 6. – С. 107–109.

4. Эффективное применение фосфорного удобрения в агроценозах / В. И. Никитишен [и др.] // Почвоведение. – 1993. – № 10. – С. 90–96.

5. Сычев, В. Г. Влияние содержания подвижного фосфора на урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность фосфорных удобрений / В. Г. Сычев, С. А. Шафран // Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений. – М.: ВНИИА, 2013. – С. 76–83.

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

7. Барашенко, В. В. Параметры фосфорного и калийного режима почв, обеспечивающие высокую продуктивность угодий и экологическую безопасность / В. В. Барашенко, Н. Н. Лутович, Г. И. Каленик // Резервы повышения плодородия почв и эффективности удобрений: материалы междунар. науч.-практ. конф., Горки, 10–11 апреля 1996 г. / БСХА; редкол.: А. Р. Цыганов [и др.]. – Горки, 1996. – С. 24–26.

8. Лутович, Н. Н. Влияние обеспеченности почвы подвижным фосфором на урожайность картофеля и эффективность применения фосфорных удобрений / Н. Н. Лутович // Современные проблемы использования почвенных ресурсов и повышения их производительной способности: междунар. научно-практ. конф., Горки, 11–15 ноября 1997 г. / БСХА; редкол.: Н. И. Смяян [и др.]. – Горки, 1997. – С. 166–167.

9. Динамика и оптимизация фосфатного статуса пахотных почв Беларуси в зависимости от уровня интенсификации земледелия / И. М. Богдевич [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 1(40). – С. 104–117.

10. *Иванов, И. А.* Применение удобрений на дерново-подзолистых почвах с высокими запасами фосфора и калия / И. А. Иванов, А. И. Иванов, Н. И. Семенова. – Агрохимия. – 1996. – № 4. – С. 9–14.

11. *Назарова, О. В.* Азотное состояние хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв Северо-Запада России и его изменение под влиянием различных систем удобрения: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / О. В. Назарова; Великолукская ГСХА. – Великие Луки, 2004. – 132 л.

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

13. Сельское хозяйство Беларуси. Статистический сборник [Электронный ресурс]//Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/upload/iblock/414/414e12ffef25173cde661891ff60df5.pdf>. – Дата доступа: 12.03.2019.

14. *Панников, В. Д.* Почва, климат, удобрение и урожай / В. Д. Панников, В. Г. Минеев. – М.: Колос, 1977. – 416 с.

EFFECT OF FERTILIZERS IN THE GRAIN-ROW CROP ROTATION ON SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL WITH VERY HIGH PHOSPHORUS MAINTENANCE AND POTASSIUM UNDER VARIOUS WEATHER CONDITIONS

O. G. Kulesh, E. G. Mezentseva, A. A. Shedava, N. Yu. Zhabrovskaya

Summary

On sod-podzolic light loamy soil with very high phosphorus maintenance and potassium the high cost efficiency of introduction in a crop rotation of $N_{330-630}$ is established. The greatest efficiency and delay of degradation of fertility is reached at application of $N_{630}P_{90}K_{195}$ against the background of 50 t/hectare of manure. The efficiency of use of phosphoric and potash fertilizers in low doses ($P_{15-20}K_{30-60}$) is established that promotes increase in stability of efficiency in years with adverse weather conditions.

Поступила 11.04.19

УРОЖАЙНОСТЬ, ВЫНОС И КОЭФФИЦИЕНТЫ ВОЗМЕЩЕНИЯ ВЫНОСА ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И ПРИМЕНЯЕМОЙ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ ПОД ЯРОВОЙ ЯЧМЕНЬ

Н. Н. Семененко, О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева

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

ВВЕДЕНИЕ

Зерно – важнейшее сырье для пищевой и технической промышленности, около 80 % объемов его производства используется в животноводстве в качестве концентрированных кормов. В настоящее время перед земледелием Беларуси поставлена задача – довести и стабилизировать ежегодные валовые сборы зерна на уровне 10 млн т. Проблема повышения урожайности и валовых сборов также актуальна и для ячменя – главной фуражной культуры, посевные площади которой составляют более 500 тыс. га. Аграрной наукой производству предложены новые сорта и технологии возделывания этой культуры. В то же время средняя урожайность зерна ячменя по Беларуси составляет около 34 ц/га. Важнейшим резервом увеличения урожайности и валовых сборов, снижения себестоимости производства зерна ячменя может быть совершенствование технологии его возделывания на основе, прежде всего, повышения эффективности использования удобрений и почвенных ресурсов.

Плодородие почв является основой устойчивого развития аграрного комплекса. Поэтому большое народнохозяйственное значение имеют поиски путей рационального использования почв, сохранения и повышения их плодородия. Согласно данным последнего тура агрохимических обследований установлено [1], что почвы Беларуси по содержанию гумуса, а значит и азота, подвижных соединений фосфора и калия по отдельным полям даже одного сельхозпредприятия различаются в 3–4 и более раз. Около 30 % обследуемой площади пашни занимают высококультурные земли, часть из которых содержит более 600 мг/кг почвы подвижных форм фосфатов и 400 калия, что значительно выше оптимального уровня. На отдельных полях встречаются почвы с низкими запасами доступных растениям соединений азота и содержанием фосфатов и калия выше оптимального уровня. В исследованиях с применением изотопных индикаторов [2–5] было показано, что для формирования урожайности сельскохозяйственные культуры поглощают элементы минерального питания из двух источников – почвы и вносимых удобрений пропорционально наличию их в почве в доступных растениям соединениях. Так, с применением изотопов фосфора P^{32} и азота – N^{15} установлено (Н. Н. Семененко, 1973, 1992, 2003), что доля участия фосфора и азота удобрений в общем выносе его урожаем изменяется от 60–50 % при очень низком и низком до 15–10 % при высоком содержании доступных растениям форм фосфора и потен-

циально усвояемого азота в почве. В зоне размещения животноводческих комплексов выявлены поля (участки), на которых содержание усвояемого азота в слое 0–40 см почвы превышает оптимальный (250–350 кг/га – песчаные и супесчаные на песках и 300–400 кг/га – суглинистые и супесчаные подстилаемые суглинком) или имеет экологически опасный уровень (более 350 и 400 кг/га соответственно), где применение азотных удобрений не требуется. Поэтому для более эффективного использования почвенных ресурсов и удобрений необходим дифференцированный подход в использовании последних на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур применительно для каждого поля.

Агрохимической наукой для определения доз удобрений на планируемую урожайность предложен ряд методов. Многие разработанные ранее расчетные методы, основанные на коэффициентах использования растениями питательных веществ из почвы и удобрений в связи с их высокой вариабельностью отличаются неточностью определения доз удобрений [6–8]. Рекомендации о дозах удобрений, основанные на экстраполяции данных полевых опытов с соответствующими поправками на свойства почв, также оказались мало приемлемы в современных условиях из-за отсутствия достаточно обоснованных поправок к таким дозам.

В Беларуси применение удобрений основывается на концепции расширенного воспроизводства плодородия почв [9–12]. В соответствии с которой одним из приемов повышения плодородия почв является применение более высоких доз фосфорных и калийных удобрений. Например, на почвах с содержанием элементов питания ниже оптимального уровня предлагается увеличивать дозы внесения фосфорных удобрений на 40–120, а калийных – 20–40 % сверх выноса (на 48–75 и 30–103 кг/га соответственно). Эффективность такой системы применения удобрений в предыдущий период была обусловлена низкими ценами на удобрения и энергоресурсы. К настоящему времени цены на удобрения выросли в несколько раз. Применение удобрений в дозах существенно превышающих вынос элементов питания с урожаем приводит к снижению их окупаемости, рентабельности использования и доступности растениям поглощенных фосфатов, ухудшению качества продукции и состава микроорганизмов почвы, потерям азота и калия. Поэтому в современных производственных условиях системы применения удобрений под зерновые культуры должны основываться на критериях экономической и экологической целесообразности, поддержания или умеренного повышения запасов элементов питания в почвах и улучшения качества продукции. Такой принцип использования удобрений в странах Западной Европы находит применение с конца 80-х годов прошлого века.

По мнению ученых ближнего и дальнего Зарубежья [13], а также благодаря результатам новых исследований, полученных в Беларуси, для расчета оптимальной дозы элемента питания удобрения на планируемую урожайность культуры наиболее перспективным считается использование метода возмещения выноса (регулируемого баланса). Сущность этого метода заключается в том, что вынос элементов питания планируемым урожаем компенсируется за счет удобрения с корректировкой на уровень содержания их в почве, используя для этого соответствующие коэффициенты возмещения выноса.

Для создания нормативной базы коэффициентов возмещения удобрениями выноса элементов питания урожаем сельскохозяйственных культур для суглинистых, супесчаных и песчаных почв разного уровня плодородия необходимо проведение серии полевых опытов с широким диапазоном вариантов систем удобрения. Особую актуальность разработка нормативов возмещения выноса элементов питания урожаем имеет для почв с высоким потенциальным плодородием, имеющих близкие к оптимальным значения агрохимических, агрофизических и агробиологических свойств. Такие почвы способны обеспечить формирование высокого уровня урожайности и качества продукции практически всех сельскохозяйственных культур при более низких затратах минеральных удобрений. Поэтому разработка приемов более эффективного использования таких почв, обеспечивающих их высокую продуктивность и дальнейшее сохранение плодородия, а также повышение окупаемости удобрений является новой и актуальной.

Цель исследований – выявить наиболее эффективные варианты систем удобрения по действию на урожайность, вынос и коэффициенты возмещения выноса основных элементов питания для ярового ячменя, возделываемого на дерново-подзолистых легкосуглинистых, высокообеспеченных фосфатами и калием почвах; установить роль удобрений в повышении устойчивости ячменя к неблагоприятным погодным условиям вегетации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные полевые исследования проводились в стационарном опыте РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в ОАО «Гастелловское» Минского района в 2015–2017 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в севообороте: вико-рапсовая смесь – кукуруза на зеленую массу – яровая пшеница – яровой ячмень – яровой рапс – озимая пшеница. Соломистый навоз вносился под кукурузу. Агрохимические показатели ($A_{\text{пах.}}$) почвы опытного участка: рН – 6,3, содержание гумуса – 2,3 %, подвижных форм фосфатов – 652 и калия – 366 мг/кг почвы, Нусв. (слой 0–40 см.) – 115 кг/га. Содержание в почве подвижных форм фосфатов и калия определяли по Кирсанову в 0,2 М HCl [14], а Нусв. – по методу Н. Н. Семененко и др. [15]. Почва характеризуется оптимальным для сельскохозяйственных культур уровнем кислотности, средним содержанием гумуса, низкой обеспеченностью доступными растениям соединениями азота, высокой – калия и очень высокой – фосфора. Это указывает на сильную разбалансированность содержащихся в почве элементов и необходимость создания за счет удобрений оптимального режима минерального питания растений ячменя. Дисперсионный анализ экспериментальных данных выполнен по методу Б. А. Доспехова [16] с использованием программы MS Excel.

Агротехника возделывания ячменя – рекомендованная для Центральной зоны на суглинистых почвах. Сорт ячменя – Стратус, элита, норма высева – 230 кг/га. Схема опыта и дозы удобрений представлены в табл. 1. Минеральные удобрения – мочевины, аммонизированный суперфосфат (N – 8 %, P_2O_5 – 33 %) и хлористый калий применяли в основное внесение, кроме того, мочевины – в подкормку согласно схеме опыта. Общая площадь делянки – 36 м².

При определении норматива удельного выноса (Нуд. в.) элементов питания с одной тонной продукции (кг/т) использовалась следующая информация: урожай-

ность основной и побочной продукции, содержание сухого вещества и элементов питания в ней. Норматив удельного выноса элементов питания определялся по формуле

$$N_{\text{уд.в.}} = \frac{[(Y_{\text{см1}} \cdot C_1) + (Y_{\text{см2}} \cdot C_2)]}{Y_0}, \quad (1)$$

где $N_{\text{уд.в.}}$ – норматив удельного выноса элементов питания, кг/т; $Y_{\text{см1}}$ и $Y_{\text{см2}}$ – вес сухой массы основной и побочной продукции, т; C_1 и C_2 – содержание элементов питания в основной и побочной продукции, %; В числителе – $[(Y_{\text{см1}} \times C_1) + (Y_{\text{см2}} \times C_2)]$ – хозяйственный вынос элементов питания, кг/га; Y_0 – урожайность основной продукции при стандартной влажности, т/га.

Коэффициент возмещения выноса (K_v) представляет собой соотношение внесённого удобрения к его выносу урожаем культуры. K_v , выраженный в процентах, т.е. умноженный на 100, в агрохимической литературе трактуется как интенсивность баланса. В каждом конкретном случае коэффициент возмещения выноса рассчитывается по формуле

$$K_v = D_{\text{ф}}/B_{\text{ф}}, \quad (2)$$

где $D_{\text{ф}}$ – годовая доза фактически внесённого в оптимальном варианте системы удобрения опыта элемента питания под полученную урожайность, кг/га; $B_{\text{ф}}$ – фактический вынос данного элемента урожаем основной и побочной продукции, кг/га.

Метеорологические условия вегетационных периодов 2015–2017 гг. исследований различались по температурному режиму и количеству осадков, что оказало неоднозначное влияние на рост и развитие растений и формирование урожайности ячменя (табл. 1). Погодные условия вегетационного периода 2015 г. отличались от среднемноголетних показателей. Но при этом достаточное количество осадков и оптимальный температурный режим в апреле и мае благоприятно повлияли на закладку и развитие вегетативных и генеративных органов растений. Некоторый недостаток влаги и повышенные температуры в июне и августе не оказали значительного негативного влияния на формирование урожайности зерна ячменя. Вегетационный период 2016 г. по погодным условиям отличался повышенной температурой воздуха в течение всей вегетации ячменя (на 1,9–4,5 °C выше среднемноголетнего) и недостатком осадков в мае и июне (31 % от среднемноголетнего). Такие гидротермические условия негативно сказались на кущении, закладке колосков в колосе и цветков в колосках. Только обильные июльские дожди обеспечили хороший налив и формирование крупного зерна. В течение всего периода роста и развития ячменя вегетационный период 2017 г. характеризовался температурой воздуха близкой к среднемноголетним показателям. Однако осадки в течение периода вегетации растений выпадали крайне неравномерно: в апреле и июле осадков выпало почти в 2 раза больше, а в мае (2–3 декады) и июне (1 декада) – только 23 % от среднемноголетних значений. В целом же сумма осадков (381 мм), выпавших за вегетационный период 2017 г. в Минском районе, превышала среднемноголетний показатель на 11 %, что также не способствовало хорошему формированию урожайности.

Метеорологические показатели наблюдений за вегетационные периоды 2015–2017 гг.

Показатель	Годы	Апрель		Май			Июнь			Июль			Август			Сумма за вегетацию
		декады		декады			декады			декады			декады			
		2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Осадки, мм	2015	18	20	34	6	27	0	23	2	23	28	2	3	0,1	2	188,1
	2016	23	12	8	7	30	4	49	1	40	78	31	5	28	6	322
	2017	22	44	21	4	4	8	17	28	17	27	106	21	12	50	381
	Сред. мн.	14	15	17	19	22	28	29	29	29	29	32	28	25	27	343
Температура, °С	2015	7,0	11,0	12,0	11,0	15,4	18,2	17,6	16,4	21,1	16,6	18,1	22,8	19,5	19,9	226,6
	2016	9,3	7,2	14,7	13,4	18,0	15,9	17,0	22,1	18,6	18,7	21,1	20,8	16,3	19,3	232,4
	2017	3,7	5,5	9,5	12,3	17,1	14,5	17,5	17,1	15,6	17,3	19,8	20,5	22,3	14,2	206,9
	Сред. мн.	7,3	9,6	11,7	13,4	14,7	15,6	16,4	17,2	18,0	18,6	18,8	18,6	17,8	16,1	213,8

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что за счет эффективного плодородия почвы средняя за три года урожайность ячменя составила 35 ц/га. Последствие навоза способствовало получению дополнительных 4,1 ц/га зерна, что составляет прирост 11 % в сравнении с вариантом без внесения удобрений, при окупаемости 1 т навоза 6,8 кг зерна ячменя. В зависимости от системы удобрения в среднем за три года урожайность зерна ячменя по вариантам опыта варьировала в пределах от 39,1 до 63,6 ц/га.

При этом наиболее высокий её уровень достигнут при комплексном применении азотных, в дозе N_{90+30} , на фоне последствие навоза, внесения фосфорных, калийных и микроудобрений. Максимальная прибавка от внесения удобрений составила 28,6 ц/га, или 82 % к контролю. Из минеральных удобрений по действию на урожайность зерна ячменя наиболее эффективным оказалось применение азотных. При внесении дозы азота N_{60+30} прибавка урожайности зерна составила в среднем 17,5 ц/га при окупаемости 1 кг азота 19,4 кг зерна. Внесение рекомендуемых для исследуемых почв доз фосфорных и калийных удобрений $P_{20}K_{45}$ обеспечило получение прибавки урожайности зерна 2,9 ц/га при окупаемости 1 кг РК 4,5 кг зерна. Повышение доз этих видов удобрений в два раза до $P_{40}K_{90}$ оказалось неэффективным приемом, дополнительная прибавка урожайности зерна составила только 0,8 ц/га. По результатам полевых трехлетних исследований так же установлено, что применение микроудобрений не оказало значимого влияния на повышение урожайности зерна ячменя, отразив лишь тенденцию его увеличения (0,8–1 ц/га).

Известно, что на формирование урожайности, наряду с минеральным питанием, большое влияние оказывают водный и температурный режимы почв и воздуха в течение вегетации растений. Климатическая зона Беларуси характеризуется неустойчивыми по годам в период вегетации сельскохозяйственных культур гидротермическими условиями. Поэтому особо следует остановиться на влиянии погодных условий на формирование урожайности ячменя и эффективности применения удобрений на высокоокультуренных суглинистых почвах.

Таблица 2

Влияние систем удобрений и погодных условий на урожайность зерна ячменя

Вариант	Урожайность, ц/га				Прибавка, ц/га				Окупаемость, кг зерна		
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	среднее	конт-ролю	от N	от РК	от навоза	1 кг N	1 кг РК	1 т навоза
Без удобрений (контроль)	48,2	22,6	34,0	35,0	—	—	—	—	—	—	—
П.н.* – Фон 1	55,9	25,7	35,7	39,1	4,1	—	—	4,1	—	—	6,8
Фон 1 + N ₆₀	64,0	38,2	51,0	51,1	16,1	12,0	—	—	20,0	—	—
Фон 1 + N ₆₀₊₃₀	69,6	43,9	56,2	56,6	21,6	17,5	—	—	19,4	—	—
Фон 1 + N ₆₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	67,3	48,1	56,7	57,4	22,4	—	—	—	—	—	—
Фон 1 + N ₉₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	70,7	50,4	57,5	59,5	24,5	—	—	—	—	—	—
П.н.* + P ₂₀ K ₄₅ – Фон 2	56,3	29,4	40,4	42,0	7,0	—	2,9	—	—	4,5	—
Фон 2 + N ₆₀	65,1	45,2	55,0	55,1	20,1	13,1	—	—	21,8	—	—
Фон 2 + N ₆₀₊₃₀	70,0	47,5	60,6	59,4	24,4	17,4	—	—	19,3	—	—
Фон 2 + N ₆₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	66,3	51,2	60,8	59,4	24,4	—	—	—	—	—	—
Фон 2 + N ₉₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	72,3	52,7	65,8	63,6	28,6	—	—	—	—	—	—
П.н.* + P ₄₀ K ₉₀ – Фон 3	57,0	29,6	41,9	42,8	7,8	—	3,7	—	—	2,8	—
Фон 3 + N ₆₀	65,2	45,9	55,7	55,6	20,6	12,8	—	—	21,3	—	—
Фон 3 + N ₆₀₊₃₀	67,6	50,6	63,1	60,4	25,4	17,6	—	—	19,6	—	—
Фон 3 + N ₆₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	67,2	52,8	64,2	61,4	26,4	—	—	—	—	—	—
Фон 3 + N ₉₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	69,8	53,4	67,2	63,5	28,5	—	—	—	—	—	—
НСР ₀₅	2,8	2,7	2,8	2,6	—	—	—	—	—	—	—

П.н.* – 2-й год последствия 60 т/га соломистого навоза.

Для характеристики водного и теплового режимов в период вегетации растений пользуются данными отклонений фактического состояния от среднееголетних показателей осадков и температуры воздуха. Приведенные в табл. 3 данные показывают, что как недостаток, так и избыток влаги и тепла в отдельные периоды вегетации, в сравнении с многолетними данными, негативно сказались на урожайности ячменя. За счет почвенного плодородия по годам исследования она колебалась в пределах от 48,2 (более благоприятные) до 22,6 ц/га (относительно менее благоприятные погодные условия).

Таблица 3

Участие почвы и удобрений в формировании урожайности ячменя при различных погодных условиях вегетации растений

Факторы	Годы					
	2015		2016		2017	
	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
Почва	48,2	67	22,6	43	34,0	52
Последствие навоза	7,7	10,5	3,1	6	1,7	2
РК – удобрения	0,4	0,5	3,7	7	4,7	7
N – удобрения	16,0	22	23,3	44	25,4	39
Урожайность, ц/га	72,3	100	52,7	100	65,8	100

Только за счет погодных условий урожайность ячменя в 2016 году снизилась в сравнении с 2015 более чем в 2 раза. Коэффициент вариации урожайности за три года исследований составляет 38 %, что характеризует совокупность данных по урожайности как неоднородную. При применении же оптимальной системы удобрений, включающей внесение $N_{90+30}P_{20}K_{45} + Cu_{50} + Mn_{50}$ на фоне второго года последствие 60 т/га навоза, урожайность ячменя по годам исследования также колебалась, но на более высоком уровне: от 72,3 (более благоприятные) до 52,7 ц/га (относительно менее благоприятные погодные условия). При средней за три года 63,6 ц/га коэффициент вариации урожайности составляет 16 % (степень рассеивания данных средняя) и в 2,3 раза ниже, чем в варианте без удобрений. Это указывает на то, что внесение оптимальных доз удобрений способствует существенному снижению негативного влияния погодных условий и стабилизации урожайности и валовых сборов зерна.

Научный и практический интерес представляют результаты анализа влияния отдельных факторов на формирование урожайности ячменя при изменяющихся погодных условиях. На примере оптимального варианта системы удобрения (приведена выше) рассмотрим влияние отдельных факторов (почва, последствие навоза, фосфорные, калийные, азотные удобрения) на урожайность в зависимости от погодных условий вегетации ячменя. При более благоприятных гидротермических условиях апреля и мая 2015 года доля участия почвы в формировании урожайности достигает 67 и последствие навоза – 10,5 %. Прибавка урожайности от фосфорных и калийных удобрений составляет 0,4 ц/га (0,5 % от общей), т.е. незначительная. Более высокая прибавка (16,0 ц/га и 20,0 % соответственно) – от азотных. В то же время при неблагоприятных погодных условиях 2016 года (сильный недостаток влаги в мае и июне) доля участия почвы в формировании урожайности ячменя снижается до 43 %, или в 1,4 раза, возрастает роль фос-

форных и калийных до 7 и особенно азотных удобрений – до 44 % от общей. Таким образом, даже на высококультуренной суглинистой почве при недостатке влаги долевое участие почвы, а также последствие навоза в формировании урожайности снижается почти на 30 %. В таких условиях в два раза возрастает роль минеральных (всего 51 %), особенно азотных удобрений. Это имеет важное практическое значение. Относительно высокое влияние азотных удобрений на формирование урожайности ячменя в целом ожидаемое, т. к. исследуемая почва характеризуется низким содержанием потенциально усвояемых соединений азота. Вероятно, при недостатке влаги значительно снижается доступность растениям соединений фосфатов и калия почвы, что обуславливает достоверную эффективность действия фосфорных и калийных удобрений.

Вынос элементов питания урожаем ячменя и его возмещение за счет применения удобрений. В интенсивных системах земледелия ставится задача получать не только высокие и устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур хорошего качества, но и создавать условия для расширенного воспроизводства плодородия почв. Для обоснования более эффективных уровней применения удобрений и целенаправленного регулирования почвенного плодородия в настоящее время используется балансовый метод определения оптимальных доз минеральных удобрений. Основан он на количественных нормативах удельного (кг на тонну основной продукции с учетом побочной) и хозяйственного (кг/га) выноса элементов питания с урожаем и их возмещения. Поэтому для более объективной оценки эффективности исследуемых систем удобрения и погодных условий наряду с урожайностью ячменя в опыте изучалось также их влияние на хозяйственный и удельный вынос и коэффициенты возмещения элементов питания по вариантам опыта. Обобщенные результаты этих исследований представлены в табл. 4, 5.

Установлено (табл. 4), что уровень хозяйственного выноса основных элементов питания зависел от применяемых систем удобрения, погодных условий вегетационных периодов, урожайности зерна и соломы ячменя. Яровой ячмень накапливал больше азота и калия и меньше фосфора. На дерново-подзолистой суглинистой почве солоmistый навоз второго года последствие оказал положительное влияние на хозяйственный вынос элементов питания. В среднем за 3 года в сравнении с контролем по азоту он увеличился на 17, по фосфору – на 15 и калию – на 12 %. Дополнительное внесение минеральных удобрений увеличило общий вынос азота до 54,7–111,1; фосфора – 42,4–70,8 и калия – 69,9–132,8 кг/га. За 3 года исследований в варианте с максимальной урожайностью зерна ячменя (63,6 ц/га) среднегодовой хозяйственный вынос азота составил 111,1; фосфора – 64,5 и калия – 121,9 кг/га.

В рекомендациях производству для расчета доз удобрений на планируемую урожайность используют данные усредненных нормативов удельного выноса элементов питания с основной и побочной продукцией (кг/т). В нашем опыте в среднем за три года в зависимости от системы удобрения удельный вынос азота изменялся от 13,6 до 17,7; фосфора – 10,1–11,3 и калия – 12,4–20,3 кг/т. При системе удобрения, обеспечивающей получение максимальной урожайности зерна ячменя (63,6 ц/га), удельный вынос основной и соответствующей количеством побочной продукции в среднем составил: азота – 17,7; фосфора – 10,2 и калия – 18,5 кг/т.

Таблица 4

Влияние систем удобрения на вынос и коэффициент возмещения элементов питания ячменем (среднее за 2015–2017 гг.)

Вариант	Урожай- ность зерна, ц/га	Вынос с урожаем, кг/га			Удельный вынос, кг/т			Коэффициент возмещения		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без удобрений (контроль)	35,0	44,3	34,7	45,4	13,1	10,1	12,6	–	–	–
П.н.* – ФОН 1	39,1	52,0	40,2	50,3	13,6	10,4	12,4	–	–	–
ФОН 1 + N ₆₀	51,1	72,9	54,2	71,5	14,5	10,7	13,6	0,8	–	–
ФОН 1 + N ₆₀₊₃₀	56,6	92,7	60,7	81,4	16,7	10,8	14,0	1,0	–	–
ФОН 1 + N ₆₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	57,4	95,7	62,4	86,5	16,9	10,9	14,6	0,9	–	–
ФОН 1 + N ₉₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	59,5	105,4	62,9	95,2	17,9	10,6	15,5	1,1	–	–
П.н.* + P₂₀K₄₅ – ФОН 2	42,0	54,7	42,4	69,9	13,1	10,1	15,4	–	0,4	0,6
ФОН 2 + N ₆₀	55,1	80,2	57,5	85,6	14,7	10,5	14,8	0,8	0,4	0,5
ФОН 2 + N ₆₀₊₃₀	59,4	92,7	62,6	102,0	15,9	10,6	16,4	1,0	0,3	0,4
ФОН 2 + N ₆₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	59,4	98,7	62,1	111,5	16,8	10,4	18,1	0,9	0,3	0,4
ФОН 2 + N₉₀₊₃₀ + Cu₅₀ + Mn₅₀	63,6	111,1	64,5	121,9	17,7	10,2	18,5	1,1	0,3	0,4
П.н.* + P ₄₀ K ₉₀ – ФОН 3	42,8	56,3	44,4	75,0	13,3	10,4	16,0	–	0,9	1,2
ФОН 3 + N ₆₀	55,6	80,1	58,3	103,0	14,5	10,5	17,5	0,8	0,7	0,9
ФОН 3 + N ₆₀₊₃₀	60,4	97,7	63,3	116,5	16,3	10,5	18,5	0,9	0,6	0,8
ФОН 3 + N ₆₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	61,4	101,5	65,8	121,1	16,7	10,8	19,1	0,9	0,6	0,7
ФОН 3 + N₉₀₊₃₀ + Cu₅₀ + Mn₅₀	63,5	109,8	70,8	132,8	17,5	11,3	20,3	1,1	0,6	0,7
НСР ₀₅	2,6	–								

П.н. – 2-й год последствия 60 т/га соломистого навоза.

Таблица 5

Влияние системы удобрения и погодных условий вегетации ячменя на варьирование выноса элементов питания урожаем и коэффициентов их возмещения (Кв.)

Вариант опыта	Показатель	Вынос с урожаем, кг/га				Удельный вынос, кг /т			
		2015 г.	2016 г.	2017 г.	CV, %	2015 г.	2016 г.	2017 г.	CV, %
Без удобрений (контроль)	Азот	54,6	31,2	45,6	27	11,3	14,5	13,4	12
	P ₂ O ₅	44,7	23,7	35,6	30	9,3	10,5	10,5	7
	K ₂ O	64,3	23,6	48,2	45	13,3	10,4	14,2	16
N ₉₀₊₃₀ + P ₂₀ K ₄₅ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀ *)	Азот	121,9	105,0	106,2	9	16,9	19,9	16,1	10
	Кв.	0,98	1,14	1,13	8	–	–	–	–
	P ₂ O ₅	75,9	56,8	60,7	16	10,5	10,8	9,2	8
	Кв.	0,26	0,35	0,33	12	–	–	–	–
	K ₂ O	260,1	69,3	96,2	73	27,7	13,2	14,6	43
	Кв.	0,17	0,65	0,47	56	–	–	–	–

*) – на фоне 2-й год последствия 60 т/га соломистого навоза.

На основании полученных данных хозяйственного выноса рассчитаны коэффициенты возмещения основных элементов питания в зависимости от применяемой системы удобрения. Установлено, что при возделывании ярового ячменя на дерново-подзолистой суглинистой почве при урожайности 59,4–63,6 ц/га зерна коэффициенты возмещения выноса азота составили 0,9–1,1, фосфора – 0,3–0,6 и калия – 0,4–0,7. Как было показано выше, применение более высоких доз фосфорных и калийных удобрений (фон 3) не способствует повышению урожайности зерна, но сопровождается дополнительными затратами. Внесение же в почву с очень высоким содержанием подвижных соединений фосфора и калия, дополнительно P₂₀K₄₅, для повышения плодородия лишено всякого смысла. Поэтому считаем, что для исследуемых почв обоснованными оптимальными коэффициентами возмещения удобрениями выноса элементов питания урожаем будут следующие: N – 1,1; P₂O₅ – 0,3 и K₂O – 0,4.

Качество и ценность методов определения доз удобрений на планируемую урожайность зависит от надежности используемых нормативов. Известно, что нормативы удельного выноса и коэффициенты возмещения удобрениями выноса элементов питания урожаем культуры (Кв) являются основой нового метода расчета доз минеральных удобрений на планируемую урожайность и, в сравнении с другими показателями, характеризуются как более надежные. Например, коэффициент вариации нормативов удельного выноса элементов питания в 2,5–3 и более раз ниже, чем вариабельность коэффициентов их использования из почвы и удобрений. Однако вопрос сравнительной вариации и устойчивости данных хозяйственного и удельного выноса элементов питания и коэффициентов их возмещения в зависимости от погодных условий вегетации с зерновыми культурами на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах с повышенным содержанием гумуса, высоким – фосфора и калия и низким азота не изучался.

Приведенные в табл. 5 результаты исследований показывают, что, как и по урожайности ячменя, варьирование данных хозяйственного выноса азота и фосфора в варианте без внесения удобрений достигают значительных величин – CV равен 27

и 30 % соответственно. Применение оптимальной системы удобрения способствует снижению (в сравнении с контролем) варьирования данных хозяйственного выноса элементов питания в 3 раза по азоту (степень рассеивания данных незначительная) и почти в 2 – по фосфору (степень рассеивания данных средняя). Варьирование по годам показателей удельного выноса элементов питания незначительное, ниже хозяйственного, особенно в варианте без внесения удобрений. При применении оптимальной системы удобрения отмечается достаточно низкое по годам варьирование данных коэффициентов возмещения удобрениями выноса урожая ячменя азота – 8 (устойчивое состояние) и фосфора – 12 % (средняя устойчивость).

Следует отметить, что в связи со значительными колебаниями урожайности соломы ячменя (различия составляют более 3 раз) по годам исследований коэффициент варьирования данных хозяйственного и удельного выноса и коэффициент возмещения выноса урожая калия составляет более 30 %, т.е. разброс данных очень большой (совокупность неоднородная).

ВЫВОДЫ

1. Уровень урожайности ячменя на исследуемых почвах зависел от применяемых систем удобрения и погодных условий вегетации. В среднем за три года наиболее высокий уровень урожайности ячменя (63,6 ц/га) получен при комплексном применении азотных в дозе N_{90+30} (основное и в подкормку) на фоне последнего действия навоза (60 т/га), внесения фосфорных, калийных и микроудобрений. Максимальная прибавка от внесения удобрений составила 28,6 ц/га, или 82 % к контролю.

2. Из минеральных удобрений по действию на урожайность зерна ячменя наиболее эффективным оказалось применение азотных: внесение N_{60+30} повышало урожайность в среднем на 17,5 ц/га при окупаемости 1 кг азота 19,4 кг зерна. Выявлена оптимальная для исследуемых почв доза внесения фосфорных и калийных удобрений – $P_{20}K_{45}$, которая обеспечила получение достоверной прибавки урожайности – 2,9 ц/га при окупаемости 1 кг РК 4,5 кг зерна. Применение микроудобрений не оказало значимого влияния на повышение урожайности зерна ячменя, отразив лишь тенденцию его увеличения (0,8–1 ц/га).

3. Применение оптимальной системы удобрения, включающей внесение $N_{90+30}P_{20}K_{45} + Cu_{50} + Mn_{50}$ на фоне последнего действия 60 т/га навоза, способствует существенному снижению негативного влияния погодных условий и стабилизации урожайности по годам. При средней за три года 63,6 ц/га (колебания от 72,3 до 52,7) коэффициент вариации урожайности составил 16 % (степень рассеивания данных средняя), что в 2,3 раза ниже, чем в варианте без удобрений.

4. При неблагоприятных погодных условиях (2016 г.) доля участия почвы в формировании урожайности ячменя снижается с 67 (относительно благоприятные условия) до 43 %, или в 1,4 раза, возрастает роль фосфорных и калийных до 7 и особенно азотных удобрений – до 44 % от общей. В таких условиях в два раза возрастает роль минеральных (всего 51 %), особенно азотных удобрений, что имеет важное практическое значение.

5. При системе удобрения, обеспечивающей получение максимальной урожайности зерна ячменя (63,6 ц/га) среднегодовой хозяйственный вынос азота составил 111,1; фосфора – 64,5 и калия – 121,9 кг/га. Удельный вынос азота составил

в среднем 17,7; фосфора – 10,2 и калия – 18,5 кг/т основной с соответствующим количеством побочной продукции.

Для исследуемых почв оптимальными коэффициентами возмещения выноса элементов питания урожаем удобрениями являются: N – 1,1; P₂O₅ – 0,3 и K₂O – 0,4.

6. Применение оптимальной системы удобрения способствует снижению (в сравнении с контролем) варьирования данных хозяйственного выноса элементов питания в 3 раза по азоту и почти в 2 – по фосфору. Варьирование по годам показателей удельного выноса элементов питания незначительное, ниже хозяйственного. Отмечается достаточно низкое по годам варьирование данных коэффициентов возмещения удобрениями выноса урожаем ячменя: азота – 8 и фосфора – 12 %. Более высокое варьирование данных по калию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

2. *Иванов, С. Н.* Физико-химический режим фосфатов торфов и дерново-подзолистых почв. Госиздат с.-х. литературы БССР / С. Н. Иванов. – Минск, 1962. – 251 с.

3. *Семененко, Н. Н.* Фосфорный режим торфяно-болотных почв и фосфорное питание картофеля: автореф. ... дис. канд. с.-х. наук / Н. Н. Семененко; Ин-т земледелия. – Жодино, 1973. – 27 с.

4. *Семененко, Н. Н.* Азотный режим дерново-подзолистых почв и рациональное применение азотных удобрений: автореф. дис. ... доктора с.-х. наук / Н. Н. Семененко. – Минск, 1992. – 48 с.

5. *Семененко, Н. Н.* Адаптивные системы применения азотных удобрений / Н. Н. Семененко. – Минск: Бел. изд. тов.-во. «Хата», 2003, – 163 с.

6. *Михайлов, Н. Н.* Определение потребности растений в удобрениях / Н. Н. Михайлов, В. П. Книпер. – М.: Колос, 1971. – 226 с.

7. *Афендулов, К. П.* Удобрения под планируемый урожай / К. П. Афендулов. – М.: Колос, 1973. – 240 с.

8. *Каюмов, М. К.* Программирование продуктивности полевых культур: справочник / М. К. Каюмов. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 31 с.

9. *Кулаковская, Т. Н.* Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т. Н. Кулаковская. – Минск: Ураджай, 1978. – 328 с.

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

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

12. Рекомендации по применению известковых, фосфорных и калийных удобрений, обеспечивающих воспроизводство плодородия, улучшение агрохимических и биологических свойств пахотных и луговых почв по группам административных районов Беларуси / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2014. – 26 с.

13. *Литвак, Ш. И.* Системный подход к агрохимическим исследованиям / Ш. И. Литвак. – М.: Агропромиздат, 1990. – 220 с.

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

15. *Семененко, Н. Н.* Почвы. Метод определения потенциально усвояемого азота. РСТ Беларуси 908 – 91 / Н. Н. Семененко [и др.]. – Минск: Минсельхозпрод РБ, 1991. – 13 с.

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

PRODUCTIVITY, REMOVAL AND BATTERY REMOVAL FACTORS, DEPENDING ON WEATHER CONDITIONS AND THE FERTILIZER SYSTEM USED FOR SPRING BARLEY

N. N. Semenenko, O. G. Kulesh, E. G. Mezentseva

Summary

The article presents the results of studies assessing the impact of fertilizer systems, weather and soil conditions on yields, carrying and compensation factors for the removal of nutrients by spring barley on sod-podzolic light loamy highly rich mobile forms of phosphorus and potassium. The optimal fertilizer system is the complex application of nitrogen at a dose of N_{90+30} (main and additional feeding), $P_{20}K_{45}$ against the background of manure (60 t/ha), which provides an increase of 28,6 t/ha or 82 % of control, contributes to stabilization yield by years (CV = 16 %). Under adverse weather conditions in the formation of barley yields, the participation of fertilizers increases (up to 51, of which nitrogen is up to 44 %). With an optimal fertilizer system, the specific nitrogen removal rate averaged 17,7; phosphorus – 10,2 and potassium – 18,5 kg/ton of basic with the corresponding amount of by-products. For the studied soils, the optimal recovery factors for the removal of nutrients by the crop of fertilizers are: N – 1,1; P_2O_5 – 0,3 and K_2O – 0,4.

Поступила 11.05.19

ВЛИЯНИЕ НОВЫХ ФОРМ ЖИДКИХ И ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЗЛАКОВЫХ, БОБОВО-ЗЛАКОВЫХ ТРАВΟΣМЕСЕЙ И ЛЮЦЕРНЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

**Г. В. Пироговская¹, С. С. Хмелевский¹, В. И. Сороко¹, И. Н. Хатулев²,
О. И. Исаева¹, И. Н. Шкаленко¹, Ю. А. Артюх¹,
А. Г. Ганусевич³, О. А. Белоус³**

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

²Витебская ОПИСХ, г. Витебск, Беларусь

*³Гродненский государственный аграрный университет,
г. Гродно, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности кормопроизводства в Республике Беларусь невозможно без научно-обоснованного применения минеральных удобрений, оптимизации посевных площадей, расширения посевов бобовых и бобово-злаковых травосмесей, обеспечивающих сбалансированность кормов белком, повышения урожайности и качества многолетних трав. Удельный вес бобовых и других белковых культур в наборе трав должен составлять не менее 50 %. Известно, что увеличение в травостое бобовых на 1 % повышает его продуктивность на 50–80 к.ед.

Согласно ГОСТ 23638-90 для получения высокого качества кормов многолетние злаковые травосмеси должны убираться в конце фазы выхода в трубку – начало колошения, многолетние бобово-злаковые травосмеси – в фазу восковой спелости семян бобовых в двух-трех нижних ярусах, многолетние бобовые травы – в фазе бутонизации, но не позднее начала цветения [1].

Важным критерием оценки качества кормов (сено) является содержание протеина, клетчатки, золы, жира, сахара, БЭВ. Сено бобово-злаковых трав, предназначенное для дойных коров, должно иметь следующие показатели: сырого протеина – в пределах 11 % (первый класс), 9 (второй класс) и 7 % (третий класс) соответственно, клетчатки – 27, 29, 32 %, каротина – 25, 20,15 мг/кг, золы – 6–8 % [2].

Оценкой качества кормов занимались многие отечественные и зарубежные исследователи [3–17]. Ими доказано, что для получения кормов хорошего качества из многолетних травосмесей до настоящего времени окончательно не решены вопросы эффективного применения органических и разных доз и форм минеральных удобрений. Нет также единого мнения среди исследователей о получении стабильных и высоких урожаев многолетних злаковых, бобово-злаковых травосмесей и бобовых (люцерна) трав на рыхлосупесчаных и песчаных почвах, на которых они также возделываются.

Люцерна является одной из наиболее значимых кормовых культур, обладает рядом ценных хозяйственно-биологических признаков и свойств, в числе которых долгодетие, многоукосность, зимостойкость, способность к формированию высоких урожаев кормов с высоким содержанием белка и сбалансированным аминокислотным составом, отличается высокой поедаемостью всеми видами скота и птицы. Наряду с использованием люцерны на корма, она имеет и огромное экологическое значение со средообразующими, фитомелиоративными, фитосанитарными и симбиотическими эффектами, что важно для стабильного развития сельского хозяйства. Люцерна способна усваивать свободный азот воздуха и поэтому под нее азотные удобрения, как правило, не вносятся. Однако при недостатке подвижных форм азота в почве, отсутствии клубеньков на корнях и повышении потребности в них растений люцерны в период формирования генеративных органов применение азотных удобрений – мера вынужденная. Люцерна отличается повышенным потреблением фосфора и высокой отзывчивостью на внесение фосфорных удобрений.

Согласно ежегодно проводимой в республике инвентаризации травяного поля, посевы люцерны на 2016 г. в полевом травосеянии составляли 170 тыс. га. Ставится задача расширить площади возделывания люцерны и бобово-злаковых травосмесей с ее участием до 286 тыс. га.

Одной из актуальных задач в кормопроизводстве является повышение продуктивности многолетних травосмесей на почвах разного гранулометрического состава и улучшение их качества, в частности зоотехнического состава, за счет усовершенствования системы удобрения, что и явилось целью наших исследований.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению влияния разных форм минеральных удобрений (новых форм азотных, комплексных удобрений с добавками микроэлементов, жидких азотно-калийных и стандартных туков) проводили в период 2010–2016 гг. при возделывании многолетних злаковых, бобово-злаковых травосмесей и люцерны на следующих почвах:

– на *дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,5 м рыхлым песком* (2014–2016 гг.) в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области (почва 1). Общий размер деланки – 24 м², повторность вариантов – 4-кратная, предшественником перед закладкой опытов с многолетними травами был люпин узколистый (2013 г.);

– на *дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощных лессовидных суглинках* (2014–2016 гг.) в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области (почва 2). Общий размер деланки – 27 м², повторность вариантов – 3-кратная, предшественник – кукуруза (2013 г.);

– на *дерново-подзолисто-глеевой осушенной почве, развивающейся на легком суглинке, подстилаемом с глубины 0,3–0,8 м моренными отложениями* (2010–2012 гг.) в экспериментальной базе РУП «Витебский зональный институт сельского хозяйства НАН Беларуси» (п. Тулово, Витебского района, Витебской области) (почва 3). Общий размер деланки – 30 м², повторность вариантов – 4-кратная, предшественник – кукуруза (2009 г.).

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почв (0–25 см) перед закладкой опытов с многолетними травами на изучаемых почвах была следующая:

– на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (почва 1): pH_{KCl} – 5,21, содержание гумуса – 2,52 %, P_2O_5 – 215 и K_2O – 212 мг/кг почвы, Ca – 563 и Mg – 76 мг/кг почвы, подвижной Cu – 2,1 и Zn – 2,8 мг/кг почвы;

– на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (почва 2): pH_{KCl} – 5,13, содержание гумуса – 1,92 %, P_2O_5 – 471 и K_2O – 314 мг/кг почвы, Ca – 1104, Mg – 92, $N-NO_3$ – 14,6 мг/кг почвы; содержание B – 0,68 мг/кг почвы, подвижной Cu – 2,8, Zn – 3,3 и Mn – 2,7 мг/кг почвы;

– на дерново-подзолисто-глеевой легкосуглинистой (почва 3): pH_{KCl} – 5,95, содержание гумуса – 3,02 %, P_2O_5 – 220 и K_2O – 171 мг/кг почвы, содержание B – 0,73 мг/кг почвы, подвижной Cu – 3,80, Zn – 3,97 мг/кг почвы.

В качестве минеральных удобрений для основного внесения в почву (трав первого-третьего года) под первый укос применяли: в базовых вариантах – стандартные туки (карбамид, КАС, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) или комплексные удобрения без микроэлементов; испытываемые удобрения – новые формы комплексных (NPK) удобрений с микроэлементами (B, Cu, Mn, Mo, Zn – по отдельности и в различных сочетаниях) и жидкие азотно-калийные удобрения (NK = 10–12 – состав 1 и NK = 12–12 – состав 2). Под второй укос применяли: азотные (карбамид, сульфат аммония), азотно-калийные (NK) и калийные (KCl) удобрения.

В качестве органических удобрений использовали торфонавозные компосты (ТНК), которые вносили в дозе 30 т/га под покровную культуру при залужении. Характеристика компоста следующая: влажность – 74 %, содержание азота общего – 0,51 %, P_2O_5 – 0,18, K_2O – 0,43, CaO – 0,37, MgO – 0,72 % (на естественную влажность).

Состав травосмесей:

– на почве 1 (2014–2016 гг.), злаковая травосмесь: тимофеевка луговая Волна (4 кг, или 8,0 млн/га), овсяница луговая Зорка (6 кг, или 3,0 млн/га), фестулолиум морфотипа овсяницы Пуня (6,0 кг, или 2,0 млн/га), вес смеси – 16 кг (13 млн/га); бобово-злаковая – клевер луговой Янтарный (3 кг, или 1,7 млн/га), люцерна Будучья (8 кг, или 4,0 млн/га), овсяница луговая Зорка (6 кг, или 3,0 млн/га), фестулолиум морфотипа овсяницы Пуня (10,0 кг, или 3,3 млн/га), вес смеси – 27 кг (12 млн/га). Покровная культура в 2014 г. – райграс однолетний (8 кг/га);

– на почве 2 (2014–2016 гг.), злаковая травосмесь: кострец безостый Усходний (12 кг, или 4,0 млн/га), фестулолиум морфотипа овсяницы Пуня (9,0 кг, или 3,0 млн/га), овсяница луговая Зорка (6 кг, или 3,0 млн/га), т.е. вес смеси – 27 кг (10 млн/га); бобово-злаковая травосмесь – клевер луговой (долголетний) Витебчанин – (3 кг, или 1,0 млн/га), люцерна Будучья (8 кг, или 4,0 млн/га), кострец безостый Усходний (9 кг, или 3,0 млн/га), фестулолиум морфотипа овсяницы Пуня (6,0 кг или 2,0 млн/га), вес смеси – 26 кг (10 млн/га). Покровная культура в 2014 г. – райграс однолетний (8 кг/га);

– на почве 3 (2010–2013 гг.): клевер луговой (долголетний) – 2,5 кг/га, люцерна – 10 кг/га, тимофеевка луговая – 3,5 кг/га, кострец безостый – 12 кг/га (46 % бобовых в травосмеси). Покровная культура в 2010 г. – райграс однолетний (8 кг/га).

На первой и второй почве проводился полевой опыт и с люцерной Будучья, которую высевали в 2014 г. в чистом виде в количестве 10 кг/га, или 5 млн всхожих

семян, покровная культура в опытах – райграс однолетний Изорский с нормой высева – 8,0 млн всхожих семян на гектар.

Закладку и проведение опытов осуществляли в соответствии с методическими указаниями по закладке полевых опытов. Уход за посевами многолетних травосмесей проводили согласно технологическим регламентам их возделывания.

Контроль урожая осуществлялся методом сплошного учета и пробных делянок, из которых отбирали растительные образцы на определение содержания элементов питания и качественного состава корма, в том числе и полный зоотехнический анализ.

В почвенных образцах определяли: pH в КС1 суспензии – потенциметрически на pH-метре ЛПЧ-01, подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову, общий гумус – по И. В. Тюрину.

В растительных образцах после мокрого озоления проб в смеси серной кислоты и пергидроля определяли азот и фосфор фотоколориметрически, калий – на пламенном фотометре. Содержание сырого белка определяли умножением общего азота на 6,25. Зоотехнический анализ кормов (сено) определяли по следующим ГОСТам: влажность – ГОСТ 27548-97, п. 4, 5, 7; массовая доля азота – ГОСТ 13496.4-93; массовая доля сырой золы – ГОСТ 26226-95, п. 1.4; массовая доля сырого жира – ГОСТ 13496.15-97, п. 5; массовая доля клетчатки – ГОСТ 13496.2-91; содержание каротина – ГОСТ 13496.17-95; нитратов – ГОСТ 13496.19-2015, п.7.

Статистическая обработка результатов исследований проведена с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на ПЭВМ, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы.

Температура воздуха и осадки приведены по данным наблюдений Гидрометцентра и в экспериментальной базе им. Котовского Узденского района, а также лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (г. Минск). Гидротермический коэффициент (ГТК) по месяцам и за вегетационный период рассчитывался по Г. Т. Селянину.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метеорологические условия вегетационных периодов 2014–2016 гг. За вегетационный период возделывания многолетних травосмесей на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (ОАО «Гастелловское» Минского района) в 2014 г. за апрель–сентябрь выпало 476,3 мм атмосферных осадков, сумма положительных температур выше 5–10 °С составила 2750,1, гидротермический коэффициент (ГТК) составил 1,73, при среднемноголетнем значении за этот период – 1,88. Вегетационный период 2014 г. в ОАО «Гастелловское» Минского района характеризовался как влажный. В то же время отдельные периоды (июль и сентябрь) были слабозасушливыми. За вегетационный период 2015 г. атмосферных осадков выпало 228,8 мм, сумма положительных температур выше 5–10 °С составила 2685,8, гидротермический коэффициент (ГТК) составил 1,01, при среднемноголетнем значении за этот период – 1,70. Следует отметить, что вегетационный период за апрель–сентябрь характеризовался как слабозасушливый. В отдельные периоды (июнь) осадков выпало 12,2 мм, ГТК составил 0,24, однако осадки, выпавшие в мае, позволили сформировать достаточно высокую урожайность люцер-

ны при первом укосе. Август характеризовался отсутствием осадков. В 2016 г. за апрель–сентябрь ГТК составил 1,24, что позволяет считать вегетационный период слабозасушливым. В апреле выпал 91 % от среднемноголетней суммы осадков, в мае – 74 %, в июне – 65 %. В июле, в период интенсивного развития растений, количество осадков было более чем в полтора раза больше нормы (166 %). В целом распределение осадков по периодам вегетации не сказалось отрицательно на урожае возделываемых многолетних травосмесей.

В ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района в 2014 г. выпало атмосферных осадков 268,0 мм, сумма положительных температур выше 5–10 °С составила 2577,7, ГТК – 1,04 (слабозасушливый), при среднемноголетнем – 1,74. В 2015 г. вегетационный период (апрель–август) характеризовался как засушливый (ГТК – 0,78), за счет очень сухих условий в июне (ГТК – 0,10) и августе (ГТК – 0,03). Осадки за период от 8.05. до 1.06.2015 года (53 дня) практически не выпадали и составили 21,7 мм, из них только один раз их количество было выше 5 мм (5,1 мм). Это не позволило сформировать второй укос трав и снизило урожайность многолетних травосмесей. Вегетационный период 2016 г. (апрель–август) был близок к среднемноголетним значениям по количеству выпавших атмосферных осадков и температуре воздуха (только на 2,3 °С выше среднемноголетней). В апреле осадков выпало больше среднемноголетней нормы (119 %), а в мае и июне – меньше (48 и 60 % соответственно). Июль был влажным, выпала двойная норма атмосферных осадков (204 %), а август – в целом сухим, однако в первой половине месяца выпало достаточное количество осадков (на уровне среднемноголетней нормы).

В условиях 2010–2012 гг. при возделывании многолетних бобово-злаковых травосмесей в КУПП «Витебская ОПИСХ» температура воздуха и осадки с апреля по сентябрь отличались от среднемноголетних как по месяцам, так и за весь вегетационный период. Гидротермический коэффициент в период вегетации трав (4–9 месяц) в 2010 г. изменялся в пределах от 0,49 (июль) до 2,51 (сентябрь); в 2011 г. – от 0,84 (апрель) до 2,50 (июль); в 2012 г. – 0,74 (июль) до 3,91 (апрель). Гидротермический коэффициент в среднем за вегетационный период (апрель–сентябрь) возделывания многолетних трав в 2010 г. составил 1,66, 2011 г. – 1,61, в 2012 г. – 1,47, при среднемноголетнем – 1,69.

В заключение следует отметить, что во все годы исследований за вегетационный период многолетних травосмесей сумма активных температур воздуха превышала среднемноголетние значения, отмечались засушливые условия в отдельные периоды вегетации, это отрицательно сказывалось на росте и развитии растений.

Продуктивность и качество продукции злаковых травосмесей. На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в условиях 2014 г. при благоприятных погодных условиях (ГТК за 4–9 месяц составил 1,73) было получено три укоса злаковой травосмеси, в 2015 г. – 2 укоса и в 2016 г. – три укоса. Продуктивность зеленой массы в сумме за три года составила: на контроле – 82,6 ц/га к.ед., в вариантах с фоном – 96,4–108,1, со стандартными туками – 153,0–162,2, жидкими азотно-калийными удобрениями – 152,5–181,1 ц/га к.ед. (табл. 1).

Среднее содержание сырого протеина в сене (за 2014–2016 гг.) составляло: в контрольном варианте – 8,5 %, вариантах с фоном – 9,4–10,0, со стандартными туками – 10,6–12,4, с жидкими азотно-калийными удобрениями – 10,3–12,0 %, что

соответствовало первому–второму классу качества (табл. 1). Применение жидкого НК удобрения (соотношение N:K = 1:1,2, вар. 5) в дозе $N_{45}K_{45}$ улучшало качество сена за счет повышения содержания протеина на 1,4 % по сравнению со смесью стандартных туков (вар. 3). Большие дозы жидких азотно-калийных удобрений несколько снижали содержание протеина (в пределах первого класса).

Применение удобрений в опыте ухудшало качество сена по показателю клетчатки, увеличивая ее содержание с 28,1 % (контроль, первый класс) до 28,9–31,3 % (удобренные варианты, второй-третий классы). Исследуемые НК удобрения в целом не оказывали существенного влияния на изменение содержания клетчатки (30,0–31,3 %) относительно варианта со смесью стандартных туков (30,6–30,7 %).

Содержание жира изменялось от 1,6 на контроле до 1,6–2,2 % в удобренных вариантах, золы – от 7,5 % до 7,6–9,1 % соответственно. Жидкие НК удобрения обеспечивали тенденцию снижения или достоверно снижали содержание золы на 0,1–0,7 %, по сравнению со смесью стандартных удобрений (8,7–9,1 %), а также обеспечивали тенденцию или достоверно снижали содержание жира на 0,1–0,4 %, по сравнению со стандартными туками (2,1–2,2 %) (табл.1).

На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве продуктивность злаковых травосмесей в значительной степени определялась погодными условиями. Так, в 2014 г. погодные условия второй половины вегетации не позволили получить третий укос травосмеси, в 2015 г. во второй половине вегетации засуха была более сильной и получен лишь один укос, а в условиях 2016 г. – два укоса злаковых травосмесей третьего года. Влияние погодных условий было более заметно в вариантах без удобрений. В среднем за три года исследований на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве продуктивность на контроле составила 58,1 ц/га к.ед., при внесении NPK (стандартных удобрений, вар. 3 и 4) – 96,4 и 106,1, новых форм жидких удобрений (вар. 5–8) – от 106,6 до 122,4 ц/га к.ед. Внесение жидких НК удобрений (состав № 1 и 2) способствовало увеличению продуктивности злаковой травосмеси при первой дозе внесения на 10,2–18,4 ц/га к.ед., при более высоких дозах их внесения – на 12,7–16,3 ц/га к.ед. по сравнению со стандартными туками (табл. 2).

Среднее содержание сырого протеина в сене (за 2014–2016 гг.) составляло: в контрольном варианте – 7,7% (третий класс качества), вариантах с фоном – 8,0–8,4, со стандартными туками – 8,4–8,7, с жидкими азотно-калийными удобрениями – 9,0–10,1 %, что соответствовало первому-второму классу качества (табл. 2). Применение жидкого НК удобрения (соотношение N:K=1:1,2, вар. 5, 6) в соответствующих дозах со стандартными туками улучшало качество сена за счет повышения содержания протеина на 0,6–1,0 % по сравнению со смесью стандартных туков (вар. 3, 4).

Исследуемые НК удобрения в целом не оказывали существенного влияния на изменение содержания клетчатки (27,1–29,1 %) по сравнению со смесью стандартных туков (27,2–28,5 %).

Содержание жира на контрольном варианте составило 1,5 %, в удобренных вариантах – 1,9–2,2 %, соответственно, золы – 9,2 % и 5,6–9,7 %. При внесении жидких НК удобрений наблюдалась тенденция повышения содержания жира и увеличения содержания золы по сравнению со стандартными туками (табл. 2).

Таблица 1

Зоотехнические показатели качества сена злаковой травосмеси при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области, 2014–2016 гг.

Вариант	Продуктивность, ц/га к.ед.	Массовая доля, %															
		сырой протеин			клетчатка			сырой жир			сырая зола						
		2014 г.	2015 г.	2016 г.	сред-нее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	сред-нее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	сред-нее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	сред-нее
1. Контроль без удобрений	82,6	10,5	5,8	9,2	8,5	31,9	26,3	26,0	28,1	2,1	1,6	1,2	1,6	7,6	7,5	7,5	7,5
2. N _{10,1} P ₃₈ (фон 1)	96,4	10,6	10,1	9,2	10,0	33,3	26,1	27,7	29,0	2,2	1,4	1,3	1,6	7,6	8,3	6,8	7,6
3. N _{13,6} P ₅₁ (фон 2)	108,1	10,1	9,5	8,7	9,4	33,4	25,3	28,0	28,9	2,6	1,8	1,4	1,9	9,1	8,1	6,7	8,0
4. N ₄₅ P ₃₈ K ₅₄ (под 1-й укос) + N ₄₅ K ₅₄ (под 2-й укос) – стандартные удобрения	153,0	10,4	10,7	10,8	10,6	34,4	29,1	28,3	30,6	2,6	2,1	1,5	2,1	8,3	10,9	6,9	8,7
5. N ₆₀ P ₅₁ K ₇₂ (под 1-й укос) + N ₆₀ K ₇₂ (под 2-й укос) – стандартные удобрения	162,2	11,5	13,1	12,6	12,4	32,8	28,5	30,9	30,7	3,4	1,8	1,5	2,2	7,7	11,4	8,1	9,1
6. N ₄₅ K ₅₄ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) + P ₃₈ – под 1-й укос + N ₄₅ K ₅₄ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) – под 2-й укос	152,5	12,1	13,6	10,2	12,0	32,3	27,9	33,1	31,1	2,2	1,7	1,4	1,8	7,6	10,0	7,2	8,3

Окончание табл. 1

Вариант	Продуктивность, ц/га к.ед.	Массовая доля, %															
		сырой протеин			клетчатка			сырой жир			сырая зола						
		2014 г.	2015 г.	2016 г.	среднее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	среднее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	среднее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	среднее
7. N ₆₀ K ₇₂ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) + P ₅₁ – под 1-й укос + N ₆₀ K ₇₂ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) – под 2-й укос	164,2	9,9	12,9	12,1	11,6	32,7	28,1	33,1	31,3	2,2	1,8	1,5	1,8	8,3	11,3	7,4	9,0
8. N ₄₅ K ₄₅ (жидкое N ₁₂ K ₁₂) + P ₃₈ – под 1-й укос + N ₄₅ K ₄₅ (жидкое N ₁₂ K ₁₂) – под 2-й укос	165,2	12,7	12,7	10,7	12,0	32,6	27,4	30,0	30,0	2,6	1,9	1,4	2,0	7,5	9,5	6,9	8,0
9. N ₆₀ K ₆₀ (жидкое N ₁₂ K ₁₂) + P ₅₁ – под 1-й укос + N ₆₀ K ₆₀ (жидкое N ₁₂ K ₁₂) – под 2-й укос	181,1	8,0	12,6	10,4	10,3	33,4	28,2	29,1	30,2	2,9	1,9	1,5	2,1	9,2	10,0	6,9	8,7
НСР ₀₅	4,2	0,75	0,84	0,73	0,79	2,13	2,01	2,03	2,02	0,17	0,13	0,11	0,12	0,56	0,70	0,48	0,59

Таблица 2
Зоотехнические показатели качества сена злаковой травосмеси при возделывании на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области, 2014–2016 гг.

Вариант	Продуктивность, ц/га к.ед.	Массовая доля, %															
		сырой протеин			клетчатка			сырой жир			сырая зола						
		2014 г.	2015 г.	2016 г.	среднее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	среднее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	среднее				
1. Контроль без удобрений	58,1	8,2	6,8	8,1	7,7	35,5	23,4	22,7	27,2	1,9	1,5	1,2	1,5	8,8	13,2	5,5	9,2
2. N _{10,1} P ₃₈ (фон 1)	69,4	8,6	7,1	8,2	8,0	32,7	22,5	23,5	26,2	3,2	1,3	1,2	1,9	9,2	6,2	4,8	6,7
3. N _{13,6} P ₅₁ (фон 2)	78,0	10,7	6,4	8,2	8,4	30,7	25,2	22,7	26,2	3,3	1,4	1,4	2,0	6,9	5,1	4,9	5,6
4. N ₄₅ P ₃₈ K ₅₄ (под 1-й укос) + N ₄₅ K ₅₄ (под 2-й укос) – стандартные удобрения	96,4	10,4	6,5	8,2	8,4	32,9	24,7	24,1	27,2	2,8	1,4	1,4	1,9	7,1	6,2	5,1	6,1
5. N ₆₀ P ₅₁ K ₇₂ (под 1-й укос) + N ₆₀ K ₇₂ (под 2-й укос) – стандартные удобрения	106,1	10,1	7,3	8,7	8,7	33,3	26,7	25,4	28,5	2,5	1,7	1,7	2,0	8,6	6,0	6,4	7,0
6. N ₄₅ K ₅₄ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) + P ₃₈ – под 1-й укос + N ₄₅ K ₅₄ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) – под 2-й укос	106,6	11,0	7,2	8,8	9,0	32,2	24,5	24,5	27,1	3,0	1,8	1,5	2,1	9,6	7,3	6,5	7,8

Окончание табл. 2

Вариант	Продуктивность, ц/га к.ед.	Массовая доля, %															
		сырой протеин			клетчатка			сырой жир			сырая зола						
		2014 г.	2015 г.	2016 г.	сред-нее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	сред-нее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	сред-нее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	сред-нее
7. N ₆₀ K ₇₂ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) + P ₅₁ – под 1-й укос + N ₆₀ K ₇₂ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) – под 2-й укос	122,4	10,6	7,3	11,2	9,7	33,6	24,5	25,7	27,9	2,8	1,7	1,8	2,1	11,0	7,3	7,1	8,5
8. N ₄₅ K ₄₅ (жидкое N ₁₂ K ₁₂) + P ₃₈ – под 1-й укос + N ₄₅ K ₄₅ (жидкое N ₁₂ K ₁₂) – под 2-й укос	114,8	10,8	6,9	11,2	9,6	33,9	24,2	25,3	27,8	2,9	1,7	1,9	2,2	6,4	6,8	7,1	6,8
9. N ₆₀ K ₆₀ (жидкое N ₁₂ K ₁₂) + P ₅₁ – под 1-й укос + N ₆₀ K ₆₀ (жидкое N ₁₂ K ₁₂) – под 2-й укос	118,8	10,9	7,8	11,6	10,1	32,8	29,4	25,2	29,1	2,5	1,8	1,9	2,1	11,8	9,8	7,4	9,7
НСР ₀₅	6,3	0,57	0,37	0,37	0,44	1,72	1,25	1,29	1,42	0,14	0,07	0,08	0,10	0,46	0,38	0,31	0,39

Продуктивность многолетних бобово-злаковых травосмесей (2014–2016 гг.) как на дерново-подзолистой легкосуглинистой, так и рыхлосупесчаной почвах во все годы исследований была выше (на легкосуглинистой – в 1,7–2,4 раза, рыхлосупесчаной – в 1,3–1,6 раза, в зависимости от вариантов опыта), чем злаковых травосмесей (табл. 1, 2, 3, 4). В среднем за три года исследований на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве продуктивность многолетней бобово-злаковой травосмеси составила: в контрольном варианте – 178,5 ц/га к.ед., в вариантах с фоном – 227,5–239,7, в вариантах со стандартными туками – 272,3–80,5, с жидкими азотно-калийными удобрениями разных составов – 274,9–305,0 ц/га к.ед. Применение жидкого азотно-калийного удобрения состава № 1 ($N_{10}K_{12}$) в разных дозах обеспечило тенденцию увеличения продуктивности травосмесей на 2,5–4,1 ц/га к.ед., а удобрения № 2 ($N_{12}K_{12}$) – достоверную прибавку на уровне 11,7–24,5 ц/га к.ед. по отношению к смеси стандартных туков. На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве продуктивность бобово-злаковых травосмесей в контрольном варианте составила 87,7 ц/га к.ед., в фоновых вариантах – 113,7–127,0, в вариантах со стандартными туками – 134,6–144,8, с жидкими азотно-калийными удобрениями разных составов – 152,0–163,2 ц/га к.ед. Применение жидких азотно-калийных удобрений ($N_{10}K_{12}$ и $N_{12}K_{12}$) в разных дозах позволяло увеличить продуктивность травосмесей от 13,3 до 19,9 ц/га к.ед. по сравнению с внесением смеси стандартных туков.

При возделывании бобово-злаковой травосмеси на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве качественные показатели сена бобово-злаковых травосмесей в среднем за 2014–2016 гг. были следующие: среднее содержание сырого протеина в сене изменялось по вариантам опыта от 11,6 % (контроль) до 12,5–13,6 % (варианты с удобрениями), что соответствовало первому классу качества сена по данному показателю. Применение жидких НК удобрений обеспечивало преимущественно тенденцию увеличения содержания протеина по отношению к смеси стандартных туков в эквивалентных дозах на 0,1–0,5 % (с 13,0–13,1 % до 13,1–13,6 %). Содержание клетчатки в контрольном варианте составляло 30,8 % (третий класс качества), в фоновых вариантах – 28,2–29,4 (второй-третий класс), в вариантах со стандартными удобрениями – 29,8–31,0 (третий класс), с жидкими НК удобрениями – 28,9–34,5 % (второй-третий класс). При этом наблюдалась тенденция улучшения качества сена бобово-злаковой травосмеси за счет снижения содержания клетчатки (на 0,5–1,2 %) от использования жидких азотно-калийных удобрений по сравнению со смесью стандартных туков, за исключением жидкого НК удобрения состава № 2 в дозе $N_{35}K_{35}$, где наблюдалось увеличение на 4,7 % (ухудшение качества). Содержание золы в вариантах опыта находилось в пределах от 9,5 до 10,8 %, при этом четкой зависимости влияния форм и доз удобрений на изменение данного показателя не наблюдалось. Содержание жира на контроле составляло 1,7 %. Внесение минеральных удобрений достоверно увеличивало содержание жира на 0,2–0,7 % (до 1,9–2,4 %), при этом жидкое НК удобрение состава № 1 в дозе $N_{35}K_{42}$ увеличивало его содержание относительно смеси стандартных туков на 0,4 %, в меньшей дозе ($N_{25}K_{30}$) – снижало на 0,2 %. Жидкое НК удобрение состава № 2 по влиянию на содержание жира в сене бобово-злаковой травосмеси было равноценно стандартным удобрениям (табл. 3).

Таблица 3
Зоотехнические показатели качества сена бобово-злаковой травосмеси при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области, 2014–2016 гг.

Вариант	Продуктивность, ц/га к.ед.	Массовая доля, %															
		сырой протеин			клетчатка			сырой жир			сырая зола						
		2014 г.	2015 г.	среднее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	среднее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	среднее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	среднее	
1. Контроль без удобрений	178,5	9,5	13,2	12	11,6	35,5	28,8	28,2	30,8	2,2	1,8	1,2	1,7	6,3	13,6	9,4	9,8
2. N _{12,5} P ₄₇ (фон 1)	227,5	10,7	13,4	13,3	12,5	33,9	25,7	28,5	29,4	2,7	1,9	1,5	2,0	9,3	12,7	9,2	10,4
3. N _{17,6} P ₆₆ (фон 2)	239,7	11,8	13,2	13,1	12,7	32,5	24,4	27,6	28,2	2,4	1,8	1,4	1,9	10,5	12,4	9,4	10,8
4. N ₂₅ P ₄₇ K ₃₀ (под 1-й укос) + N ₂₅ K ₃₀ (под 2-й укос) – стандартные удобрения	272,3	11,7	14	13,3	13,0	34,5	27	31,5	31,0	3,2	1,7	1,8	2,2	7,4	13,1	8,6	9,7
5. N ₃₅ P ₆₆ K ₄₂ (под 1-й укос) + N ₃₅ K ₄₂ (под 2-й укос) – стандартные удобрения	280,5	11,9	14,2	13,2	13,1	32,2	26,4	30,8	29,8	3	1,5	1,6	2,0	8,6	12,5	8,8	10,0
6. N ₂₅ K ₃₀ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) + P ₄₇ – под 1-й укос + N ₂₅ K ₃₀ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) – под 2-й укос	274,9	11	14,9	13,3	13,1	33,7	25,9	29,7	29,8	3	1,4	1,7	2,0	7,2	12,3	8,9	9,5

7. N ₃₅ K ₄₂ (жид- кое N ₁₀ K ₁₂) + P ₆₆ – под 1-й укос + N ₃₅ K ₄₂ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) – под 2-й укос	284,6	10,3	14,7	13,2	12,7	32,2	25,9	28,7	28,9	3,8	1,5	2	2,4	9,7	11,6	8,8	10,0
8. N ₂₅ K ₂₅ (жид- кое N ₁₂ K ₁₂) + P ₄₇ – под 1-й укос + N ₂₅ K ₂₅ (жидкое N ₁₂ K ₁₂) – под 2-й укос	284,1	10,9	15,1	13,9	13,3	34,4	28,8	28,4	30,5	3,1	1,7	1,8	2,2	7,9	12,8	8,7	9,8
9. N ₃₅ K ₃₅ (жид- кое N ₁₂ K ₁₂) + P ₆₆ – под 1-й укос + N ₃₅ K ₃₅ (жидкое N ₁₂ K ₁₂) – под 2-й укос	305,0	10,5	15,4	14,8	13,6	38,8	35,9	28,7	34,5	2,9	1,9	1,7	2,2	8,1	11,8	8,7	9,5
НСР ₀₅	11,50	0,68	1	0,92	0,87	1,98	2,2	2,01	2,06	0,2	0,11	0,13	0,15	0,6	0,91	0,59	0,70

На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве качественные показатели сена бобово-злаковых травосмесей представлены в табл. 4. Содержание протеина в сене в варианте без удобрений (в среднем за три года) соответствовало второму классу – 9,5 %, стандартные NPK повышали протеин до 10,3–11,0 %, жидкие NK удобрения – до 11,1–11,5 % (выше уровня первого класса). Увеличение содержания протеина при внесении жидких NK марки $N_{10}K_{12}$ (№1) и $N_{12}K_{12}$ (№2) составило 0,5–0,9 % и 0,5–0,8 %. Сбор сырого протеина возрастал от 6,7–7,5 ц/га при внесении стандартных NPK до 8,4–8,7 и 8,0–8,8 ц/га на фоне жидких NK удобрений. Содержание клетчатки (26,6–32,0 % находилось на уровне первого и второго класса, жира – в пределах 1,7–2,2 %.

На дерново-подзолисто-глеевой осушенной почве легкосуглинистой почве (почва 3) в Витебском районе Витебской области при сравнительно благоприятных погодных условиях (2010 г., ГТК = 1,66; 2011 г., ГТК = 1,61 и 2012 г., ГТК = 1,3) ежегодно получали по три укоса многолетних бобово-злаковых травосмесей. Продуктивность многолетних трав в целом за годы исследований изменялась в зависимости от системы удобрения, применяемой в опыте с многолетними бобово-злаковыми травосмесями: на контрольном варианте без применения минеральных удобрений продуктивность бобово-злаковых травосмесей (2010–2012 гг.) составила 135,7 ц/га к.ед., в фоновом варианте ($N_{17}P_{64}$) – 152,0, в варианте со стандартными туками – 163,2, с жидкими азотно-калийными удобрениями – 168,3–180,5 ц/га к.ед. Применение на этой почве жидких азотно-калийных удобрений состава № 1 ($N_{10}K_{12}$) обеспечило прибавку продуктивности травосмесей 5,1 ц/га к.ед., а с дополнительной подкормкой удобрением жидким комплексным для бобовых под первый укос трав в качестве некорневой подкормки – 17,3 ц/га к.ед. по отношению к смеси стандартных туков. Среднее содержание сырого протеина (1012–2012 гг.) в сене изменялось по вариантам опыта от 16,9 % до 17,7 %, что соответствовало первому классу качества сена по данному показателю, соответственно содержание клетчатки – 30,4–31,4 % (второй класс качества), сырого жира – 2,8–3,1 %, сырой золы – 10,2–10,5 % (табл. 5).

Существенных различий в содержании изучаемых показателей качества между стандартными твердыми и жидкими азотно-калийными удобрениями не выявлено. Наблюдаемые незначительные различия по вариантам опыта находятся в пределах наименьшей существенной разницы (табл. 5).

Продуктивность люцерны на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в годы исследований была приблизительно на уровне продуктивности бобово-злаковой травосмеси. На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве продуктивность люцерны была выше в 1,1–1,3 раза, в зависимости от вариантов опыта (табл. 3, 4, 6, 7). В среднем за 2014–2016 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве продуктивность люцерны составила: в контрольном варианте – 189,2 ц/га к.ед., в вариантах с фоном – 228,0–241,2, в вариантах со стандартными туками (под первый укос) – 262,7–271,8, с жидкими азотно-калийными удобрениями разных составов под второй укос трав на фоне внесения под первый укос комплексных удобрений марок 6-21-32 и 5-18-35 с микроэлементами (варианты 6–9), а также карбамида (вариант 10) – 276,4–288,7 ц/га к.ед. Применение под второй укос жидких азотно-калийных удобрений состава № 1 ($N_{10}K_{12}$) и состава № 2 ($N_{12}K_{12}$) в разных дозах на фоне внесения под первый укос комплексных удобрений с микроэлементами, обеспечило увеличение продуктивности люцерны на 16,9–18,8 и 12,3–13,7 ц/га к.ед. по отношению к стандартным тукам соответственно. Высокую эффективность показало также внесение под второй укос карбамида (на фоне комплексного удобрения с микроэлементами под первый укос), обеспечив увеличение продуктивности на 8,2 ц/га (табл. 6).

Таблица 4

Зоотехнические показатели качества сена бобово-злаковой травосмеси при возделывании на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области, 2014–2016 гг.

Вариант	Продуктивность, ц/га к.ед.	Массовая доля, %															
		сырой протеин			клетчатка			сырой жир			сырая зола						
		2014 г.	2015 г.	2016 г.	сред-нее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	сред-нее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	сред-нее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	сред-нее
1. Контроль без удобрений	87,7	10,46	7,7	10,4	9,5	32,23	22,1	25,34	26,6	2,64	1,59	1,6	1,9	7,28	8,34	7,92	7,8
2. N _{12,5} P ₄₇ (фон 1)	113,7	10,46	8,1	9,8	9,5	34,53	26,33	26,81	29,2	2,1	1,6	1,65	1,8	8,82	7,78	7,05	7,9
3. N _{17,6} P ₆₆ (фон 2)	127,0	10,61	9,4	9,9	10,0	32,93	22,85	23,43	26,4	3,31	1,65	1,68	2,2	8,44	7,87	7,54	8,0
4. N ₂₅ P ₄₇ K ₃₀ (под 1-й укос) + N ₂₅ K ₃₀ (под 2-й укос) – стандартные удобрения	134,6	10,99	9	10,9	10,3	32,92	25,58	25,48	28,0	2,86	1,72	1,6	2,1	7,74	10,22	7,73	8,6
5. N ₃₅ P ₆₆ K ₄₂ (под 1-й укос) + N ₃₅ K ₄₂ (под 2-й укос) – стандартные удобрения	144,8	12,34	10,1	10,5	11,0	32,11	24,34	26,74	27,7	2,78	1,47	1,63	2,0	7,8	8,29	6,05	7,4
6. N ₂₅ K ₃₀ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) + P ₄₇ – под 1-й укос + N ₂₅ K ₃₀ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) – под 2-й укос	154,5	11,52	10,6	11,5	11,2	32,32	24,5	25,84	27,6	2,32	1,34	1,56	1,7	8,08	6,8	8,28	7,7

Окончание табл. 4

Вариант	Продуктивность, ц/га к.ед.	Массовая доля, %															
		сырой протеин			клетчатка			сырой жир			сырая зола						
		2014 г.	2015 г.	2016 г.	среднее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	среднее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	среднее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	среднее
7. N ₃₅ K ₄₂ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) + P ₆₆ – под 1-й укос + N ₃₅ K ₄₂ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) – под 2-й укос	158,1	11,72	11,1	11,6	11,5	32,37	23,96	25,92	27,4	2,04	1,58	1,48	1,7	7,73	8,12	7,34	7,7
8. N ₂₅ K ₂₅ (жидкое N ₁₂ K ₁₂) + P ₄₇ – под 1-й укос + N ₂₅ K ₂₅ (жидкое N ₁₂ K ₁₂) – под 2-й укос	152,0	11,60	10,1	11,7	11,1	33,87	34,24	27,94	32,0	2,43	1,9	1,29	1,9	8,91	8,24	8,76	8,6
9. N ₃₅ K ₃₅ (жидкое N ₁₂ K ₁₂) + P ₆₆ – под 1-й укос + N ₃₅ K ₃₅ (жидкое N ₁₂ K ₁₂) – под 2-й укос	163,2	12,89	10,6	10,9	11,5	31,33	30,1	26,83	29,4	2,26	1,65	1,4	1,8	7,27	9,19	7,52	8,0
НСР ₀₅	6,31	0,77	0,69	0,75	0,74	2,31	1,79	1,81	1,97	0,18	0,12	0,13	0,14	0,6	0,91	0,59	0,70

Таблица 5
 Зоотехнические показатели качества сена бобово-злаковой травосмеси при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в Витебском районе, Витебской области, 2010–2012 гг.

Вариант	Продуктивность, ц/га к.ед.	Массовая доля, %															
		сырой протеин			клетчатка			сырой жир			сырая зола						
		2010 г.	2011 г.	2012 г.	сред-нее	2010 г.	2011 г.	2012 г.	сред-нее	2010 г.	2011 г.	2012 г.	сред-нее	2010 г.	2011 г.	2012 г.	сред-нее
1. Контроль без удобрений	135,7	17,3	20,8	17,3	31,2	31,5	31,4	31,4	3,3	2,9	2,9	3,0	11,3	10,3	9,8	10,5	
2. N ₁₇ P ₆₄ (Фон)	152,0	14,4	16,4	21,5	17,4	32,2	31,0	27,9	30,4	3,3	3,2	2,7	3,1	11,6	9,5	10,0	10,4
3. N ₃₀ K ₃₆ (смесь стандартных удобрений, ст) + P ₆₄ (под 1-й укос) + N ₃₅ K ₄₂ (ст) – под 2-й укос (стандартные удобрения)	163,2	14,0	16,5	20,3	16,9	33,1	30,7	28,3	30,7	2,3	3,2	2,9	2,8	10,3	10,2	10,0	10,2
4. N ₃₀ K ₃₆ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) + P ₆₄ (под 1-й укос) N ₃₅ K ₄₂ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) – под 2-й укос	168,3	14,0	16,0	22,2	17,4	35,8	31,2	28,6	31,9	2,6	3,3	2,7	2,9	11,8	9,1	10,5	10,5
5. N ₃₀ K ₃₆ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) + P ₆₄ (под 1-й укос) + некорневая подкормка удобрением жидким комплексным (5-7-10) для бобовых – под 1-й укос + N ₃₅ K ₄₂ (жидкое N ₁₀ K ₁₂) – под 2-й укос	180,5	15,6	17,7	19,8	17,7	30,1	31,9	29,1	30,4	3,0	3,3	3,0	3,1	10,7	10,0	10,0	10,2
НСР ₀₅	4,4	1,00	1,34	1,88	1,41	2,27	2,50	2,62	2,46	0,17	0,25	0,26	0,23	0,78	0,79	0,91	0,83

Таблица 6
Зоотехнические показатели качества сена люцерны при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области, 2014-2016 гг.

Вариант	Продуктивность, ц/га к.ед.	Массовая доля, %															
		сырой протеин			клетчатка			сырой жир			сырая зола						
		2014 г.	2015 г.	2016 г.	сред-нее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	сред-нее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	сред-нее				
1. Контроль без удобрений	189,2	11,6	13,9	21,3	15,6	32,4	34,6	26,1	31,0	3,2	1,7	1,1	2,0	6,7	13,1	10,8	10,2
2. N ₁₈ , P ₇₀ (фон 1)	228,0	11,7	14,0	21,3	15,7	33,7	33,6	27,7	31,7	3,7	1,0	1,0	1,9	7,1	12,4	10,4	10,0
3. N ₂₈ , P ₁₀₅ (фон 2)	241,2	11,5	15,4	21,3	16,1	31,9	41,1	26,3	33,1	2,9	1,0	1,1	1,7	6,6	13,1	10,7	10,1
4. Фон 1 + K ₁₀₇ (под 1-й укос)	262,7	12,1	15,1	20,9	16,0	30,6	43,3	27,3	33,7	2,8	1,4	1,1	1,8	7,0	12,0	10,7	9,9
5. Фон 2 + K ₁₆₀ (под 1-й укос)	271,8	11,4	15,4	20,6	15,8	32,1	36,2	27,8	32,0	3,2	1,3	1,1	1,9	5,9	11,7	10,5	9,4
6. N ₂₅ , P ₇₀ , K ₁₀₇ (комплексное с В и Мо, марка 6-21-32) под 1-й укос + N ₁₅ , K ₁₈ (жидкие НК) – под 2-й укос	281,5	10,4	14,9	20,0	15,1	32,5	28,0	28,1	29,5	3,0	1,2	1,1	1,8	6,6	11,8	10,3	9,6
7. N ₃₅ , P ₁₀₅ , K ₁₆₀ (комплексное с В и Мо, марка 6-21-32) под 1-й укос + N ₂₅ , K ₃₀ (жидкие азот-но-калийные) – под 2-й укос	288,7	10,8	15,1	18,7	14,9	31,7	23,1	24,9	26,6	2,3	1,1	1,1	1,5	7,6	13,1	10,5	10,4

8. N ₂₅ P ₇₂ K ₁₄₀ (комплексное с В и Мо, марка 5-18-35) под 1-й укос + N ₁₅ K ₁₈ (жидкие НК) – под 2-й укос	276,4	10,0	14,2	18,7	14,3	33,4	27,6	27,1	29,4	3,1	1,3	1,3	1,9	8,1	13,4	10,2	10,6
9. N ₃₅ P ₁₀₈ K ₂₁₀ (комплексное В и Мо, марка 5-18-35) под 1-й укос + N ₂₅ K ₃₀ (жидкие НК) – под 2-й укос	284,1	11,1	14,5	18,7	14,8	31,9	25,3	27,3	28,2	3,8	1,1	1,2	2,0	6,8	12,6	10,1	9,8
10. N ₃₅ P ₁₀₈ K ₂₁₀ (комплексное с В и Мо, марка 5-18-35) под 1-й укос + N ₂₅ (стандартные)	280,0	10,1	14,6	18,7	14,5	31,3	25,3	27,9	28,2	3,2	1,5	1,2	2,0	6,6	13,2	10,0	9,9
НСП ₀₅	5,62	0,74	1,04	1,30	1,10	2,21	2,08	1,94	2,11	0,22	0,10	0,08	0,14	0,53	0,75	0,73	0,68

Таблица 7
Зоотехнические показатели качества сена люцерны при возделывании на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области, 2014–2016 гг.

Вариант	Продуктивность, ц/га к.ед.	Массовая доля, %															
		сырой протеин			клетчатка			сырой жир			сырая зола						
		2014 г.	2015 г.	2016 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	среднее			
1. Контроль без удобрений	111,7	9,6	9,8	13,9	11,1	30,4	33,2	27,0	30,2	2,7	1,7	1,7	2,0	5,7	9,4	8,0	7,7
2. N ₁₈ P ₇₀ (фон 1)	141,8	11,2	9,3	13,6	11,4	33,1	33,5	27,3	31,3	3,7	1,2	1,6	2,2	8,8	11,7	7,9	9,5
3. N ₂₈ P ₁₀₅ (фон 2)	154,0	11,1	9,5	14,3	11,6	31,6	40,0	28,3	33,3	3,3	1,5	1,5	2,1	6,1	11,6	8,5	8,7
4. Фон 1 + K ₁₀₇ (под 1-й укос) + N ₁₅ K ₁₈ (твердые азотно-калийные) – под 2-й укос	155,6	10,1	9,4	12,2	10,6	32,0	42,1	26,6	33,6	2,7	1,4	1,4	1,8	6,5	12,4	6,7	9,5
5. Фон 2 + K ₁₆₀ (под 1-й укос) N ₂₅ K ₃₀ (твердые азотно-калийные)	170,3	10,8	10,7	14,3	11,9	32,0	35,1	25,8	31,0	2,6	1,1	1,7	1,8	6,2	10,5	8,1	8,3
6. N ₂₅ P ₇₀ K ₁₀₇ (комплексное с В и Мо, марка 6-21-32) под 1-й укос + N ₁₅ K ₁₈ (жидкие НК) – под 2-й укос	173,4	10,0	9,9	13,1	11,0	31,7	26,9	26,4	28,3	2,2	1,6	1,5	1,8	6,8	9,9	8,8	8,4

7. N ₃₅ P ₁₀₅ K ₁₆₀ (комплексное с В и Мо, марка 6-21-32) под 1-й укос + N ₂₅ K ₃₀ (жидкие НК) – под 2-й укос	189,2	10,3	12,4	14,5	12,4	31,9	22,0	27,0	27,0	27,0	3,4	1,3	1,6	2,1	6,8	11,9	8,0	8,9
8. N ₂₅ P ₇₂ K ₁₄₀ (комплексное с В и Мо, марка 5-18-35) под 1-й укос + N ₁₅ K ₁₈ (жидкие НК) – под 2-й укос	171,9	11,2	9,8	12,3	11,1	32,3	26,5	27,1	28,6	2,3	1,5	1,6	1,8	7,8	10,8	8,2	8,9	
9. N ₃₅ P ₁₀₈ K ₂₁₀ (комплексное с В и Мо, марка 5-18-35) под 1-й укос + N ₂₅ K ₃₀ (жидкие НК) – под 2-й укос	181,1	10,9	14,6	14,3	13,3	31,8	23,1	25,9	26,9	2,7	1,2	1,6	1,8	6,2	9,8	7,6	7,9	
10. N ₃₅ P ₁₀₈ K ₂₁₀ (комплексное с В и Мо, марка 5-18-35) под 1-й укос + N ₂₅ (стандартные)	184,1	9,5	13,6	12,5	11,9	32,5	24,1	26,6	27,7	2,7	1,3	1,8	1,9	6,2	10,3	7,8	8,1	
НСР ₀₅	8,31	0,54	0,56	0,72	0,61	1,59	1,50	1,34	1,47	0,15	0,07	0,08	0,11	0,38	0,58	0,44	0,47	

Среднее содержание сырого протеина в сене люцерны, возделываемой на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, изменялось по вариантам опыта от 14,3 до 16,1 %, и соответствовало по качеству первому классу, с максимальными значениями в вариантах с фоном и применением стандартных туков под первый укос трав. Среднее содержание клетчатки в контрольном варианте составляло 31,0 %, в вариантах с фоном – 31,7–33,1, с внесением под первый укос стандартных удобрений – 32,0–33,7, с жидкими азотно-калийными удобрениями под второй укос на фоне внесения под первый укос комплексных удобрений – 26,6–29,5, карбамида под второй укос – 28,2 %. Применение жидких азотно-калийных удобрений способствовало снижению содержания клетчатки как к вариантам с фоном (на 2,2–6,5 %), так и к вариантам с внесением стандартных удобрений под первый укос (на 3,8–5,4), обеспечив улучшение качества сена по данному показателю до уровня первого-второго класса. Содержание жира в вариантах опыта изменялось от 1,5 до 2,0 %, с тенденцией увеличения по отношению к фону и стандартным тукам как от применяемых жидких НК удобрений, так и карбамида, внесенных под второй укос. Исключение составил вариант с жидким азотно-калийным удобрением ($N_{10}K_{12}$), применяемым в большей дозе, где наблюдалось снижение жира. Применяемые в опыте удобрения преимущественно не оказывали существенного влияния на изменение содержания золы в сене люцерны, и оно изменялось в пределах от 9,4 до 10,6 % (табл. 6).

На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в 2014–2016 гг. продуктивность люцерны в значительной степени определялась погодными условиями. Так, в первый год жизни (2014 г.) ее посевы развивались медленно и было получено два укоса, в 2015 г. засушливые погодные условия позволили сформировать только один укос зеленой массы люцерны. В среднем за три года исследований продуктивность люцерны в контрольном варианте составила 111,7 ц/га к.ед., в вариантах с фоном – 141,8–154,0, в вариантах со стандартными туками – 155,6–170,3, с жидкими азотно-калийными удобрениями разных составов под второй укос люцерны на фоне внесения под первый укос комплексных удобрений с микроэлементами – 171,9–189,2, с внесением карбамида под второй укос на фоне внесения под первый укос комплексного удобрения с микроэлементами – 184,1 ц/га к.ед. Применение жидких азотно-калийных удобрений ($N_{10}K_{12}$ и $N_{12}K_{12}$) в разных дозах на фоне комплексных удобрений с микроэлементами, вносимых под первый укос, позволяло увеличить продуктивность травосмесей от 10,8 до 18,9 ц/га к.ед. по сравнению с внесением стандартных туков. Внесение под второй укос карбамида также обеспечивало увеличение продуктивности на 13,8 ц/га к.ед. (табл. 7).

Оценивая качественные показатели сена люцерны (среднее за 2014–2016 гг.), возделываемой на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, следует отметить, что во всех вариантах опыта содержание протеина было выше уровня второго класса (10 %) – 11,1–13,3 %. В вариантах с внесением комплексных удобрений с микроэлементами изучаемых марок под первый укос и жидкими азотно-калийными удобрениями под второй укос содержание протеина повышалось на 0,4–1,4 % по сравнению с вариантами, где применялись стандартные формы удобрений. Содержание клетчатки в среднем за три года в варианте без удобрений составляло 30,2 %, фоновых вариантах – 31,3–33,3 %,

стандартных NPK – 31,0–33,6 % и соответствовало второму (29 %) и третьему (31 %) классу качества. Использование в опыте комплексных удобрений марок 6-21-32 и 5-18-35 с добавками микроэлементов под первый укос и жидких азотно-калийных удобрений под второй укос оказывали положительное действие на качество люцерны, снижая содержание клетчатки на 4,0–5,2 % (до уровня первого класса качества), что наряду с увеличением содержания протеина повышало ценность корма и его усвоение животными. Содержание жира в вариантах опыта изменялось от 1,8 до 2,1 %, сырой золы – от 7,7 до 9,5 %, независимо от применяемых удобрений.

ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные данные на дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаной почвах при возделывании многолетних злаковых, бобово-злаковых травосмесей и люцерны в условиях 2010–2012 и 2014–2016 гг. позволяют сделать следующие выводы:

1. Продуктивность злаковых, бобово-злаковых травосмесей и люцерны на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава в значительной степени определялась погодными условиями.

2. Применение в опытах новых форм жидких азотно-калийных удобрений марок $N_{10}K_{12}$ и $N_{12}K_{12}$ в разных дозах обеспечивало тенденцию или достоверное увеличение продуктивности злаковых травосмесей на 2,0–18,9 ц/га к.ед., бобово-злаковых травосмесей – на 2,6–24,5 и люцерны на 10,8–18,9 ц/га к.ед. по сравнению с использованием стандартных туков.

3. Используемые в опытах жидкие азотно-калийные удобрения по влиянию на качество травосмесей находились на уровне применяемых стандартных туков или превосходили их, улучшая качество сена за счет увеличения содержания сырого протеина в сене злаковых травосмесей на 0,6–1,4 %, бобово-злаковых травосмесей – 0,5–0,9 %, люцерны – на 0,4–1,4 %, снижения содержания клетчатки.

4. Жидкие азотно-калийные удобрения рекомендуются прежде всего для применения в технологии возделывания злаковых и бобово-злаковых травосмесей при возделывании на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава в основное внесение (перед залужением) и в подкормки (ранней весной в период возобновления вегетации многолетних травосмесей второго и третьего года пользования) и под второй укос на фоне внесения фосфорных удобрений.

5. Продуктивность люцерны на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах в среднем за три года исследований (2012–2014 гг.) в вариантах с полным минеральным удобрением находилась в пределах от 262,7 до 288,7 ц/га к.ед. и была примерно на уровне продуктивности бобово-злаковой травосмеси (от 272,3 до 305,0 ц/га к.ед.). На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве продуктивность люцерны, в зависимости от вариантов опыта была на уровне от 155,6 до 189,2 ц/га к.ед. и была выше в 1,1–1,3 раза по сравнению с бобово-злаковыми травосмесями (от 134,6 до 163,2 ц/га к.ед.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 23638-90 Силос из зеленых растений. Технический Межгосударственный стандарт.
2. *Мальчевская, Е. Н.* Оценка качества и зоотехнический анализ кормов / Е. Н. Мальчевская, Г. С. Миленькая. – Минск: Ураджай, 1981. – 143 с.
3. *Красильников, Н. А.* Определитель бактерий и актиномицетов / Н. А. Красильников. – М.: Изд-во АН СССР, 1949. – С. 12–17.
4. *Шейко, Л. Г.* Внедрение новых регуляторов роста растений и новых минеральных удобрений в хозяйствах Минской области / Л. Г. Шейко, Г. В. Пироговская, Н. А. Лобань // Тез. докл. науч.-практ. конф. – Гродно, 1996. – С. 29–30.
5. *Скрылев, Н. И.* Дифференцированная оценка энергетической питательности кормов и составление рационов для крупного рогатого скота и свиней с использованием детализированных норм кормления / Н. И. Скрылев. – Горки, 1983. – 27 с.
6. *Святогор, А. П.* Интенсификация производства кормов в условиях промышленного животноводства / А. П. Святогор // Кормопроизводство. – 1981. – № 2. – С. 6–9.
7. *Ходырева, Л. Ф.* О возделывании многолетних трав без покрова и под покров зерновых культур на болотных почвах Московской области / Л. Ф. Ходырева, А. В. Гусев // Науч. тр. / НИИ сел. хоз-ва центр. районов Нечерной зоны. – 1970. – Вып. 24. – С. 12–14.
8. *Нагорская, Е. Д.* Новые данные химического состава и питательности кормов Белорусской ССР / Е. Д. Нагорская, Г. С. Козырь, Н. В. Белоусова. – Минск: Урожай, 1969. – 339 с.
9. *Журавлев, А. А.* Прогрессивные приемы в технологии возделывания многолетних трав на семена / А. А. Журавлев В. И. Антонов, В. Э. Рябова // Сб. науч. тр. / ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса. – 1981. – Вып. 25. – С. 168–177.
10. Справочник по кормопроизводству / М. А. Смурыгин [и др.] – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 413 с.
11. *Тарануха, Г. И.* Значение зернобобовых культур в решении проблемы белка / Г. И. Тарануха, Г. М. Минюк, Н. Г. Лазарь: материалы науч. конф. – Пружаны, 1996. – С. 99–105.
12. Следовые элементы в агрохимической оценке качества урожаев и опасностей со стороны окружающей среды / С. Лабуда [и др.] // Проблемы пр-ва продукции растениеводства и пути их решения: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Белорус. гос. с.-х. акад. (Горки, 7–9 июня 2000 г.). – Горки, 2000. – Ч. 2. – С. 144–148.
13. *Крищенко, В. П.* Методы оценки качества растительной продукции / В. П. Крищенко. – М.: Колос, 1983. – 192 с.
14. Минеральный состав кормов / под ред. проф. М.Ф. Томмэ. – 3-е изд. – М.: Колос, 1968. – 256 с.
15. *Смуригин, М. А.* Корма: справочник / М. А. Смуригин. – М.: Колос, 1977. – 368 с.
16. *Попов, И. С.* Кормовые нормы и кормовые таблицы / И. С. Попов. – 14-е изд., перераб. – М.: Сельхозгиз, 1957. – 223 с.
17. *Алексеев, Ю. В.* Качество растениеводческой продукции / Ю. В. Алексеев. – Л.: Колос, 1978. – 256 с.

INFLUENCE OF NEW FORMS OF LIQUID AND SOLID MINERAL FERTILIZERS ON PRODUCTIVITY AND QUALITY INDICATORS OF CEREAL, LEGUME-CEREAL GRASS MIXTURES AND ALFALFA ON SOD-PODZOLIC SOILS

H. V. Pirahouskaya, S. S. Khmelevsky V. I. Soroko, I. N. Khatulev, O. I. Isaeva, I. N. Shkalenko., Yu. A. Artyukh, A. G. Ganusevich, O. A. Belous

Summary

The article presents data on the effect of new forms of liquid nitrogen-potassium and solid fertilizers on productivity and quality indicators of perennial grass mixtures and lucerne in the cultivation on sod-podzolic loamy soils of the Minsk and Vitebsk regions and sod-podzolic sandy loam soil of the Minsk region. The positive effect of liquid nitrogen-potassium fertilizers has been established when used for the first and second grass mowings of the first, second and third year of use against the background of the introduction of phosphate fertilizers (cereal and legume-cereal grass mixtures) and complex fertilizers (lucerne), ensuring an increase in productivity and improvement of hay quality.

Поступила 17.05.19

УДК 631.416.1:631.445:631632.118.3

ВЛИЯНИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs МНОГОЛЕТНИМИ ЗЛАКОВЫМИ ТРАВАМИ НА ТОРФЯНИСТО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ

Н. Н. Цыбулько¹, Г. В. Седукова², Е. Б. Евсеев², И. И. Жукова³

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

*²Институт радиобиологии,
г. Гомель, Беларусь*

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

ВВЕДЕНИЕ

После аварии на Чернобыльской АЭС научно-исследовательскими учреждениями проведена огромная работа по изучению поведения и трансформации радионуклидов в почве и аккумуляции их растениями. Многочисленные исследования показали, что генетические особенности и свойства почв являются одним из важнейших факторов, определяющих процессы сорбции радионуклидов в почвенно-поглощающем комплексе и интенсивность поступления их в растения. Установлено, что количественные параметры перехода ^{137}Cs в продукцию

сельскохозяйственных культур на гидроморфных торфяно-болотных почвах в 1,5–6,0 раз выше по сравнению с почвами автоморфного ряда. Эти почвы являются наиболее критичными для получения сельскохозяйственной продукции с допустимым содержанием радионуклидов [1].

В Беларуси 1068,2 тыс. га осушенных торфяных почв используются в качестве сельскохозяйственных земель, в том числе на территории радиоактивного загрязнения около 245,0 тыс. га, из них 83,0 тыс. га с мощностью торфяного слоя менее 0,5 м. В среднем на каждый из 57 загрязненных радионуклидами административных районов приходится 4,3 тыс. га торфяных почв с различной мощностью торфяного слоя. В ряде районов Полесского региона эти почвы составляют основу сельскохозяйственного землепользования [2–4].

Проведенные исследования позволили установить зависимость накопления радионуклидов в растениях от режима азотного питания [5, 6]. В более поздних исследованиях данный факт подтвердился. Повышенные дозы азотных удобрений, в отличие от калия, в большинстве случаев обуславливают увеличение накопления радионуклидов в урожае сельскохозяйственных культур в 1,5–4,0 раза [7]. Дефицит азота приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур, в результате чего концентрация радионуклидов в растениях повышается. В то же время применение повышенных доз азота также способствует увеличению накопления радионуклидов в растениях [8–10].

Поступление ^{137}Cs в товарную продукцию сельскохозяйственных культур зависит от множества факторов, в том числе от содержания азота (что особенно актуально для торфяных почв различных стадий трансформации, в значительной степени обеспеченных минеральным азотом) и калия в почве, а также их соотношения. Оптимальным уровнем содержания азота в почве, при котором отмечено минимальное поступление ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы, является 125–200 кг/га. В этом диапазоне содержания азота в почве удельная активность в 2,5–4,4 раза ниже, чем < 125 и > 200 кг/га почвы [11].

Исследования Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси на дерново-подзолистой супесчаной почве показали, что повышение доз азотных удобрений под многолетние травы приводило к увеличению поступления ^{137}Cs в растения по отношению к контролю. Внесение азота в дозах 60–100 кг/га на фоне $\text{P}_{70}\text{K}_{90}$ под яровой рапс способствовало снижению содержания радионуклида в зерне на 15–30% по сравнению с контролем. Удельная активность ^{137}Cs в зерне соответствовала контрольному варианту при повышении дозы азота до 140 кг/га [12].

В ряде работ [13, 14] отмечается, что увеличение доз азотных удобрений повышает активность ^{137}Cs в зеленой массе кукурузы в 1,2–1,5 раза, в зерне яровой пшеницы – в 1,3–1,6 раза. Однако оптимальные дозы азота способствуют получению высокой урожайности культур с минимальным содержанием радионуклида.

Внесение азотных удобрений на дерново-подзолистых песчаных почвах повышало накопление ^{137}Cs в озимой ржи, ячмене, картофеле, овсе и рапсе в 1,1–3,9 раза [15]. Максимальную прибавку урожая при минимальном переходе радиоцезия из почвы в растения обеспечило применение умеренной дозы азотных удобрений. Исходя из полученных результатов, автором рекомендованы дозы азота под ячмень, овес и озимую рожь 45 кг/га, картофель – 60, люпино-рапсовую смесь – 90 кг/га совместно с повышенными дозами калийных удобрений.

Цель настоящей работы – изучить влияние возрастающих доз азотных удобрений на поступление ^{137}Cs в сено многолетних злаковых трав на торфянисто-глеевой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2016–2018 годах в стационарных полевых опытах на территории землепользования СПК «Новое Полесье» Лунинецкого района Брестской области. Объектом исследования являлась торфянисто-глеевая низинная осушенная, развивающаяся на тростниково-осоковых торфах, подстилаемых с глубины 0,26 м связными древнеаллювиальными песками, почва. Агрохимические показатели пахотного (0–25 см) слоя почвы следующие (средние значения): органическое вещество – 60,4 %, $N_{\text{общ}}$ – 1,74 %, рН в КСl – 5,37; подвижные формы (в 0,2 М НСl) P_2O_5 – 876 и K_2O – 818 мг/кг почвы.

Почва относится согласно градации [16] ко второй группе (1,0–4,9 Ки/км²) по степени загрязнения ^{137}Cs . Плотность загрязнения колебалась от 3,5 до 4,5 Ки/км², в среднем – 4,0 Ки/км².

Возделывали многолетнюю среднеспелую злаковую травосмесь, включающую тимофеевку луговую 2 кг/га, овсяницу луговую 5 кг/га, кострец безостый 6 кг/га.

Схема опыта, дозы и сроки применения минеральных удобрений приведена в табл. 1.

Таблица 1

Схема применения минеральных удобрений в опыте

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

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

Агрохимические показатели почв определяли по методикам: органическое вещество – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212–91 [17]; рН_{КСl} – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483–85 [18]; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207–91 [19]; общий азот – по ГОСТ 26107–84 [20].

Отбор проб почвы для определения содержания ^{137}Cs проводили согласно методике [21], подготовку почвенных и растительных проб – по методике [22]. Определение удельной активности ^{137}Cs (Бк/кг) в почвенных пробах выполняли

на γ - β -спектрометре МКС–АТ1315, в растительных образцах – на γ -спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard». Основная относительная погрешность измерений при доверительном интервале $P = 95\%$ не превышала 15–30%. Аппаратурная ошибка измерений не превышала 15%. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs рассчитывали согласно методике [16]. Для количественной оценки поступления ^{137}Cs из почвы в растения рассчитывали коэффициент перехода (K_n) – отношение удельной активности радионуклида в растениях к плотности загрязнения почвы на единицу площади ($\text{Бк/кг}:\text{кБк/м}^2$).

Полученные данные обрабатывали методами корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа [23] с использованием компьютерного программного обеспечения (*Excel 7.0*, *Statistic 7.0*).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что миграция радионуклидов в системе «почва–растение» и накопление их в растениеводческой продукции существенно зависит от метеорологических условий в период возделывания сельскохозяйственных культур. За период проведения наших исследований по гидротермическим условиям 2016 год характеризовался как слабозасушливый с ГТК – 1,28, 2017 год отличался повышенным увлажнением (ГТК – 2,24), а 2018 год был засушливым – ГТК составил 0,97. Вегетационный период 2016 года характеризовался неустойчивым режимом влагообеспеченности. Наиболее близкая к среднему многолетнему значению среднесуточная температура воздуха за время активной вегетации культур (апрель–август) наблюдалась в 2017 году. В 2018 году метеорологические условия отмечались очень низким количеством влаги за вегетационный период.

Накопление ^{137}Cs многолетними злаковыми травами зависело от метеорологических условий вегетационных периодов. Так, в 2017 году с повышенным увлажнением среднее по всем вариантам опыта значение удельной активности радионуклида в травах первого укоса составило 43,3 Бк/кг , а в засушливом 2018 году – 28,8 Бк/кг , в травах второго укоса – 41,6 и 24,1 Бк/кг , соответственно (рис. 1).

В целом за годы исследований удельная активность ^{137}Cs в сене не превышала 150 Бк/кг при допустимом содержании 1300 Бк/кг для скармливания дойному поголовью при получении цельного молока и 520 Бк/кг для скармливания поголовью при получении мяса.

Содержание радионуклида в сене трав первого укоса на контроле (без применения удобрений) колебалось по годам в среднем от 61,37 до 103,88 Бк/кг . Фосфорные и калийные удобрения, внесенные под первый укос трав в дозах $\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ (вариант 2) и $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ (вариант 6), позволили уменьшить накопление радионуклида в сене первого укоса в среднем на 39 и 57% соответственно. Наибольшее снижение отмечено в засушливом 2018 году, наименьшее – в 2017 году с повышенным увлажнением (табл. 2).

Азотные удобрения применяли под многолетние злаковые травы в начале весеннего отрастания под первый укос в дозах 60 и 80 кг/га , под второй укос – в дозах 40 и 60 кг/га . Общие дозы их колебались от 100 до 140 кг/га действующего вещества на двух фосфорно-калийных фонах – $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ и $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$.

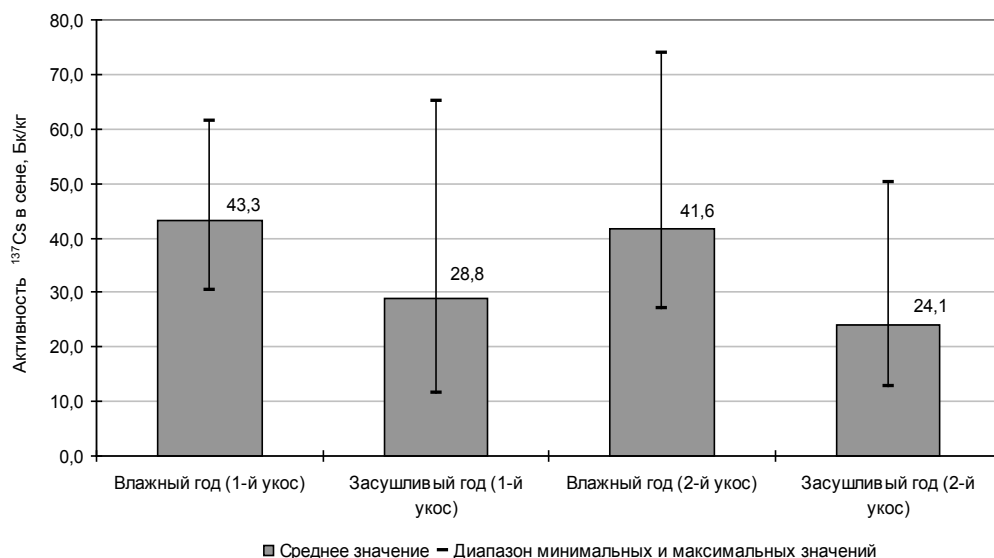


Рис. 1. Влияние гидротермических условий вегетационного периода на накопление ^{137}Cs в сене многолетних злаковых трав

Таблица 2

Удельная активность ^{137}Cs в сене многолетних злаковых трав в зависимости от доз минеральных удобрений (Бк/кг)

Вариант опыта	Годы			Среднее значение	Процент к контролю
	2016	2017	2018		
<i>Первый укос</i>					
1. Контроль	103,88	61,37	65,10	76,78	100
2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон 1	71,03	48,32	21,36	46,90	61
3. Фон 1 + N ₁₀₀ (60 + 40)	67,68	38,95	26,39	44,34	58
4. Фон 1 + N ₁₂₀ (80 + 40)	72,69	47,42	29,37	49,83	65
5. Фон 1 + N ₁₄₀ (80 + 60)	70,01	46,62	31,50	49,38	64
6. P ₉₀ K ₁₈₀ – фон 2	51,85	36,13	11,44	33,14	43
7. Фон 2 + N ₁₀₀ (60 + 40)	61,72	30,31	21,91	37,98	49
8. Фон 2 + N ₁₂₀ (80 + 40)	66,19	39,91	24,26	43,45	57
9. Фон 2 + N ₁₄₀ (80 + 60)	64,75	40,67	27,82	44,41	58
<i>Второй укос</i>					
1. Контроль	–	73,97	50,08	62,03	100
2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон 1	–	29,21	15,20	22,21	36
3. Фон 1 + N ₁₀₀ (60 + 40)	–	38,61	20,30	29,46	47
4. Фон 1 + N ₁₂₀ (80 + 40)	–	41,68	26,35	34,02	55
5. Фон 1 + N ₁₄₀ (80 + 60)	–	44,08	31,40	37,74	61
6. P ₉₀ K ₁₈₀ – фон 2	–	27,16	12,80	20,00	29
7. Фон 2 + N ₁₀₀ (60 + 40)	–	42,03	15,78	28,91	47
8. Фон 2 + N ₁₂₀ (80 + 40)	–	37,07	21,05	29,06	47
9. Фон 2 + N ₁₄₀ (80 + 60)	–	40,32	24,23	32,28	52

Внесение под первый укос трав N_{60} и N_{80} не привело к существенному усилению поступления ^{137}Cs в растения. В среднем за 3 года исследований при содержании радионуклида в сене на фонах 1 и 2 соответственно 46,90 и 33,14 Бк/кг, концентрация его в вариантах с дозами азота 60 и 80 кг/га составила на фоне 1 44,34 и 49,83 Бк/кг, на фоне 2 – 37,98 и 44,41 Бк/кг соответственно.

В вариантах с полным (NPK) минеральным удобрением удельная активность ^{137}Cs в сене первого укоса была ниже по сравнению с контролем на фоне 1 на 35–42 %, на фоне 2 – на 42–51 %. В среднем за годы исследований минимальное содержание ^{137}Cs в сене первого укоса (37,98 Бк/кг) отмечено в варианте с применением 60 кг/га азота под укос на фоне $P_{90}K_{180}$.

Активность ^{137}Cs в сене трав второго укоса на контроле изменялось по годам от 50,08 до 73,97 Бк/кг. Подкормка трав под второй укос калием в дозе 60 кг/га на фонах $P_{90}K_{90}$ (вариант 2) и $P_{90}K_{120}$ (вариант 6) снизило концентрацию радионуклида в сене второго укоса по сравнению с контрольным вариантом с 62,03 Бк/кг до 22,21 и 20,00 Бк/кг соответственно, или 64–71 %.

Вторая азотная подкормка трав привела к увеличению накопления ^{137}Cs в сене трав второго укоса по отношению к фосфорно-калийным фонам. Так, при внесении N_{40} удельная активность радионуклида в сене изменялась на фоне 1 в пределах 29,46–34,02 Бк/кг, на фоне 2 – 28,91–29,06 Бк/кг. В вариантах с применением под второй укос N_{60} содержание ^{137}Cs в сене составило 37,74 и 32,28 Бк/кг соответственно.

Расчеты коэффициентов перехода (Кп) ^{137}Cs из почвы в многолетние травы показали следующее. За годы исследований в зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов различия в переходе ^{137}Cs в многолетние травы первого укоса достигали 4,3 раза, второго укоса – 3,3 раза. На контрольном варианте коэффициент перехода изменялся по годам для трав первого укоса в пределах – 0,51–0,87 Бк/кг: кБк/м², для второго укоса – 0,42–0,62 Бк/кг: кБк/м² (табл. 3).

Таблица 3

**Коэффициенты перехода ^{137}Cs в сено многолетних злаковых трав
в зависимости от доз минеральных удобрений (Бк/кг : кБк/м²)**

Вариант опыта	Годы			Среднее значение Кп
	2016	2017	2018	
<i>Первый укос</i>				
1. Контроль	0,87	0,51	0,54	0,64
2. $P_{90}K_{150}$ – фон 1	0,60	0,41	0,18	0,40
3. Фон 1 + N_{100} (60 + 40)	0,57	0,33	0,22	0,37
4. Фон 1 + N_{120} (80 + 40)	0,61	0,40	0,25	0,42
5. Фон 1 + N_{140} (80 + 60)	0,59	0,39	0,27	0,42
6. $P_{90}K_{180}$ – фон 2	0,43	0,30	0,10	0,28
7. Фон 2 + N_{100} (60 + 40)	0,51	0,25	0,19	0,32
8. Фон 2 + N_{120} (80 + 40)	0,55	0,33	0,21	0,36
9. Фон 2 + N_{140} (80 + 60)	0,54	0,34	0,24	0,37
<i>Второй укос</i>				
1. Контроль	–	0,62	0,42	0,52

Вариант опыта	Годы			Среднее значение Кп
	2016	2017	2018	
2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон 1	–	0,24	0,13	0,19
3. Фон 1 + N ₁₀₀ (60 + 40)	–	0,32	0,17	0,25
4. Фон 1 + N ₁₂₀ (80 + 40)	–	0,34	0,22	0,28
5. Фон 1 + N ₁₄₀ (80 + 60)	–	0,36	0,27	0,32
6. P ₉₀ K ₁₈₀ – фон 2	–	0,23	0,07	0,15
7. Фон 2 + N ₁₀₀ (60 + 40)	–	0,36	0,09	0,23
8. Фон 2 + N ₁₂₀ (80 + 40)	–	0,31	0,12	0,23
9. Фон 2 + N ₁₄₀ (80 + 60)	–	0,34	0,13	0,24

Фосфорные и калийные удобрения в дозах P₉₀K₉₀ снизили переход ¹³⁷Cs из почвы в травы первого укоса с 0,64 до 0,40, или на 27 % ,по отношению к контролю. При внесении под первый укос K₁₂₀ также наблюдалось снижение показателя перехода ¹³⁷Cs из почвы в растения с 0,40 до 0,28 Бк/кг: кБк/м².

Подкормка трав второго укоса калием в дозе 60 кг/га на фонах применения под первый укос P₉₀K₉₀ P₉₀K₁₂₀ обеспечила уменьшение по сравнению с контролем коэффициентов перехода радионуклида в сено в среднем на 63 и 70 % соответственно.

В вариантах с внесением различных доз азотных удобрений коэффициенты перехода ¹³⁷Cs из почвы в сено были несколько выше по отношению к фосфорно-калийным фонам. На травах первого укоса они изменялись на фоне 1 от 0,37 до 0,42, на фоне 2 – от 0,32 до 0,37 Бк/кг: кБк/м². На травах второго укоса Кп были несколько ниже и колебались в пределах 0,25–0,32 Бк/кг: кБк/м² на фоне P₉₀K₁₅₀ и 0,23–0,24 Бк/кг: кБк/м² – на фоне P₉₀K₁₈₀.

В рекомендациях по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения для прогноза содержания ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в продукции растениеводства, при планировании набора культур для возделывания на загрязненных землях, размещения их по полям севооборотов и отдельным участкам, используются усредненные коэффициенты перехода данных радионуклидов из почвы в растениеводческую продукцию [24].

Определение за два укоса многолетних злаковых трав средних коэффициентов перехода ¹³⁷Cs из торфянисто-глеевой почвы в сено показало следующее. На контрольном варианте (без применения удобрений) Кп составил 0,58 Бк/кг: кБк/м². Применение фосфорных и калийных удобрений в дозах P₉₀K₁₅₀ (вариант 2) обеспечило уменьшение его до 0,30 Бк/кг: кБк/м², или в 1,9 раза. Увеличение дозы калия до 180 кг/га (вариант 6) также способствовало снижению перехода до 0,22 Бк/кг: кБк/м² (рис. 2).

Азотные удобрения на фоне P₉₀K₁₅₀ привели к некоторому повышению Кп ¹³⁷Cs в многолетние злаковые травы при внесении их в дозах 120–140 кг/га (варианты 3 и 4). В то же время на более высоком фоне применения калийных удобрений (P₉₀K₁₈₀) значения коэффициентов перехода радионуклида в сено и при повышенных дозах азотных удобрений (N_{120–140}) не превышали 0,30–0,31 Бк/кг: кБк/м² (варианты 8 и 9).

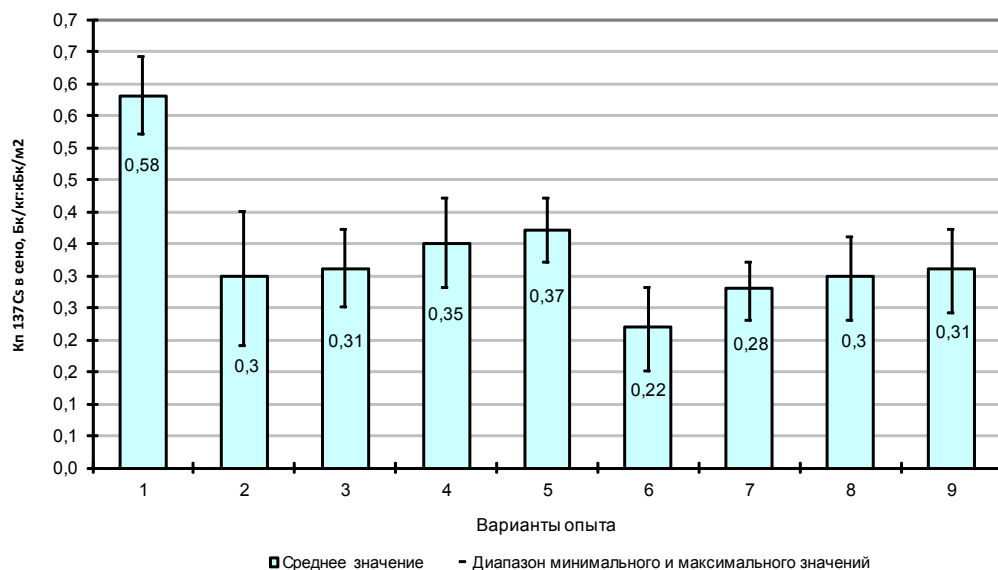


Рис. 2. Средние значения коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в сено многолетних злаковых трав

На основании коэффициентов перехода ^{137}Cs в многолетние злаковые травы, полученных при разных дозах применения минеральных удобрений, определены допустимые плотности загрязнения почвы ($\text{ДП}_\text{п}$) при возделывании их для получения сена, при скармливании его поголовью с целью получения цельного молока и мяса, отвечающих республиканским допустимым уровням (РДУ) и допустимым уровням, принятым в рамках Таможенного союза (ДУ ТС). Расчеты проводились по формуле [24]:

$$\text{ДП}_\text{п} = \frac{\text{ДУ}}{K_\text{п} \cdot 37},$$

где $\text{ДП}_\text{п}$ – допустимая плотность загрязнения почвы радионуклидом, $\text{Ки}/\text{км}^2$; ДУ – республиканский допустимый уровень или допустимый уровень в рамках Таможенного союза содержания радионуклида в продукции, $\text{Бк}/\text{кг}$; $K_\text{п}$ – коэффициент перехода радионуклида из почвы в растениеводческую продукцию, $\text{Бк}/\text{кг} : \text{кБк}/\text{м}^2$; 37 – коэффициент пересчета $\text{нКи}/\text{кг}$ в $\text{Бк}/\text{кг}$.

В соответствии с Республиканскими допустимыми уровнями для получения нормативно чистого цельного молока ($< 100 \text{ Бк}/\text{л}$) и мяса ($< 500 \text{ Бк}/\text{л}$) уровень ^{137}Cs в сене составляет $1300 \text{ Бк}/\text{кг}$. Техническим регламентом (ТР ТС 021/2011) «О безопасности пищевой продукции» в рамках Таможенного союза установлен более «жесткий» по сравнению с РДУ-99 норматив на содержание ^{137}Cs в мясе, который составляет $200 \text{ Бк}/\text{кг}$. Поэтому предельно допустимое содержание радионуклида в сене для заключительной стадии откормки животных примерно в 2,5 раза ниже и не должно превышать $520 \text{ Бк}/\text{кг}$ [25, 26].

Установлено, что на торфянисто-глеевой почве с содержанием подвижных форм фосфора и калия 876 и $818 \text{ мг}/\text{кг}$ почвы соответственно и внесении фосфорных и калийных удобрений в дозах $\text{P}_{90}\text{K}_{150-180}$ и азотных удобрений в до-

зах $N_{100-140}$ многолетние злаковые травы можно возделывать без ограничений по плотности загрязнения ^{137}Cs (до 40 Ки/км^2) для производства сена при использовании его на корм для получения цельного молока и мяса, отвечающих республиканским нормативным требованиям по содержанию радионуклида (табл. 4).

Таблица 4

Допустимые плотности (Ки/км^2) загрязнения ^{137}Cs торфянисто-глеевой почвы при производстве сена многолетних злаковых трав в зависимости от его кормового назначения

Вариант опыта	Получение сена первого укоса		Получение сена второго укоса	
	РДУ 1300 Бк/кг	ДУ ТР ТС 520 Бк/кг	РДУ 1300 Бк/кг	ДУ ТР ТС 520 Бк/кг
1. Контроль	40,0	22,0	40,0	27,0
2. $P_{90}K_{150}$ – фон 1	40,0	35,1	40,0	40,0
3. Фон 1 + N_{100}	40,0	38,0	40,0	40,0
4. Фон 1 + $N_{120(80+40)}$	40,0	33,5	40,0	40,0
5. Фон 1 + $N_{140(80+60)}$	40,0	33,5	40,0	40,0
6. $P_{90}K_{180}$ – фон 2	40,0	40,0	40,0	40,0
7. Фон 2 + $N_{100(60+40)}$	40,0	40,0	40,0	40,0
8. Фон 2 + $N_{120(80+40)}$	40,0	39,0	40,0	40,0
9. Фон 2 + $N_{140(80+60)}$	40,0	38,0	40,0	40,0

Для производства мяса с содержанием ^{137}Cs до 200 Бк/кг нормативно чистое сено первого укоса многолетних злаковых трав возможно получить при применении азотных удобрений в дозе 100 кг/га при плотности радиоактивного загрязнения почвы $38,0-40,0 \text{ Ки/км}^2$, а при дозах $120-140 \text{ кг/га}$ на фоне $P_{90}K_{150}$ при плотности – до $33,5 \text{ Ки/км}^2$, на фоне $P_{90}K_{180}$ – при плотности – до 38 Ки/км^2 .

ВЫВОДЫ

1. В зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов различия в переходе ^{137}Cs в сено многолетних трав первого укоса достигают 4,3 раза, в сено второго укоса – 3,3 раза. Такие колебания в содержании радионуклида в продукции в значительной степени обусловлены уровнями формируемой продуктивности трав.

2. Внесение под первый укос трав N_{60} и N_{80} не существенно усиливает поступление ^{137}Cs в растения. Вторая азотная подкормка трав в дозах $40-60 \text{ кг/га}$ повышает накопление ^{137}Cs в сене трав второго укоса по отношению к фосфорно-калийным фонам. Азотные удобрения на фоне $P_{90}K_{150}$ приводят к некоторому повышению коэффициента перехода ^{137}Cs в многолетние злаковые травы при внесении их в дозах $120-140 \text{ кг/га}$. В то же время на более высоком фоне применения калийных удобрений ($P_{90}K_{180}$) значения его и при повышенных дозах азотных удобрений ($N_{120-140}$) не превышают $0,30-0,31 \text{ Бк/кг}$: кБк/м^2 .

3. На торфянисто-глеевой почве при внесении фосфорных и калийных удобрений в дозах $P_{90}K_{150-180}$ и азотных удобрений в дозах $N_{100-140}$ многолетние злаковые травы можно возделывать без ограничений по плотности загрязнения ^{137}Cs (до

40 Ки/км²) для производства сена при использовании его на корм для получения цельного молока и мяса, отвечающих республиканским нормативным требованиям по содержанию радионуклида. Для производства мяса с содержанием ¹³⁷Cs до 200 Бк/кг нормативно чистое сено первого укоса возможно получить при применении азотных удобрений в дозе 100 кг/га при плотности загрязнения почвы 38,0–40,0 Ки/км², а при дозах 120–140 кг/га на фоне Р₉₀К₁₅₀ при плотности – до 33,5 Ки/км², на фоне Р₉₀К₁₈₀ – при плотности – до 38 Ки/км².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий / Под ред. чл.-корр. РАН Н. И. Санжаровой и проф. С. В. Фесенко. – М.: РАН, 2018. – 278 с.
2. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / Под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.
3. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапа, А. Ф. Черныша; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 170 с.
4. Эколого-экономическое обоснование мелиорации торфяно-болотных комплексов и технологии их рационального использования / Под общ. ред. проф. Ю. А. Мажайского. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2012. – 302 с.
5. Клечковский, В. М. Поведение в почвах и растениях микроколичеств стронция, цезия, рутения, циркония / В. М. Клечковский, И. В. Гулякин // Почвоведение. – 1958. – № 3. – С. 1–16.
6. Радиоактивность и пища человека / Р. Рассел [и др.]; под ред. Р. Рассела. – М.: Энергоатомиздат, 1971. – С. 232–256.
7. Роль химии в реабилитации сельскохозяйственных угодий, подвергшихся радиоактивному загрязнению / Н. И. Санжарова [и др.] // Российский химический журнал. – 2005. – т. XLIX. – № 3. – С. 26–34.
8. Пристер, Б. С. Актуальные проблемы кормопроизводства в условиях радиоактивного загрязнения территории / Б.С. Пристер, Г.П. Перепелятникова, М.И. Ильин // Проблема сельскохозяйственной радиологии: сб.науч.тр. / Украин. науч.-исслед ин-т с.-х. радиологии ; под ред. Н.А. Лощилова. – Киев, 1992. – Вып. 2. – С. 71-88.
9. Бондарь, П. Ф. Некоторые аспекты научного сопровождения ведения растениеводства на загрязненной территории / П.Ф. Бондарь // Проблема сельскохозяйственной радиологии: сб.науч.тр. / Украин. науч.-исслед ин-т с.-х. радиологии; под ред. Н. А. Лощилова. – Киев, 1996. – Вып. 4. – С. 107–123.
10. Тулин, С. А. Рекомендации по эффективному применению азота в загрязненной радионуклидами зоне : информ. листок / С. А. Тулин, А. С. Тулина. – Брянский ЦНТИ. – Брянск, 1994. – 3 с.
11. Лученок, Л. Н. Оптимизация минерального питания яровой пшеницы на загрязненных ¹³⁷Cs антропогенно-преобразованных торфяных почвах / Л. Н. Лученок. // Чернобыль: 30 лет спустя: материалы междунар. науч. конф. (Гомель, 21–22 апр. 2016 г.) – Гомель: Ин-т радиологии, 2016. – С. 340–343.
12. Богдевич, И. М. Влияние минеральных удобрений на урожайность многолетних злаковых трав и накопление радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr на торфяной почве /

И. М. Богдевич, А. Г. Подоляк, И. И. Ивашкова // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – Вып. 1 (38). – С. 252–262.

13. *Жданович, В. П.* Эффективность удобрений под кукурузу на загрязненной радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr дерново-подзолистой супесчаной почве / В. П. Жданович, И. М. Богдевич, А. Г. Подоляк // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 2 (39). – С. 214–221.

14. *Тарасюк, С. В.* Эффективность органических удобрений в зоне радиоактивного загрязнения / С. В. Тарасюк, В. А. Довнар // Почвы и их плодородие на рубеже столетий: материалы II Съезда Белорусского общества почвоведов, посвященного 70-летию Белорусского научно-исследовательского института почвоведения и агрохимии, Минск, 25–29 июня 2001 г. / Министерство сельского хозяйства и продовольствия; редкол.: И. М. Богдевич [и др.]. – Минск, 2001. – Кн. 3. – С. 154–156.

15. *Тулина, А. С.* Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений на дерново-подзолистых песчаных почвах, загрязненных ^{137}Cs : автореф. ...дис. канд. биол. наук: 06.01.04 / А. С. Тулина; ИФХБПП РАН. – М., 2002. – 24 с.

16. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: метод. указания / И. М. Богдевич [и др.]; под ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 48 с.

17. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212–91. – Введ. 1993.07.01. – Минск: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.

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

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

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

21. Почвы. Отбор проб: ГОСТ 28168–89. – Введ. 01.04.90. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.

22. СТБ 1059.98. Радиационный контроль. Подготовка проб для определения ^{90}Sr и ^{137}Cs . – Введ. 01.07.1998. – Минск: Белстандарт, 1998. – 22 с.

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

24. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы. – Минск: Департамент по ликвидации катастрофы на ЧАЭС, 2012. – 121 с.

25. ГН №10–117–99. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99): утвержден постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь № 6 от 26.04.1999.

26. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»: утв. решением Комиссии Таможенного союза № 880 от 9.12.2011.

INFLUENCE OF NITROGEN FERTILIZERS ON ACCUMULATION OF ^{137}Cs PERENNIAL CEREAL GRASSES ON PEARLY-GLAY SOIL

N. N. Tsybulka, G. V. Sedukova, E. B. Evseev, I. I. Zhukova

Summary

The application of N_{60-80} herbs under the first cut rates not significantly increase the intake of ^{137}Cs in plants. The second nitrogen fertilization of herbs in rates of 40–60 kg/ha increases the accumulation of the radionuclide in the hay of second-cut grass with respect to the phosphorus-potassium backgrounds. Nitrogen fertilizers on the background of $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ lead to a slight increase in the transfer factor of ^{137}Cs to perennial grass when they are applied in doses of 120–140 kg/ha. At the same time, on a higher background of the use of potash fertilizers ($\text{P}_{90}\text{K}_{180}$), the radionuclide transfer factor into hay and with higher rates of nitrogen fertilizers ($\text{N}_{120-140}$) rates not exceed 0,30–0,31.

On peaty-gley soil, when phosphorus and potash fertilizers are applied in rates of $\text{P}_{90}\text{K}_{150-180}$ and nitrogen fertilizers in rates of $\text{N}_{100-140}$, perennial grasses can be cultivated without restrictions on the contamination density of ^{137}Cs (up to 40 Ci/km²) for hay production when using it for fodder for receiving whole milk and meat meeting the republican regulatory requirements for the radionuclide content. For the production of meat with ^{137}Cs content up to 200 Bq/kg, regulatory clean hay of the first mowing can be obtained using nitrogen fertilizers at a rate of 100 kg/ha with a soil contamination density of 38,0–40,0 Ci/km², and at doses of 120–140 kg/ha against $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ with a density of up to 33.5 Ci/km², against a background of $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$ with a density of up to 38 Ci/km².

Поступила 16.04.19

УДК 635.654:631.445.2:631.824

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ГОРОХА НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ С РАЗНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬЮ ОБМЕННЫМ МАГНИЕМ

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Важное место в минеральном питании растений занимает магний [1, 2, 3]. Недостаток этого элемента ограничивает урожайность сельскохозяйственных культур, снижает качество продукции, оказывает влияние на эффективность использования азотных, фосфорных и калийных удобрений [4, 5].

Большинство исследований по изучению магниевому питанию проводилось на легких почвах с дефицитом магния. В связи с системным известкованием кис-

лых почв доломитовой мукой ($MgO \sim 20\%$), содержание обменных форм магния в дерново-подзолистых почвах многократно повысилось. В настоящее время средневзвешенное содержание обменного магния в пахотных почвах составляет 147 мг/кг почвы, в луговых – 163 мг/кг. Доля почв с низким содержанием элемента многократно снизилась и составляет 4,8 %. К группам почв с повышенным и высоким содержанием магния относится $\sim 76\%$ площади пахотных почв и 90 % площади почв луговых земель Беларуси [6]. Также на значительной части площади пахотных земель нарушено требуемое соотношение катионов $Ca^{2+} : Mg^{2+}$ и $K^+ : Mg^{2+}$, и возделываемые культуры испытывают недостаток или избыток магния для формирования урожайности [7].

Получение полноценного зернофуражного корма стало актуальной проблемой в последнее время [8]. Сбалансированность рационов по энергии, питательным веществам: протеину, аминокислотам, витаминам, макро- и микроэлементам и другим биологически активным веществам – является одним из основных условий эффективного использования кормов. При оптимальном соотношении компонентов питательность рационов повышается на 8–12 % по сравнению с суммарной энергетической ценностью входящих в них компонентов, так как при этом улучшаются переваримость и усвояемость комбикормов, корма охотнее поедаются животными [9]. Проблему производства растительного белка можно решить за счет расширения посевных площадей зернобобовых культур, белок которых более полноценен по аминокислотному составу. Зернобобовые культуры содержат в семенах в 2–3 раза больше белка, чем зерновые культуры [10].

Горох – наиболее распространенная зернобобовая культура, имеющая важное продовольственное и кормовое значение [8, 11]. Ценность его определяется высокой урожайностью зерна и зеленой массы, богатых белком и другими питательными веществами. Зеленая масса, зерно и солома гороха обладают высокими кормовыми достоинствами. В пересчете на сухое вещество содержание сырого протеина в зеленой массе гороха достигает 25 %, а в соломе – 7,5 % [12].

В зерне гороха содержится более 20 % белка, 1,1–1,5 % жира и 5–6 % клетчатки, витамины А, В₁, В₂, С, минеральные вещества и все необходимые аминокислоты. [11, 13, 14, 15]. Важнейшей особенностью зернобобовых является способность усваивать азот воздуха с помощью клубеньковых бактерий, что позволяет отнести горох к хорошим предшественникам. Для формирования урожая горох способен обеспечивать свою потребность в азоте до 75 %, остальную часть он использует из почвы и удобрений [16]. Горох оставляет в почве 40–50 кг/га азота с пожнивно-корневыми остатками, являясь хорошим предшественником для зерновых, в том числе озимых, и других культур [17]. Горох обладает еще одной важной особенностью: способностью растворять трудноусвояемые формы фосфорных соединений в более простые [16].

В мире посевы гороха занимают около 10 млн га. Широкое распространение он получил в Китае, США, Канаде, Западной Европе, Австралии [17]. Для европейских стран горох является основной зернобобовой культурой, которая возделывается на пищевые и кормовые цели на площади около 3 млн га [11]. В настоящее время в Республике Беларусь зернобобовые культуры занимают 170 тыс. га. площади посевов, с валовым сбором гороха – 50 тыс. т. Средняя урожайность гороха по республике составляет около 30 ц/га [18].

Цель исследования – установить зависимость урожайности и качества зерна гороха от обеспеченности обменным магнием дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и определить эффективность использования минеральных удобрений и некорневых подкормок сульфатом магния при возделывании гороха.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на базе стационарного полевого опыта в ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощном лессовидном суглинке. В 2016–2017 гг. возделывался горох посевной сорт Белус. 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) 47–145 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.

Предварительно на опытном участке было создано четыре уровня содержания в почве обменного Mg, которые отражают диапазон различий по содержанию магния в дерново-подзолистых суглинистых почвах Беларуси, от низкого до высокого:

- I уровень – 46–50 мг/кг;
- II уровень – 90–92 мг/кг;
- III уровень – 138–147 мг/кг;
- IV уровень – 183–198 мг/кг.

Высокие уровни содержания обменного магния на блоках делянок созданы путем внесения сульфата магния ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) с учетом исходного содержания магния в почве.

Содержание обменного кальция выравнивалось на каждой делянке за счет внесения мела. Эквивалентное соотношение катионов на уровнях:

Ca: Mg 20,7 – 9,2 – 5,0 – 3,5;

K: Mg 1,9 – 0,95 – 0,6 – 0,4.

Схема опыта предусматривала 9 вариантов удобрений на каждом из четырех уровней содержания обменного магния в почве:

1. Контроль (без удобрений);
2. $N_{30}P_{60}$;
3. $N_{30}P_{60}K_{120}$ – фон;
4. $N_{30}P_{60}K_{180}$;
5. Фон + Mg_1 ;
6. Фон + $Mg_{1,5}$;
7. Фон + S_{36} (сульфат аммония);
8. Фон + S_{36} + Mg_1 ;
9. Фон + S_{36} + $Mg_{1,5}$.

На каждом уровне содержания обменного магния в почве исследуется действие полной дозы удобрений, варианта с повышенной дозой калия, серы в дозе S_{36} и некорневых подкормок сульфатом магния в фазу бутонизации. Из минеральных удобрений использовали карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий, сульфат аммония. Агротехника возделывания культур – общепринятая для республики [19].

Повторность опыта 4-кратная, размещение делянок рендомизированное. Общая площадь делянки – 15 м², учетная площадь – 8 м².

Определение агрохимических показателей в почвенных образцах проводили по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (0,4 н $K_2Cr_2O_7$ ГОСТ 26213-91); pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85); обменные кальций и магний (1 М KCl) – методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ГОСТ 26487-85); подвижные фосфор и калий (0,2 М HCl) – по Кирсанову с последующим определением фосфора на фотоэлектроколориметре, калия – на пламенном фотометре (ГОСТ 26207-91).

В растительных образцах определяли следующие показатели: общий азот, фосфор, калий, кальций, магний – из одной навески после мокрого озоления серной кислотой; азот – методом Кьельдаля (ГОСТ 13496.4-93), фосфор – на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 26657-97), калий – на пламенном фотометре, кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрометре. Содержание сырого белка рассчитывали умножением концентрации общего азота на коэффициент пересчета азота на белок – 6,25. Статистическая обработка результатов исследований выполнена по Б. А. Доспехову (1985) с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа. Расчет показателей агрономической и экономической эффективности проводили по соответствующим методикам Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси [20]. При расчете экономической эффективности использованы цены на удобрения, сельскохозяйственную продукцию и нормативы затрат на технологические процессы на 01. 09. 2017.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований в среднем за 2016–2017 гг. в контрольном варианте без удобрений за счет плодородия почвы получена урожайность гороха 29,2–39,8 ц/га в зависимости от уровня содержания в почве обменного магния (табл. 1). В контрольном варианте (без удобрений) и в фоновом варианте наибольшая урожайность зерна гороха получена на III уровне обеспеченности почвы обменным магнием. Внесение фоновой полной дозы удобрений обеспечило прибавку урожайности зерна гороха: 9,8 ц/га – на I уровне, 7,7 ц/га – на II уровне, 5,7 ц/га – на III уровне, 5,0 ц/га – на IV уровне содержания в почве обменного магния. При этом окупаемость 1 кг NPK составила на I уровне 4,7 кг зерна, 3,7 кг – на II уровне, 2,7 кг – на III уровне и 2,4 кг зерна – на IV уровне. Существенных различий между дозами калия 120 и 180 кг/га отмечено не было на всех уровнях обеспеченности почвы обменным магнием. По мере повышения в почве обменного магния окупаемость 1 кг NPK зерном при внесении 120 и 180 кг/га калия снижалась.

**Урожайность гороха в зависимости от доз минеральных удобрений
на разных уровнях обеспеченности обменным магнием дерново-подзолистой
легкосуглинистой почвы (среднее 2016–2017 гг.)**

Вариант	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка зерна, ц/га от			Окупаемость, кг зерна	
		минеральных удобрений	К удобрений	Mg подкормок	1 кг NPK	1 кг K ₂ O
I уровень Mg 46–50 мг/кг почвы						
Контроль	29,2	–	–	–	–	–
N ₃₀ P ₆₀	34,8	5,6	–	–	6,2	–
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	39,0	9,8	4,2	–	4,7	3,5
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	41,9	12,7	7,1	–	4,7	3,9
Фон + Mg ₁	45,1	15,9	–	6,1	7,6	–
Фон + Mg _{1,5}	45,6	16,4	–	6,6	7,8	–
Фон + S ₃₆	43,6	14,4	–	–	6,9	–
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	48,0	18,8	–	4,4	9,0	–
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	48,6	19,4	–	5,0	9,2	–
II уровень Mg 90–92 мг/кг почвы						
Контроль	36,2	–	–	–	–	–
N ₃₀ P ₆₀	43,3	7,1	–	–	7,9	–
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	43,9	7,7	0,6	–	3,7	0,5
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	46,8	10,6	3,5	–	3,9	1,9
Фон + Mg ₁	48,0	11,8	–	4,1	5,6	–
Фон + Mg _{1,5}	49,0	12,8	–	5,1	6,1	–
Фон + S ₃₆	46,9	10,7	–	–	5,1	–
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	49,7	13,5	–	2,8	6,4	–
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	50,7	14,5	–	3,8	6,9	–
III уровень Mg 138–147 мг/кг почвы						
Контроль	39,8	–	–	–	–	–
N ₃₀ P ₆₀	42,7	2,9	–	–	3,2	–
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	45,5	5,7	2,8	–	2,7	2,3
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	46,1	6,3	3,4	–	2,3	1,9
Фон + Mg ₁	47,0	7,2	–	1,5	3,4	–
Фон + Mg _{1,5}	47,3	7,5	–	1,8	3,6	–
Фон + S ₃₆	45,7	5,9	–	–	2,8	–
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	46,2	6,4	–	0,5	3,0	–
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	47,1	7,3	–	1,4	3,5	–
IV уровень Mg 183–198 мг/кг почвы						
Контроль	38,4	–	–	–	–	–
N ₃₀ P ₆₀	41,0	2,6	–	–	2,9	–
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	43,4	5,0	2,4	–	2,4	2,0
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	44,9	6,5	3,9	–	2,4	2,2
Фон + Mg ₁	42,0	3,6	–	–1,4	1,7	–

Вариант	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка зерна, ц/га от			Окупаемость, кг зерна	
		минеральных удобрений	К удобрений	Mg подкормок	1 кг NPK	1 кг K ₂ O
Фон + Mg _{1,5}	42,5	4,1	–	–0,9	2,0	–
Фон + S ₃₆	43,9	5,5	–	–	2,6	–
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	44,0	5,6	–	0,1	2,7	–
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	42,8	4,4	–	–1,1	2,1	–
НСР ₀₅ варианты уровни	3,46 1,15	–	–	–	–	–

В вариантах с некорневыми подкормками сульфатом магния непосредственно и на фоне серы наибольшая урожайность получена на II уровне обеспеченности почвы обменным магнием, далее с повышением концентрации магния в почве наблюдалось снижение урожайности зерна гороха. Максимальная урожайность 50,7 ц/га получена в варианте N₃₀P₆₀K₁₂₀+S₃₆+Mg_{1,5} на II уровне содержания обменного магния.

Внесение 36 кг/га серы сопровождалось прибавкой урожайности зерна гороха на 4,6 ц/га на I уровне, на 3,0 ц/га на II уровне содержания в почве обменного магния, при этом окупаемость 1 кг NPK составила 6,9 кг и 5,1 кг зерна соответственно. Внесение серы на более высоких уровнях обеспеченности почвы обменным магнием было неэффективным.

Прибавки зерна гороха от применения магниевых подкормок снижались с повышением содержания в почве обменного магния. Некорневые подкормки сульфатом магния в дозах 1 и 1,5 кг/га способствовали получению значительных прибавок зерна на I уровне – 6,1–6,6 ц/га, на II уровне – 4,1–5,1 ц/га, при этом 1 кг NPK окупался 7,6–7,8 кг зерна на I уровне, 5,6–6,1 кг зерна на II уровне обеспеченности почвы обменным магнием. Существенных различий между дозами Mg 1 и 1,5 кг/га не наблюдалось. Некорневые магниевые подкормки были неэффективны на III и IV уровне содержания в почве обменного магния.

Важным показателем качества продукции является содержание белка. На содержание белка в зерне гороха существенное влияние оказывали как возрастающие уровни обеспеченности почвы обменным магнием, так и внесение минеральных удобрений (табл. 2).

Повышение обеспеченности почвы обменным магнием с I до III уровня способствовало увеличению содержания сырого белка в зерне в контрольном варианте на 0,8 %, в фоновом варианте – на 0,8 %, в варианте с некорневой подкормкой Mg в дозе 1 кг/га – на 1,0 %. Дальнейшее повышение содержания в почве обменного магния до IV уровня приводило к снижению содержания сырого белка в зерне гороха в контрольном варианте на 1,2 %, в фоновом варианте – на 0,5 %, в варианте Фон+Mg₁ – на 1,6 %.

Содержание сырого белка в зерне гороха зависело от доз минеральных удобрений. Внесение полной дозы удобрений обеспечило прибавку содержания сырого белка к контролю на 0,7–1,4 %. Применение некорневой магниевой подкормки в дозе 1 кг/га на фоне 60 кг/га серы на I и II уровнях обеспеченности почвы обменным магнием обеспечило прибавку содержания сырого белка на 1,4–1,7 %.

Содержание и сбор белка в зерне гороха в зависимости доз минеральных удобрений на разных уровнях обеспеченности обменным магнием дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (в среднем за 2016–2017 гг.)

Вариант	Урожайность гороха, ц/га	Содержание белка, %	Прибавка к контролю, %	Сбор белка, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Кормовые единицы, ц/га
<i>I уровень Mg 46–50 мг/кг почвы</i>						
Контроль (б/у)	29,2	18,5	–	4,6	–	36,2
N ₃₀ P ₆₀	34,8	18,8	0,3	5,6	1,0	43,1
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	39,0	19,2	0,7	6,4	1,8	48,4
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	41,9	19,3	0,8	7,0	2,4	52,0
Фон + Mg ₁	45,1	19,3	0,8	7,5	2,9	55,9
Фон + Mg _{1,5}	45,6	19,2	0,7	7,5	2,9	56,5
Фон + S ₃₆	43,6	19,7	1,2	7,4	2,8	54,1
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	48,0	19,9	1,4	8,2	3,6	59,5
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	48,6	19,6	1,1	8,2	3,6	60,3
<i>II уровень Mg 90–92 мг/кг почвы</i>						
Контроль (б/у)	36,2	18,5	–	5,8	–	44,9
N ₃₀ P ₆₀	43,3	19,4	0,9	7,2	1,4	53,7
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	43,9	19,5	1,0	7,4	1,6	54,4
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	46,8	19,3	0,8	7,8	2,0	58,0
Фон + Mg ₁	48,0	19,6	1,1	8,1	2,3	59,5
Фон + Mg _{1,5}	49,0	19,4	0,9	8,2	2,4	60,8
Фон + S ₃₆	46,9	19,7	1,2	8,0	2,2	58,1
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	49,7	20,2	1,7	8,6	2,8	61,6
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	50,7	19,8	1,3	8,6	2,8	62,9
<i>III уровень Mg 138–147 мг/кг почвы</i>						
Контроль (б/у)	39,8	19,3	–	6,6	–	49,6
N ₃₀ P ₆₀	42,7	20,0	0,7	7,3	0,7	52,9
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	45,5	20,0	0,7	7,8	1,2	56,4
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	46,1	19,5	0,2	7,7	1,1	57,2
Фон + Mg ₁	47,0	20,3	1,0	8,2	1,6	58,3
Фон + Mg _{1,5}	47,3	19,6	0,3	8,0	1,4	58,6
Фон + S ₃₆	45,7	20,0	0,7	7,9	1,3	56,7
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	46,2	20,1	0,8	8,0	1,4	57,3
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	47,1	19,9	0,6	8,1	1,5	58,4
<i>IV уровень Mg 183–198 мг/кг почвы</i>						
Контроль (б/у)	38,4	18,1	–	6,0	–	47,6
N ₃₀ P ₆₀	41,0	18,9	0,8	6,7	0,7	50,8
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	43,4	19,5	1,4	7,3	1,3	53,8
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	44,9	19,2	1,1	7,4	1,4	55,7
Фон + Mg ₁	42,0	18,7	0,6	6,8	0,8	52,1
Фон + Mg _{1,5}	42,5	19,7	1,6	7,2	1,2	52,7

Окончание табл. 2

Вариант	Урожайность гороха, ц/га	Содержание белка, %	Прибавка к контролю, %	Сбор белка, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Кормовые единицы, ц/га
Фон + S ₃₆	43,9	18,6	0,5	7,0	1,0	54,4
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	44,0	19,5	1,4	7,4	1,4	54,6
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	42,8	18,2	0,1	6,7	0,7	53,1
НСП ₀₅ варианты уровни	3,46	0,96	–	–	–	–
	1,15	0,67	–	–	–	–

Наибольший сбор белка в фоновом варианте был получен на III уровне содержания в почве обменного магния и составил 7,8 ц/га. В вариантах с некорневыми подкормками магнием непосредственно наибольший сбор белка был получен на II и III уровнях обеспеченности почвы обменным магнием, в вариантах с некорневыми магниевыми подкормками на фоне серы – на I, II и III уровнях и находился в пределах 8,0–8,6 ц/га.

Сбор кормовых единиц с гектара площади зависел от концентрации обменного магния в почве. Повышение содержания в почве обменного магния с I до III уровня способствовало увеличению сбора кормовых единиц, в контрольном варианте – на 13,4 ц/га, в фоновом варианте – на 8,0 ц/га.

Наибольший сбор кормовых единиц с гектара площади получен в вариантах с некорневыми подкормками магнием в дозах 1 и 1,5 кг/га на фоне 60 кг/га серы на II уровне обеспеченности почвы обменным магнием, который составил 61,6–62,9 ц/га.

Экономическая эффективность минеральных удобрений при возделывании гороха также различалась на разных уровнях обеспеченности почвы обменным магнием (табл. 3).

Таблица 3

Экономическая эффективность применения минеральных удобрений под горох на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с разным содержанием обменного магния

Вариант	Прибавка урожайности, ц/га	Стоимость прибавки, USD	Затраты USD/га	Чистый доход, USD/га	Рентабельность, %
<i>I уровень Mg 46–50 мг/кг почвы</i>					
N ₃₀ P ₆₀	5,6	93,0	68,5	24,5	35,7
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ фон	9,8	162,7	97,7	65,0	66,6
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	12,7	210,8	114,9	95,9	83,5
Фон + Mg ₁	15,9	263,9	126,0	138,0	109,5
Фон + Mg _{1,5}	16,4	272,2	130,2	142,0	109,1
Фон + S ₃₆	14,4	239,0	132,2	106,8	80,8
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	18,8	312,1	154,9	157,2	101,5
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	19,4	322,0	159,5	162,6	101,9
<i>II уровень Mg 90–92 мг/кг почвы</i>					
N ₃₀ P ₆₀	7,1	117,9	73,5	44,4	60,5
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ фон	7,7	127,8	90,7	37,1	40,9

Вариант	Прибавка урожайности, ц/га	Стоимость прибавки, USD	Затраты USD/га	Чистый доход, USD/га	Рентабельность, %
$N_{30}P_{60}K_{180}$	10,6	176,0	108,0	68,0	63,0
Фон + Mg_1	11,8	195,9	112,4	83,4	74,2
Фон + $Mg_{1,5}$	12,8	212,5	118,3	94,1	79,6
Фон + S_{36}	10,7	177,6	120,0	57,6	48,0
Фон + S_{36} + Mg_1	13,5	224,1	137,4	86,7	63,1
Фон + S_{36} + $Mg_{1,5}$	14,5	240,7	143,3	97,4	68,0
<i>III уровень Mg 138–147 мг/кг почвы</i>					
$N_{30}P_{60}$	2,9	48,1	59,6	-11,5	-19,2
$N_{30}P_{60}K_{120}$ фон	5,7	94,6	84,1	10,5	12,5
$N_{30}P_{60}K_{180}$	6,3	104,6	93,8	10,8	11,5
Фон + Mg_1	7,2	119,5	97,3	22,3	22,9
Фон + $Mg_{1,5}$	7,5	124,5	100,8	23,7	23,5
Фон + S_{36}	5,9	97,9	104,2	-6,2	-6,0
Фон + S_{36} + Mg_1	6,4	106,2	114,0	-7,8	-6,8
Фон + S_{36} + $Mg_{1,5}$	7,3	121,2	119,6	1,6	1,4
<i>IV уровень Mg 183–198 мг/кг почвы</i>					
$N_{30}P_{60}$	2,6	43,2	58,6	-15,4	-26,4
$N_{30}P_{60}K_{120}$ фон	5,0	83,0	81,8	1,2	1,4
$N_{30}P_{60}K_{180}$	6,5	107,9	94,4	13,5	14,3
Фон + Mg_1	3,6	59,8	85,4	-25,6	-30,0
Фон + $Mg_{1,5}$	4,1	68,1	89,6	-21,6	-24,1
Фон + S_{36}	5,5	91,3	102,8	-11,5	-11,2
Фон + S_{36} + Mg_1	5,6	93,0	111,4	-18,4	-16,5
Фон + S_{36} + $Mg_{1,5}$	4,4	73,0	110,0	-36,9	-33,6

Внесение полной дозы удобрений $N_{30}P_{60}K_{120}$ на I уровне обеспеченности почвы обменным магнием позволило получить чистый доход 65,0 USD/га с рентабельностью 66,6 %, повышение содержания магния в почве до II уровня снизило эти показатели до 37,1 USD/га и 40,9 %. Дальнейшее увеличение концентрации магния в почве до III уровня снизило чистый доход до 10,5 USD/га с рентабельностью 12,5 %, на IV уровне внесение полной фоновой дозы удобрений было нерентабельно.

Внесение повышенной дозы калия 180 кг/га по сравнению с дозой 120 кг/га на I уровне обеспеченности почвы обменным магнием обеспечило увеличение чистого дохода на 30,9 USD/га, рентабельности на 16,9 %, на II уровне – на 30,9 USD/га, на 22,1 % соответственно.

Чистый доход от применения серы в дозе 36 кг/га в виде сульфата аммония на I уровне содержания в почве обменного магния составил 106,8 USD/га при рентабельности 80,8 %, на II уровне – 57,6 USD/га при рентабельности 48,0 %. На III и IV уровне обеспеченности почвы обменным магнием использование серосодержащего удобрения сульфата аммония было нерентабельно.

Наибольшая рентабельность 109,1–109,5 % получена при проведении некорневых магниевых подкормок в дозах 1 и 1,5 кг/га в фазу бутонизации растений гороха на I уровне обеспеченности почвы обменным магнием, чистый доход при этом составил 138,0–142,0 USD/га. Проведение некорневых магниевых подкормок на фоне 36 кг/га серы увеличивало чистый доход до 157,2–162,6 USD/га при рентабельности 101,5–101,9 %. На II уровне содержания в почве обменного магния чистый доход от применения некорневых подкормок сульфатом магния непосредственно и на фоне серы составил 83,4–97,4 USD/га, рентабельность при этом находилась на уровне 63,1–79,6 %. Дальнейшее повышение концентрации обменных форм магния в почве приводило к снижению чистого дохода и рентабельности.

ВЫВОДЫ

1. Повышение обеспеченности почвы обменным Mg с I до III уровня (от 46–50 до 138–147 мг Mg на кг почвы) обусловило повышение урожайности зерна гороха в контрольном варианте без удобрений с 29,2 до 39,8 ц/га. Дальнейшее повышение содержания магния было избыточным и сопровождалось снижением урожайности зерна.

2. Эффективность фоновой дозы удобрений $N_{30}P_{60}K_{120}$ и некорневых подкормок растений гороха в стадию бутонизации раствором сульфата магния снижается по мере повышения содержания обменного магния в почве. Существенные прибавки урожайности зерна гороха 4,1–6,6 ц/га от некорневых подкормок раствором сульфата магния получены только на I и II уровнях содержания обменного магния в почве. При содержании обменного магния на III уровне содержания Mg (138–147 мг/кг почвы) и выше магниевые подкормки были статистически недостоверными или сопровождалось небольшим снижением урожайности зерна.

3. Содержание сырого белка в зерне гороха и его сбор с единицы площади в контрольном варианте и в фоновом варианте были максимальными на III уровне Mg (138–147 мг/кг) обеспеченности почвы обменным магнием, в вариантах с некорневыми магниевыми подкормками на II и III уровнях, дальнейшее повышение содержания обменного магния до IV уровня Mg (183–198 мг/кг) приводило к снижению содержания белка в зерне.

4. Наибольший чистый доход от применения фоновой дозы удобрений (157,2–162,6 USD/га) получен при проведении некорневых магниевых подкормок в дозах 1 и 1,5 Mg кг/га в фазу бутонизации растений гороха на I уровне обеспеченности почвы обменным магнием, на фоне 36 кг/га серы.

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. *Арусстархов, А. Н.* Агрохимическое обоснование применения магниевых удобрений // Плодородие. – 2002. – № 3. – С. 15–17.
5. *Bergmann, W.* Nutritional disorders of plants – development, visual and analytical diagnosis / W. Bergmann [et al.] // Stuttgart, New York. – 1992. – 234 p.
6. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 275 с.
7. *Очковская, Л. В.* Влияние уровней обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы магнием при различном соотношении CaO : MgO на урожай сельскохозяйственных культур и его качество / Л. В. Очковская, В. В. Барашенко // Актуальные проблемы адаптивной интенсификации земледелия на рубеже столетий. – Минск: Бел. изд. тов-во «Хата», 2000. – С 54–57.
8. *Шор, В. Ч.* Возделывание гороха и яровой вики в чистых и смешанных посевах / В. Ч. Шор, Л. И. Белявская // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. тр. 2-е изд., доп. и перераб. / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – С. 179–190.
9. Корма и биологически активные вещества / Н. А. Попков [и др.]; рец. И. П. Шейко. – Минск: Беларуская навука, 2005. – 882 с.
10. *Кукреш, Л. В.* Оценка белка зернобобовых культур по аминокислотному составу / Л. В. Кукреш, И. В. Рышкель // Земляробства і ахова раслін. – 2008. – № 1. – С. 21–24.
11. Зернобобовые культуры / Д. Шпаар [и др.] – Минск: ФУ Аинформ, 2000. – 264 с.
12. Растениеводство: учебное пособие для студентов учреждений, обеспечивающих получение высшего образования по специальности «Агрономия» / К. В. Коледа [и др.]; под ред. К. В. Коледы, А. А. Дудука – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 480 с.
13. Растениеводство / под редакцией проф. В. Н. Степанова. – 2-е изд., перераб. – М.: Колос, 1965. – 470 с.
14. *Таранухо, В. Г.* Горох: значение, биология, технология: пособие / В. Г. Таранухо, С. С. Камасин. – Горки, 2009. – 52 с.
15. *Кукреш, Л. В.* Горох (биология, агротехника, использование) / Л. В. Кукреш Н. П. Лукашевич. – Минск: Ураджай, 1997. – 159 с.
16. *Васин, А. В.* Зернобобовые культуры Среднего Поволжья: монография / А. В. Васин. – Самара: РИЦ СГСХА, 2011. – 275 с.
17. Растениеводство: учебник; под ред. В. А. Федотова. – СПб.: Лань, 2015. – 336 с.
18. Статистический ежегодник 2018 / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2018.
19. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: Сборник отраслевых регламентов. – Минск: Ин-т аграрной экономики НАН Беларуси, 2005. – 460 с.
20. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И. М. Богдевич [и др.] / РУП «Ин-т почвоведения и агрохимии». – Минск, 2010. – 24 с.

**EFFICIENCY OF PEA CULTIVATION AT DIFFERENT LEVELS
OF MAGNESIUM SUPPLY OF LUVISOL LOAMY SOIL**

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

Summary

The evaluation of the efficiency of mineral fertilizers at the cultivation of pea on sod-podzolic loamy soil with different content of exchangeable magnesium in the soil was carried out. It was found on control plots without fertilizers the yield was increased on 26 % in the range of Mg content 46–147 mg/kg of soil. Further increase of Mg content in soil up to 198 mg/kg was excessive; it followed by reduction of grain yield on 3,5 %. The crude protein content in the pea grain was positively influenced by fertilizers as well as by the increasing levels of soil magnesium supply. Maximal yield response 1,88–1,94 t/ha to basic NPK treatment and response to foliar spray of Mg fertilizer with 60 kg S was noted on low content of exchangeable Mg 46–50 mg/kg in soil with total net return of 157,2–162,6 USD/ha with a profitability of 101,5–101,9 %. Efficiency of NPK and Mg fertilizer treatments were strongly reduced on the plots with high level of Mg soil supply.

Поступила 22.04.19

УДК 631.416.8:631.445.24

**МИГРАЦИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
ПО ПРОФИЛЮ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ
ПОД ВЛИЯНИЕМ РЕГУЛЯРНЫХ НАГРУЗОК ЖИДКИХ ОТХОДОВ
ЖИВОТНОВОДСТВА**

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение в сельское хозяйство индустриальных методов сельскохозяйственного производства позволило в полной мере обеспечить потребность современного общества в мясо-молочной продукции. Однако перевод животноводства на промышленную основу привел к возникновению ряда проблем, что обусловлено размещением большого поголовья на небольших площадях и, как следствие, образованием значительных объемов жидких органических отходов. Основной способ их утилизации – внесение на земли сельскохозяйственного назначения под различные сельскохозяйственные культуры. Целесообразность использования жидких отходов животноводства в качестве органических удобрений в рекоменду-

емых дозах не вызывает сомнения, поскольку они, являясь источником макро- и микроэлементов, оказывают благоприятное влияние на плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур [1–8]. В тоже время животноводческие комплексы нередко имеют ограниченную земельную площадь, а невыгодность перевозок жидких отходов животноводства на дальние расстояния приводит их к бессистемному внесению в очень высоких дозах на близлежащие поля. В результате нагрузка этих отходов на 1 га пахотных земель в отдельных сельскохозяйственных организациях составляет 600 т и более. Одним из следствий применения их в необоснованно высоких дозах на ограниченной территории может быть не только избыточное накопление макроэлементов в пахотном слое почвы, но и увеличение содержания тяжелых металлов (ТМ) [9–18].

Большая часть тяжелых металлов, поступивших в почву, закрепляется в верхнем, наиболее гумусированном слое. При этом они, включаясь в существующие миграционные циклы, связываются гумусовыми веществами с образованием как нерастворимых органоминеральных соединений, так и подвижных соединений, которые, мигрируя по почвенному профилю, могут создавать техногенные геохимические аномалии. Кроме того, повышается риск загрязнения тяжелыми металлами грунтовых и поверхностных вод, что может привести к ухудшению экологической ситуации в зоне их воздействия.

К настоящему времени опубликовано большое количество научных работ, освещающих закономерности распределения тяжелых металлов по профилю основных типов почв, а также особенности их миграции под действием различной степени антропогенной нагрузки [19–31]. Проведены научные исследования в нашей стране и за рубежом по изучению влияния жидких отходов животноводства на содержание ТМ в водных объектах при их утилизации на земли сельскохозяйственного назначения [15, 17, 32]. Что касается внутрипрофильного распределения этих элементов в почвах, расположенных вблизи животноводческих комплексов, то в последние годы исследования в нашей республике в этом направлении не проводились.

На сегодняшний день в Республике Беларусь функционирует 198 животноводческих комплексов, в том числе 78 комплексов по откорму крупного рогатого скота и 120 свиноккомплексов. Общая численность поголовья крупного рогатого скота на выращивании и откорме в сельскохозяйственных организациях составляет 4188,1 тыс., свиней – 2734,5 тыс. голов [33]. При существующем поголовье скота ежегодно в организациях агропромышленного комплекса накапливается более 12 млн т экскрементов, при смывании которых технологической водой, в зависимости от ее количества, образуется жидкий навоз и навозные стоки. Отсутствие данных по изменению содержания ТМ в генетических горизонтах дерново-подзолистых почв, на которые в течение длительного времени вносили жидкие отходы животноводства, актуализировало проведение наших исследований.

Цель исследований – установить влияние систематических нагрузок жидкого навоза крупного рогатого скота и свиных навозных стоков на миграцию подвижных форм тяжелых металлов по профилю дерново-подзолистых почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для установления миграции подвижных форм тяжелых металлов по профилю дерново-подзолистых почв заложены разрезы на пахотных землях в ОАО «Вишневецкий-Агро» Столбцовского района Минской области на супесчаной почве и в ОАО «АгроВидзы» Браславского района Витебской области на песчаной и суглинистой почвах:

Почва	Горизонт	Описание профиля
Разрез 1, почва: дерново-подзолистая песчаная, развивающаяся на связных водно-ледниковых песках, сменяемых с глубины около 0,4 м рыхлыми гравийно-хрящеватыми песками (без нагрузки – контроль к разрезу 2)	$A_{\text{пах}}$ 0–18	– пахотный горизонт, песок связный, светло-серого цвета, непрочной мелкокомковато-зернистой структуры, слабо уплотненный, свежий, корни растений, переход заметный;
	A_1 18–37	– гумусово-аккумулятивный горизонт, песок связный, буровато-серого цвета, непрочной мелкокомковато-зернистой структуры, уплотненный, свежий, корни растений, переход заметный;
	A_2B_1 37–63	– элювиально-иллювиальный горизонт, песок рыхлый, грязно-желтого цвета, бесструктурный, свежий, редко корни растений, переход постепенный;
	B_1 63–80	– иллювиальный горизонт, песок рыхлый, желтовато-бурого цвета, бесструктурный, свежий, переход постепенный;
	B_2 80–107	– иллювиальный горизонт, песок рыхлый гравийно-хрящеватый, бурого цвета, бесструктурный, включения валунов.
Разрез 2, почва: дерново-подзолистая песчаная, развивающаяся на связных мореных песках, сменяемых с глубины около 0,4 м рыхлыми гравийно-хрящеватыми песками (жидкий навоз крупного рогатого скота 100–200 т/га в год)	$A_{\text{пах}}$ 0–23	– пахотный горизонт, песок связный гравийно-хрящеватый, серовато-бурого цвета, непрочной мелкокомковато-зернистой структуры, сухой, корни растений, переход постепенный;
	A_1 23–38	– гумусово-аккумулятивный горизонт, песок связный, грязно-бурого цвета, непрочной мелкокомковато-зернистой структуры, свежий, корни растений, переход заметный;
	A_2B_1 38–58	– элювиально-иллювиальный горизонт, песок рыхлый, желтовато-бурого цвета, бесструктурный, свежий, редко корни растений, переход постепенный;

	B_2 58–98	– иллювиальный горизонт, песок рыхлый гра- вийно-хрящеватый, бурого цвета, бесструк- турный, включения валунов.
Разрез 3, почва: дерново-подзолистая слабоглееватая сугли- нистая, развивающаяся на легком пылевато-пес- чанистом суглинке, сме- няемом с глубины 0,6 м песком (без нагрузки – контроль к разрезу 4)	$A_{пах}$ 0–21	– пахотный горизонт, суглинок легкий, мел- кокомковатой структуры, свежий, густо про- низан корнями растений, переход постепен- ный;
	A_1 21–38	– гумусово-аккумулятивный горизонт, суглинок легкий, мелкокомковатой структуры, свежий, корни растений, переход ясный;
	A_{2g} 38–60	– элювиальный горизонт, супесь связная, бес- структурный, свежий, редко корни растений, переход неровный с затеками;
	A_2B_{1g} 60–84	– элювиально-иллювиальный горизонт, песок рыхлый, бесструктурный, влажный, железис- тые новообразования, переход постепенный;
	B_{2g} 84–102	– иллювиальный горизонт, песок рыхлый, бес- структурный, влажный, железистые новообра- зования и сизые пятна оглеения;
Разрез 4, почва: дерново-подзолистая слабоглееватая сугли- нистая, развивающаяся на легком пылевато-пес- чанистом суглинке, сме- няемом с глубины 0,6 м песком (жидкий навоз крупного рогатого скота 900–1000 т/га в год)	$A_{пах}$ 0–24	– пахотный горизонт, суглинок легкий, мел- кокомковатой структуры, свежий, густо про- низан корнями растений, переход постепен- ный;
	A_1 24–43	– гумусово-аккумулятивный горизонт, суглинок легкий, мелкокомковатой структуры, свежий, корни растений, переход неровный;
	A_{2g} 43–63	– элювиальный горизонт, супесь связная, бес- структурный, свежий, редко корни растений, переход неровный с затеками;
	A_2B_{1g} 63–79	– элювиально-иллювиальный горизонт, пе- сок рыхлый, бесструктурный, влажный, же- лезистые новообразования, переход посте- пенный;
	B_{2g} 79–105	– иллювиальный горизонт, песок рыхлый, бес- структурный, влажный, железистые новообра- зования и сизые пятна оглеения.

Разрез 5, почва: дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на связной песчанисто-пылеватой супеси, сменяемой с глубины 0,8 м песком (без нагрузки – контроль к разрезу 6)



$\frac{A_{\text{пах}}}{0-18}$ – пахотный горизонт, супесь связная, песчанисто-пылеватая, мелкокомковатой структуры, свежий, пронизан корнями растений, переход постепенный;

$\frac{A_1}{18-35}$ – гумусово-аккумулятивный горизонт, супесь связная, песчанисто-пылеватая, мелкокомковатой структуры, свежий, корни растений, переход ясный;

$\frac{A_2}{35-55}$ – элювиальный горизонт, супесь рыхлая, желтовато-серого цвета, бесструктурный, свежий, переход заметный;

$\frac{B_1}{55-81}$ – иллювиальный горизонт, супесь рыхлая, буроватого цвета, бесструктурный, влажный, переход постепенный;

$\frac{B_2C}{81-100}$ – переходный к почвообразующей породе горизонт, песок связный, бесструктурный, влажный.

Разрез 6, почва: дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на связной песчанисто-пылеватой супеси, подстилаемой легким моренным суглинком с прослойкой песка на контакте (свиные навозные стоки 500–600 т/га в год)



$\frac{A_{\text{пах}}}{0-21}$ – пахотный горизонт, супесь связная, песчанисто-пылеватая, мелкокомковатой структуры, свежий, пронизан корнями растений, переход постепенный;

$\frac{A_1}{21-39}$ – гумусово-аккумулятивный горизонт, супесь связная, песчанисто-пылеватая, мелкокомковатой структуры, корни растений, свежий, переход резкий;

$\frac{A_2}{39-60}$ – элювиальный горизонт, супесь рыхлая, желтовато-серого цвета, бесструктурный, свежий, переход постепенный;

$\frac{B_1}{60-85}$ – иллювиальный горизонт, песок связный, бесструктурный, влажный, переход ясный с затеками;

$\frac{B_2}{85-110}$ – иллювиальный горизонт, легкий размывтый моренный суглинок, влажный.

Почвенные образцы отбирали по генетическим горизонтам в 5 точках по стенке разреза. В ОАО «АгроВидзы» на дерново-подзолистой песчаной почве применяли севообороты с большим удельным весом зерновых культур, на суглинистой – в течение длительного времени возделывали кукурузу в монокультуре. В ОАО «Вишневецкий-Агро» в последние годы использовали севообороты с преобладанием пропашных культур (сахарная свекла, кукуруза).

На всех сельскохозяйственных землях для отбора почвенных образцов без нагрузки жидких отходов животноводства и при их внесении выбирали участки, расположенные, по возможности, недалеко друг от друга, в сходных условиях рельефа и в пределах той же почвенной видности.

В отобранных почвенных пробах содержание подвижных форм ТМ определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на атомно-абсорбционном спектрометре ICE 3000 Series (согласно [34]) из вытяжки ацетатно-аммонийного буфера (ААБ, рН 4,8).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных данных показал, что в дерново-подзолистой песчаной почве без нагрузок внутрипрофильное распределение подвижных форм ТМ характеризуется неоднородностью. Максимальное их количество сосредоточено в горизонте $A_{\text{пах}}$: Cu – 0,13 мг/кг, Zn – 1,22 мг/кг, Mn – 10,92 мг/кг (табл., рис. 1). При этом биогенная аккумуляция подвижных форм Cu в этой почве слабо выражена, вглубь по профилю распределение их по горизонтам относительно равномерное (0,10–0,12 мг/кг) при незначительном увеличении содержания в нижней части профиля.

Таблица

Содержание подвижных форм тяжелых металлов (ААБ, рН 4,8) в генетических горизонтах дерново-подзолистых почв под влиянием 26-летнего применения жидких отходов животноводства

Дерново-подзолистая почва	Горизонт	Cu	Zn	Mn
		мг/кг		
<i>ОАО «АгроВидзы» Браславского района</i>				
Разрез 1: песчаная (без нагрузки – контроль к разрезу 2)	$A_{\text{пах}}$	0,13	1,22	10,92
	A_1	0,11	0,93	5,02
	A_2B_1	0,10	0,68	4,85
	B_1	0,11	0,52	3,54
	B_2	0,12	0,50	3,50
Разрез 2: песчаная (жидкий навоз крупного рогатого скота 100–200 т/га в год)	$A_{\text{пах}}$	0,15	1,58	15,30
	A_1	0,14	1,39	6,51
	A_2B_1	0,11	0,76	5,14
	B_2	0,13	0,72	3,89
		0,14	0,62	4,13

Окончание таблицы

Дерново-подзолистая почва	Горизонт	Cu	Zn	Mn
		мг/кг		
<i>ОАО «Вишневецкий-Агро» Столбцовского района</i>				
Разрез 5: супесчаная (без нагрузки – контроль к разрезу 6)	A _{пах}	0,18	1,02	10,27
	A ₁	0,12	0,83	5,62
	A ₂	0,10	0,58	2,60
	B ₁	0,12	0,74	2,94
	B ₂ C	0,13	0,87	1,88
Разрез 6: супесчаная (свиные навозные стоки 500–600 т/га в год)	A _{пах}	0,36	3,05	16,41
	A ₁	0,21	2,65	7,83
	A ₂	0,13	0,81	3,25
	B ₁	0,16	1,08	3,72
	B ₂	0,21	1,72	3,48
<i>ОАО «АгроВидзы» Брагского района</i>				
Разрез 3: суглинистая (без нагрузки – контроль к разрезу 4)	A _{пах}	0,16	1,32	12,70
	A ₁	0,09	1,02	6,83
	A _{2g}	0,08	0,53	4,28
	A ₂ B _{1g}	0,11	0,70	4,17
	B _{2g}	0,13	0,70	4,98
Разрез 4: суглинистая (жидкий навоз крупного рогатого скота 900–1000 т/га в год)	A _{пах}	0,48	5,95	33,24
	A ₁	0,25	5,24	11,32
	A _{2g}	0,12	0,95	5,78
	A ₂ B _{1g}	0,17	1,54	5,70
	B _{2g}	0,23	2,36	7,13

Для подвижных соединений Zn отличительным признаком является постепенно убывающий характер накопления вглубь по профилю почвы (от 0,93 мг/кг в горизонте A₁ до 0,50 мг/кг в горизонте B₂). В отличие от Cu и Zn для подвижных форм Mn отмечен ярко выраженный максимум в горизонте A_{пах} и резкое снижение при переходе к горизонту A₁; разница между ними составила более чем 2 раза (10,92 мг/кг против 5,02 мг/кг). С глубины около 40 см содержание подвижных форм Mn последовательно уменьшалось в профиле песчаной почвы до 3,50 мг/кг в горизонте B₂.

Ежегодное внесение жидкого навоза КРС в дозе 100–200 т/га в течение 26 лет на дерново-подзолистую песчаную почву привело к увеличению содержания подвижных форм изучаемых ТМ по всему профилю при сохранении распределения по генетическим горизонтам по аналогии с почвой без нагрузки.

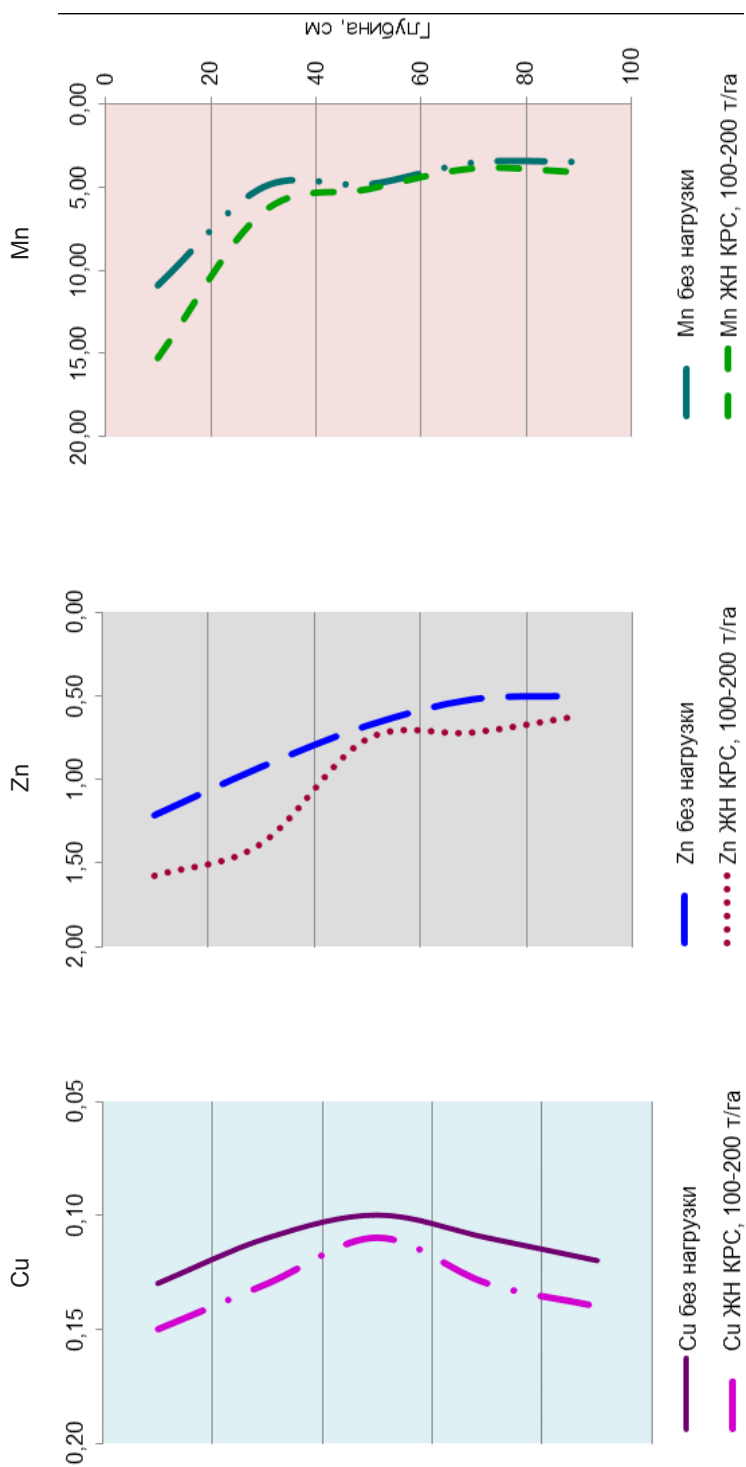


Рис. 1. Распределение подвижных форм Cu, Zn и Mn по профилю дерново-подзолистой песчаной почвы при нагрузке жидкого навоза крупного рогатого скота 100–200 т/га (ОАО «АгроВидзы»), мг/кг почвы

Наиболее высокий уровень аккумуляции ТМ (Cu – 0,15 мг/кг, Zn – 1,58 мг/кг, Mn – 15,30 мг/кг) приурочен к горизонту $A_{\text{пах}}$; прирост для Cu составил 15 %, Zn – 30 %, Mn – 40 % (рис. 2).

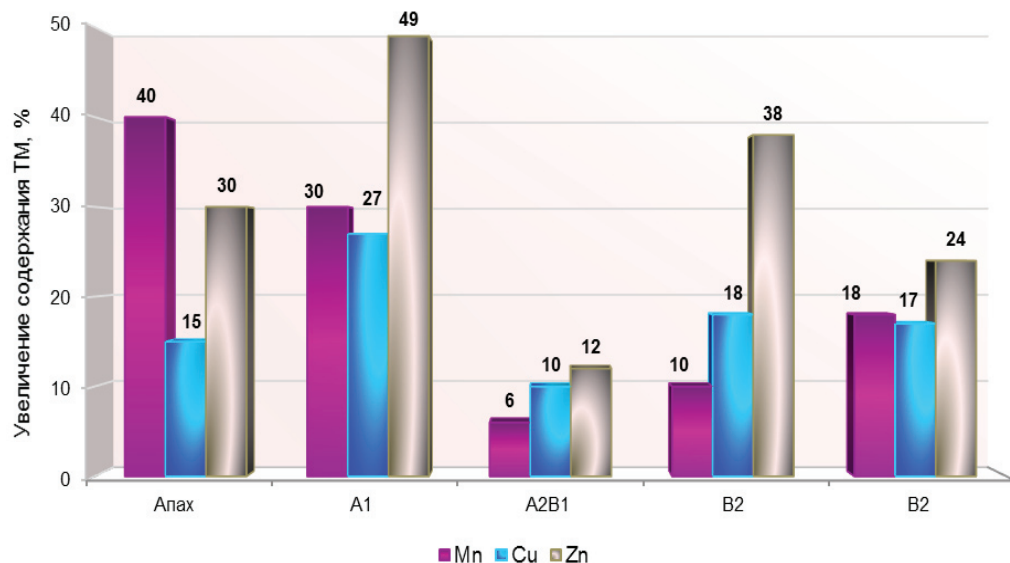


Рис. 2. Прирост содержания подвижных форм Cu, Zn и Mn по профилю дерново-подзолистой песчаной почвы под влиянием нагрузки жидкого навоза крупного рогатого скота 100–200 т/га на протяжении 26 лет, %

Отмечено заметное увеличение количества подвижных форм изучаемых ТМ в гумусово-аккумулятивном горизонте A_1 , в котором превышение по Cu относительно почвы, где жидкий навоз не вносили, составило 27 %, Zn – 49 %, Mn – 30 %. Несмотря на то что распределение их подвижных форм по горизонтам песчанной почвы характеризовалось своими особенностями, под воздействием жидкого навоза КРС из расчета 100–200 т/га минимум накопления (+6–12 %) получен в элювиально-иллювиальном горизонте A_2B_1 при более высоких показателях прироста в горизонте B_2 (Cu – 17–18 %, Zn – 24–38 %, Mn – 10–18 %), что свидетельствовало о достаточно интенсивной миграции в нижележащие горизонты.

В распределении подвижных соединений ТМ по генетическим горизонтам супесчаной и суглинистой почв без нагрузок в сравнении с таковыми в песчаной почве наряду с общими признаками имеются некоторые отличия: прослеживается более четкая аккумуляция в горизонте $A_{\text{пах}}$, обедненность элювиальных горизонтов и некоторое обогащение иллювиальных, т.е. для них характерно наличие двух максимумов накопления. Первый максимум приходится на горизонт $A_{\text{пах}}$, в котором Cu (0,16–0,18 мг/кг), Zn (1,02–1,32 мг/кг) и Mn (10,27–12,70 мг/кг) аккумуляровались в наибольшей степени (табл. 1, рис. 3, 4).

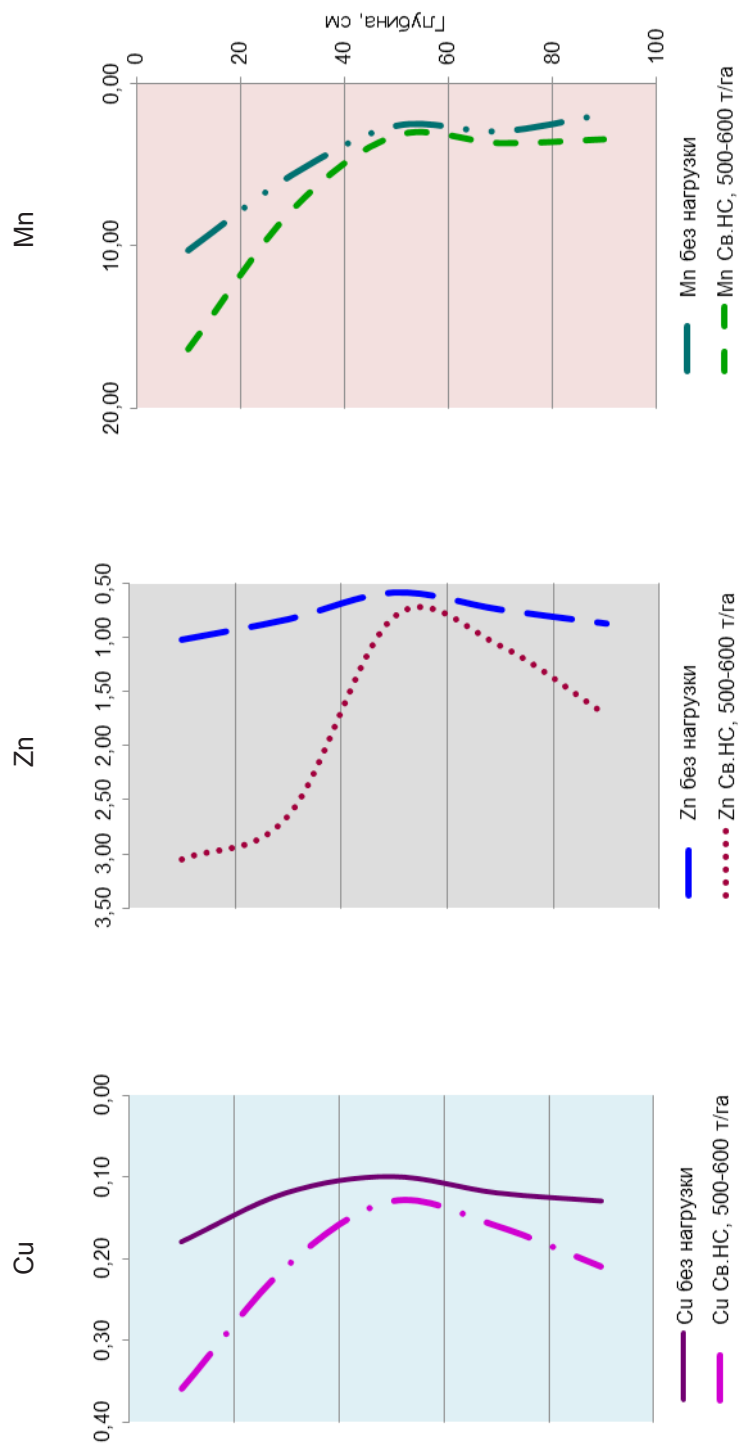


Рис. 3. Распределение подвижных форм Cu, Zn и Mn по профилю дерново-подзолистой супесчаной почвы при нагрузке свиных навозных стоков 500–600 т/га (ОАО «Вишневецкий-Агро»), мг/кг почвы

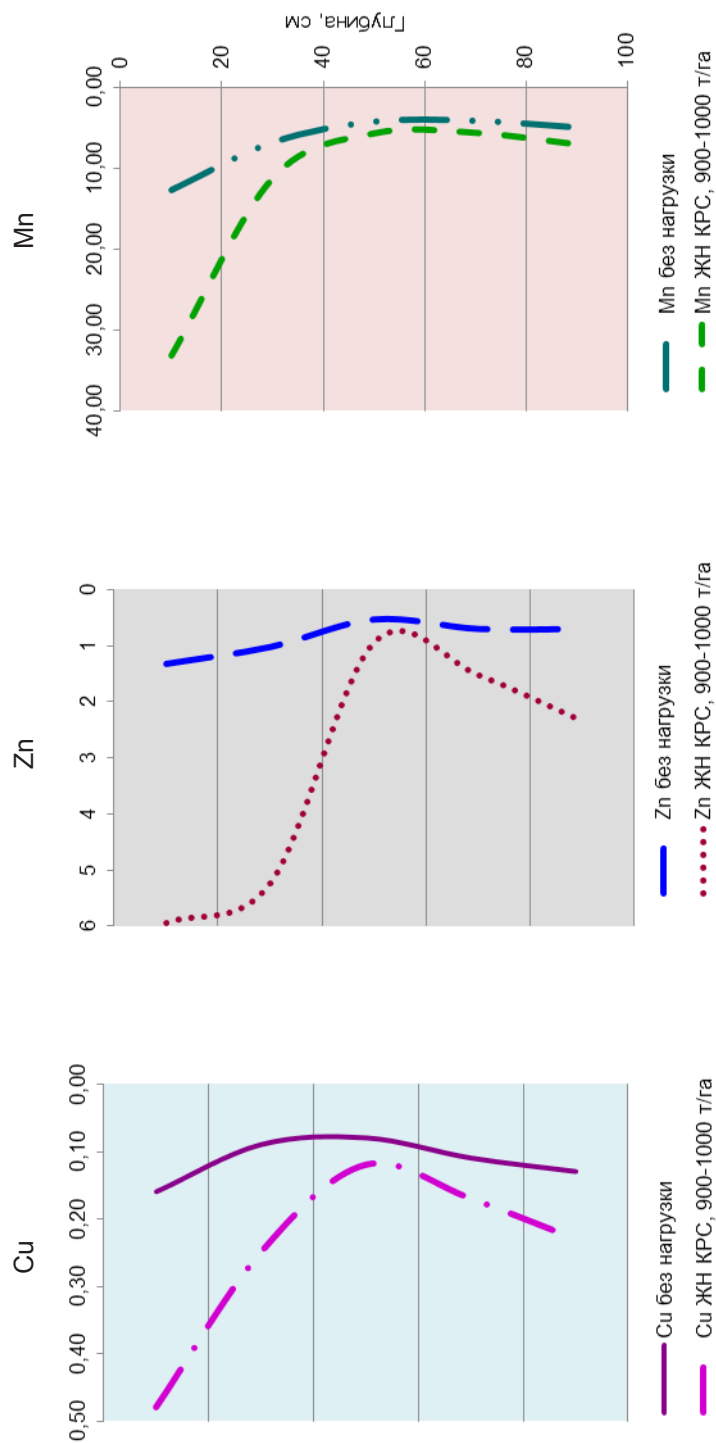


Рис. 4. Распределение подвижных форм Cu, Zn и Mn по профилю дерново-подзолистой суглинистой почвы при нагрузке жидкого навоза крупного рогатого скота 900–1000 т/га (ОАО «АгроВидзы»), мг/кг почвы

Второй максимум приходится на иллювиальный горизонт, что обусловлено миграцией тяжелых металлов из верхних горизонтов в нижележащие с нисходящими токами влаги. В супесчаной почве в горизонте В₁ содержание подвижных соединений Cu составило 0,12 мг/кг, Zn – 0,74 мг/кг, Mn – 2,94 мг/кг; в суглинистой в горизонте В_{2g} – 0,13, 0,70 и 4,98 мг/кг соответственно. Элювиальный горизонт этих почв содержал минимальное количество подвижных форм изучаемых ТМ (Cu – 0,08–0,10 мг/кг, Zn – 0,53–0,58 мг/кг, Mn – 2,60–4,28 мг/кг).

При наличии общих тенденций в распределении подвижных соединений ТМ по генетическим горизонтам с почвами без нагрузок длительная утилизация жидких отходов животноводства на супесчаную и суглинистую почвы способствовала появлению более ярко выраженных максимумов их накопления и элювиально-иллювиальной дифференциации почвенных профилей. Под воздействием свиных навозных стоков в дозе 500–600 т/га в течение 26 лет аккумуляция подвижных форм Cu в горизонте А_{пах} супесчаной почвы достигла 0,36 мг/кг, Zn – 3,05 мг/кг, Mn – 16,41 мг/кг, что превышало аналогичные показатели, где удобрения не вносили: на 100 %, 199 и 60 % соответственно (рис. 5).

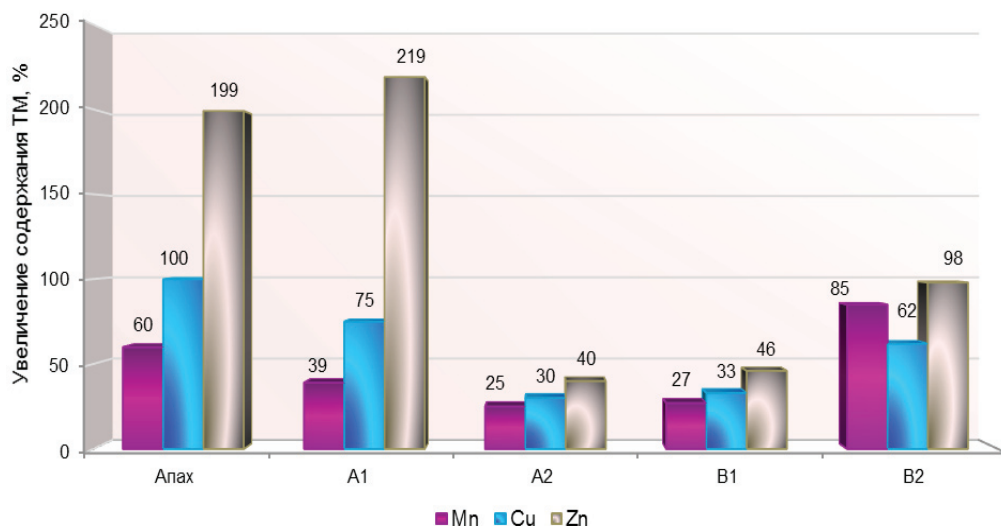


Рис. 5. Прирост содержания подвижных форм Cu, Zn и Mn по профилю дерново-подзолистой супесчаной почвы под влиянием нагрузки свиных навозных стоков 500–600 т/га на протяжении 26 лет, %

В ОАО «АгроВидзы» при дозовой нагрузке жидкого навоза крупного рогатого скота 900–1000 т/га на суглинистую почву уровень содержания подвижных соединений Cu был на 200 % выше, чем в почве без нагрузки; Zn – на 351 %, марганца – на 162 % (рис. 6).

Довольно значительное накопление этих элементов отмечено также для горизонта А₁: в супесчаной почве прирост по Cu составил 75 %, Zn – 219 %, Mn – 39 %; в суглинистой – 178 %, 414 и 66 % соответственно. В элювиальном горизонте супесчаной и суглинистой почв отмечено весьма резкое снижение аккумуляции изучаемых элементов, однако уровень их содержания был выше относительно почв без нагрузок (Cu – на 30–50 %, Zn – на 40–79 %, Mn – на 25–35 %).

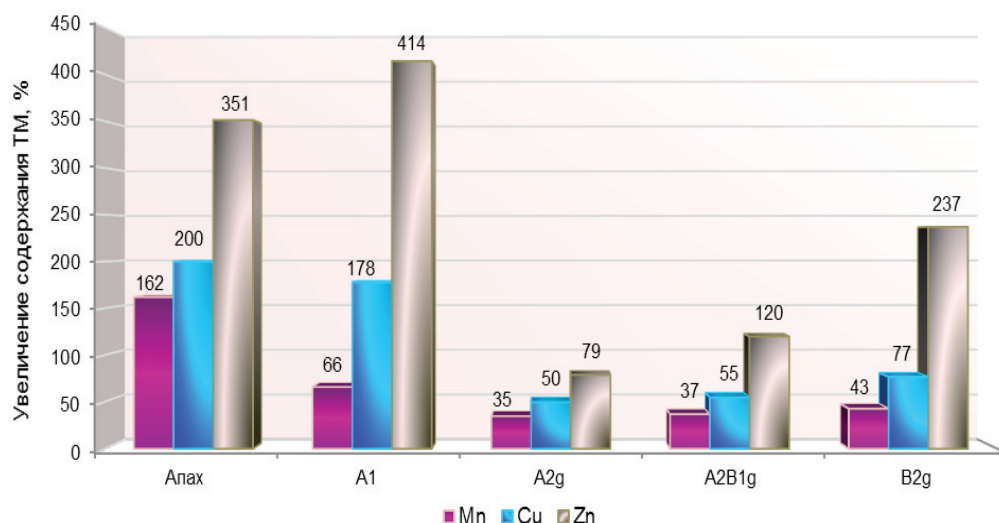


Рис. 6. Прирост содержания подвижных форм Cu, Zn и Mn по профилю дерново-подзолистой суглинистой почвы под влиянием нагрузки жидкого навоза крупного рогатого скота 900–1000 т/га на протяжении 26 лет, %

Начиная с глубины около 60 см, в супесчаной и суглинистой почвах вблизи животноводческих комплексов, точно также как и в почвах без нагрузок, наблюдался постепенно возрастающий характер накопления Cu, Zn и Mn в нижележащих горизонтах. При этом в супесчаной почве при дозе свиных навозных стоков 500–600 т/га второй максимум содержания подвижных форм Cu и Zn наиболее выражен в горизонте В₂ (Cu – 0,21 мг/кг, Zn – 1,72 мг/кг против 0,13 и 0,87 мг/кг в почве без нагрузки); для Mn более высокий показатель (3,72 мг/кг) получен в горизонте В₁. В относительном выражении в горизонте В₂ супесчаной почвы прибавка в содержании подвижных форм Cu составила 62 %, Zn – 98 %, Mn – 85 %. В горизонте В_{2g} суглинистой почвы, подвергающейся воздействию жидкого навоза крупного рогатого скота в дозе 900–1000 т/га в течение 26 лет, аккумуляция подвижных соединений меди на 77 % превышала уровень их содержания в почве, где это удобрение не вносили. По Zn и Mn данные показатели составили 237 и 43 % соответственно.

В целом под воздействием длительных дозовых нагрузок жидких отходов животноводства наибольшая миграционная способность по профилю дерново-подзолистых почв характерна для подвижных соединений Zn. По интенсивности миграции изучаемые ТМ располагаются в следующий нисходящий ряд: Zn > Cu > Mn.

ВЫВОДЫ

1. В песчаной почве распределение подвижных форм Cu по генетическим горизонтам относительно равномерное, Zn – постепенно убывающее, для подвижных соединений Mn характерно резкое снижение при переходе от горизонта А_{пах} к горизонту А₁ и дальнейшее уменьшение вглубь по профилю. Для супесча-

ной и суглинистой почв отмечено наличие двух максимумов накопления ТМ: первый – в горизонте $A_{\text{пах}}$, второй – в иллювиальном горизонте.

2. При ежегодных нагрузках жидкого навоза крупного рогатого скота и свиних навозных стоков в течение 26 лет содержание подвижных форм Zn, Cu и Mn увеличилось по всему профилю дерново-подзолистых почв при биогенно-аккумулятивном характере распределения, сохраняя основные тенденции, установленные для почв без нагрузок. Длительная утилизация жидких отходов животноводства на супесчаную и суглинистую почвы способствовала появлению более ярко выраженных максимумов накопления тяжелых металлов и элювиально-иллювиальной дифференциации почвенных профилей. Максимум их содержания отмечен в горизонте $A_{\text{пах}}$: в песчаной почве (жидкий навоз КРС 100–200 т/га) превышение по подвижным формам Cu относительно почвы без нагрузки составило 15 %, Zn – 30 %, Mn – 40 %; в супесчаной (свиньи навозные стоки 500–600 т/га): Cu – 100 %, Zn – 199 %, Mn – 60 %; в суглинистой (жидкий навоз крупного рогатого скота 900–1000 т/га): Cu – 200 %, Zn – 351 %, Mn – 162 %.

3. При утилизации отходов животноводства на дерново-подзолистые почвы минимальный прирост подвижных форм тяжелых металлов в песчаной почве отмечен в горизонте A_2B_1 (Cu – 10 %, Zn – 12 %, Mn – 6 %); в супесчаной – в горизонте A_2 (Cu – 30 %, Zn – 40 %, Mn – 25 %); в суглинистой – в горизонте A_{2g} (Cu – 50 %, Zn – 79 %, Mn – 35 %). Дополнительная аккумуляция их подвижных соединений глубже 60 см достигла в песчаной почве: Cu – 17–18 %, Zn – 24–38 %, Mn – 10–18 %; в супесчаной: Cu – 33–62 %, Zn – 46–98 %, Mn – 27–85 %; в суглинистой: Cu – 55–77 %, Zn – 120–237 %, Mn – 37–43 %.

4. Под воздействием интенсивных дозовых нагрузок жидкого навоза крупного рогатого скота и свиних навозных стоков наибольшая миграционная способность по профилю дерново-подзолистых почв характерна для подвижных форм Zn. По интенсивности миграции изучаемые тяжелые металлы располагаются в следующий нисходящий ряд: Zn > Cu > Mn.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Серая, Т. М.* Удобрение жидким навозом / Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева // Наше сельское хозяйство. – 2014. – № 2. – С. 52–56.

2. *Барановский, И.* Эффективность жидкого навоза на дерново-подзолистых почвах / И. Барановский, А. Павлоцкий // Главный агроном. – 2010. – № 10. – С. 7–9.

3. *Бабенко, М. В.* Влияние отдельных фракций свиного навоза на продуктивность зернотравяного звена севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / М. В. Бабенко; РГАУ. – МСХА им. К. А. Тимирязева. – Москва, 2016. – 21 с.

4. *Сидорцов, В. В.* Влияние возрастающих доз свиного навоза и его сочетаний с минеральными удобрениями, соломой и сидератом на урожайность, качество картофеля и переход радионуклидов в продукцию: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / В. В. Сидорцов; НИИСХ ЦРНЗ. – Москва, 2000. – 20 с.

5. Сравнительная эффективность органических и минеральных удобрений при возделывании кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве / Т. М. Серая [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 2(47). – С. 70–77.

6. *Самыкин, В. Н.* Использование животноводческих стоков в качестве органических удобрений / В. Н. Самыкин, В. Д. Соловиченко, А. А. Потрясаев // Ресурсосберегающие технологии использования органических удобрений в земледелии: сб. докл. Всерос. науч.-практ. конф. / ВНИИПТИОУ; ред. кол.: А. И. Еськов, С. М. Лукин, И. В. Русакова. – Владимир, 2009. – С. 229–234.

7. *Семененко, С. Я.* Влияние орошения животноводческими стоками на урожай зеленой массы кукурузы / С. Я. Семененко, О. М. Агеенко // Плодородие. – 2017. – № 1. – С. 46–48.

8. Агроэкономическая эффективность жидкого навоза КРС и минеральных удобрений при возделывании кукурузы на зеленую массу на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Т. М. Серая [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2014. – № 4(95). – С. 39–42.

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

10. Влияние регулярных дозовых нагрузок жидких органических удобрений на содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах и их поступление в растениеводческую продукцию / Е. Н. Богатырева [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2018. – № 3. – С. 29–35.

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

12. *Богатырева, Е. Н.* Содержание подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния животноводческих комплексов / Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая // Почвы в биосфере: сб. материалов Всероссийской науч. конф. с межд. участ., посвящ. 50-летию Ин-та почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, 10–14 сент. 2018 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии СО РАН, Томский госуд. ун-т; отв. ред. А. И. Сысо. – Новосибирск, 2018. – С. 186–190.

13. Агроэкологическая оценка нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния животноводческих комплексов / Е. н. Богатырева [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 126–143.

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

15. *Демидов, А. Л.* Воздействие навозосодержащих отходов животноводческих объектов Республики Беларусь на почвенный покров / А. Л. Демидов, В. В. Мажинская, И. В. Жигунова // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: сб. докл. III Междунар. науч. экологической конф., Краснодар, 20–21 марта 2013 г. / Кубанский ГАУ. – Краснодар, 2013. – С. 20–25.

16. Агроэкологическое обоснование ведения сельскохозяйственного производства на мелиорируемых длительно используемых, нарушенных и загрязненных землях: монография; авт. кол-в: И. В. Гурина [и др.]. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2014. – 484 с.

17. Агроэкологические основы и технологии использования бесподстилочного навоза / Г. Е. Мерзлая [и др.]. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2006. – 463 с.

18. Хемдан, И. М. М. Влияние многолетнего внесения животноводческих стоков на плодородие дерново-подзолистых почв и урожайность многолетних трав: На примере Московской области: дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / И. М. М. Хемдан. – М., 2004. – 162 л.

19. Дубиковский, Г. П. Закономерности распределения микроэлементов в почвах Белорусской СР и их влияние на растения: дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04 / Г. П. Дубиковский. – Каунас, 1975. – 423 л.

20. Панасин, В. И. Основные закономерности распределения микроэлементов в почвах и эффективность микроудобрений в Западной части Нечерноземной зоны РСФСР: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / В. И. Панасин. – Минск, 1986. – 527 л.

21. Плеханова, И. О. Трансформация соединений тяжелых металлов в почвах при увлажнении: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.27 / И. О. Плеханова; МГУ. – М., 2016. – 51 с.

22. Экологические и медико-социальные аспекты охраны природной среды и здоровья населения: монография / сост. В. Г. Макарова [и др.]. – Минск: Бит «Хата», 2002. – 155 с.

23. Кутукова, Ю. Д. Состояние тяжелых металлов в почвах и накопление их растениями при внесении осадков сточных вод и мелиорантов: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.27 / Ю. Д. Кутукова. – М., 2001. – 140 л.

24. Шихова, Л. Н. Содержание и динамика тяжёлых металлов в почвах Северо-Востока европейской части России: дис. ... д-ра с.-х. наук: 03.00.27 / Л. Н. Шихова. – Киров, 2005. – 396 л.

25. Митяшина, С. Н. Влияние последствий различных систем применения удобрений на гумусовое состояние и подвижность тяжелых металлов в дерново-подзолистых суглинистых почвах: дис. ... канд. с.-х. наук: 03.00.27 / С. Н. Митяшина. – С.-П.–Пушкин, 2005. – 203 л.

26. Акатова, А. А. Распределение тяжелых металлов в профиле дерново-подзолистых почв на флювиогляциальных песках / А. А. Акатова, М. А. Ефремова // Почвы в биосфере: сб. материалов Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 10–14 сент. 2018 г.: в 2 ч. / Ин-т почвоведения и агрохимии СО РАН, Томский гос. ун-т: редкол.: А. И. Сысо [и др.]. – Томск, 2018. – Ч. 1. – С. 162–164.

27. Бреус, И. П. Миграция тяжелых металлов с инфильтрационными водами в основных типах почв Среднего Поволжья / И. П. Бреус, Г. Р. Садриева // Агрохимия. – 1997. – № 6. – С. 56–64.

28. Миграция подвижных форм тяжелых металлов в почвах Оренбургской области / И. В. Ефремов [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10(185). – С. 388–390.

29. Волошин, Е. И. Цинк в пахотных почвах Красноярского края / Е. И. Волошин // Агрохимия. – 2002. – № 5. – С. 33–40.

30. *Раскатов, А. В.* Агроэкологические аспекты транслокации тяжелых металлов в почве и растениях: На примере дерново-подзолистых почв Ивановской области: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.15 / А. В. Раскатов. – М., 2000. – 175 л.

31. *Гукалов, В. Н.* Трансформация валовых и подвижных форм тяжелых металлов в агроландшафтных системах: монография / В. Н. Гукалов. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 219 с.

32. *Михеев, В. А.* Ресурсосберегающая технология создания устойчивых агроценозов многолетних трав при использовании животноводческих стоков: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.12 / В. А. Михеев. – М., 2003. – 417 л.

33. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2018 / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2018. – 490 с.

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

MIGRATION OF MOBILE FORMS OF HEAVY METALS ALONG THE PROFILE OF SOD-PODZOLIC SOILS UNDER THE INFLUENCE OF REGULAR LOADS OF LIQUID ANIMAL WASTE

**E. N. Bogatyrova, T. M. Seraya, Y. A. Belyavskaya,
T. M. Kirdun, M. M. Torchilo**

Summary

With loads of liquid animal waste for 26 years, the content of mobile forms Zn, Cu and Mn increased throughout the profile of sod-podzolic soils under the biogenic-accumulative nature of the distribution, while maintaining the main trends established for soils without loads. In sandy soil (liquid manure of cattle 100–200 t/ha) the increase in the content of mobile forms of Cu in genetic horizons was 10–27 %, Zn – 12–49 %, Mn – 6–40 %; in sandy loam (pig manure effluents 500–600 t/ha) – 30–100 % Cu, 40–219 % Zn, 25–85 % Mn; in loamy (liquid manure of cattle 900–1000 t/ha) – 50–200 % Cu, 79–414 % Zn, 35–162 % Mn. By migration intensity heavy metals are arranged in a row: Zn > Cu > Mn.

Поступила 18.04.19

ПОДВИЖНЫЙ КАЛИЙ ПОЧВЫ И НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ

Ю. В. Путятин

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

ВВЕДЕНИЕ

Временные изменения содержания различных форм нахождения радионуклидов в почве могут сказываться на эффективности агрохимических защитных мер в снижении перехода радионуклидов в растения. В первую очередь, это касается контрмер, эффект которых обусловлен уменьшением доли подвижных форм радионуклидов. Выход радионуклидов из топливных частиц в начальный период после аварии и последующая их сорбция определили дальнейшее поведение радионуклидов в почвах и в системе «почва–растение». Как показывают многочисленные исследования, содержание мобильных форм ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах не различалось в течение двух-трех лет после аварии. Пик содержания водорастворимых и обменных форм радиоцезия достигал 40 % (суммарно) в 1988–1989 гг., и затем их содержание снизилось до 5–10 % за счет сорбции почвенными минералами. Содержание мобильных форм ^{90}Sr нарастало от 5–10 % в первые два года после выпадений, до 50–70 % к 1990 г. Выход радионуклидов из топливных частиц и последующая их сорбция определили дальнейшее поведение радионуклидов в почвах и в системе почва–растение. В настоящее время, в радиационно-стабильных условиях, доля фиксированной фракции ^{137}Cs составляет 83–98 % от валового содержания в почве, содержание ^{90}Sr в прочносвязанной форме не превышает 7–12 % [1–3]. Выветривание и выщелачивание радионуклидов из топливных частиц выпадений под влиянием природных процессов привело к тому, что ведущая роль физико-химических форм выпадений как фактора, обуславливающего радиоэкологическую обстановку, уменьшается, а со временем роль почвенно-климатических факторов увеличивается.

По данным Гулякина И. В. и Юдинцевой Е. В. [4], наиболее эффективной дозой уменьшения накопления ^{137}Cs в растениях на дерново-подзолистой почве они считают количество калия, эквивалентное 12,5 % емкости поглощения. Меньшее поглощение ^{137}Cs в растениях под влиянием калия вышеназванные авторы объясняют антагонизмом ионов ^{137}Cs и калия, проникающих через корневую систему на первой стадии их поступления, т.е. в процессе сорбции на поверхности корневой системы. Эффективность калийного удобрения как средства снижения загрязнения ^{137}Cs урожая снижается с увеличением обеспеченности почвы подвижным калием.

Эффект от применения калийных удобрений как средства, ограничивающего поступление ^{137}Cs из почвы в растения, заметнее проявляется на почвах с низкой концентрацией обменного калия. С увеличением степени обеспеченности почв калием эффективность этого защитного мероприятия снижается. Применение повышенных доз калийных удобрений на дерново-подзолистых супесчаных почвах со

средней обеспеченностью калием позволяет сократить поступление ^{137}Cs в сельскохозяйственные культуры до 70 %, ^{90}Sr – до 40 %. Наиболее рациональным, в условиях производства на загрязненных территориях, для поддержания высокого уровня калия в почвенном растворе является применение дифференцированных доз калийных удобрений в зависимости от обеспеченности почвы калием. Внесение удобрений с учетом исходного содержания калия в почве способствует увеличению концентрации подвижных форм данного элемента в пахотном горизонте в вегетационный период и более полному усвоению его растениями [5–9].

Цель наших исследований заключалась в определении параметров содержания подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве, обеспечивающих минимум накопления ^{137}Cs сельскохозяйственными растениями.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Маршрутные исследования проводились в 2007–2018 гг. путем отбора проб растительных образцов в фазы технической спелости и сопряженных почвенных образцов в производственных посевах Хойникского и Брагинского районов Гомельской области методом учетных площадок на дерново-подзолистых супесчаных почвах. Почвенные образцы отбирались из пахотного слоя (0–20 см). Представительные пробы формировались из точечных проб. Масса воздушно-сухого образца почвы для проведения анализа на содержание радионуклидов ^{137}Cs составляла 1,0 кг. Из точечных растительных проб массой 0,6–1,0 кг формировали объединенную пробу в зависимости от содержания золы и сухого вещества массой 2 кг для трав, зерновых и зернобобовых.

Почвенные образцы отбирали методом конверта, т.е. один смешанный образец состоял из 5-ти индивидуальных проб, взятых на глубину перегнойного горизонта с площади 1 м² с помощью почвенного тростевого бура.

Все данные по удельной активности растительных образцов (Бк/кг) пересчитывались на стандартную влажность: для зерна – 14 %, семян рапса – 9 %, семяна – 16 %, зеленой массы – 82 % и картофеля – 80 %.

Анализ почвенных и растительных образцов проводили в соответствии с общепринятыми методиками: содержание подвижного калия – по Кирсанову (0,2 М HCl) с последующим определением на пламенном фотометре (ГОСТ 26207-84); измерения удельной активности ^{137}Cs в растительных и почвенных образцах проводили в соответствии с методами испытаний МИ 2143-91 “Государственная система обеспечения единства измерений. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре”, утвержденными 28.12.1990 г. Линия гамма-излучения ^{137}Cs соответствовала 661,66 кэВ. Ошибка измерений не превышала 5–7 %. Геометрия измерений – сосуд Маринелли емкостью 1 литр;

Методы математической обработки результатов. Коэффициенты перехода (Кп) радионуклида ^{90}Sr из почвы в растения рассчитывались по формуле:

$$K_p = \frac{A_p}{A_s}, \quad (1)$$

где A_p – удельная активность радионуклида в растении (Бк кг⁻¹); A_s – плотность загрязнения почвы радионуклидом (кБк м⁻²).

Значения агрохимических свойств почв, при которых наблюдается минимальное накопление ^{137}Cs , рассчитывались на основе квадратичной функции распределения путем деления коэффициента пропорциональности первого порядка на удвоенное значение коэффициента второго порядка. Для математической обработки экспериментального материала использовали регрессионный, корреляционный и методы описательной статистики с использованием программного обеспечения MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В республике внесение калийных удобрений дифференцируется в зависимости от типа почв, плотности загрязнения радионуклидами с учетом исходного содержания в почвах подвижного калия. Основные и дополнительные фонды удобрений выделяются пострадавшим районам независимо от структуры посевных площадей. В зависимости от плотности загрязнения и обеспеченности дерново-подзолистых почв подвижным калием дополнительные дозы K_2O составляют 44 % (27–150 %) от основной потребности культур в калии [10].

В качестве оценки эффективности применения повышенных доз калийных удобрений на макроуровне (в разрезе районов) можно рассматривать связь между плотностью загрязнения почв и средневзвешенной величиной содержания в них подвижного калия (рис. 1). При таком анализе по 21 загрязненному району Беларуси наиболее тесная связь между плотностью загрязнения пахотных почв ^{137}Cs и содержанием подвижного калия выявлена у легкосуглинистых почв ($r = 0,71$), менее тесная – у супесчаных ($r = 0,59$) и песчаных почв ($r = 0,53$). Эти данные свидетельствуют о том, что «Инструкция определения дополнительной потребности материально-технических ресурсов для сельского хозяйства в зоне радиоактивного загрязнения», разработанная Институтом почвоведения и агрохимии в 1999 г., способствует не только минимизации поступления радионуклидов в растениеводческую продукцию, но и повышению плодородия загрязненных почв.

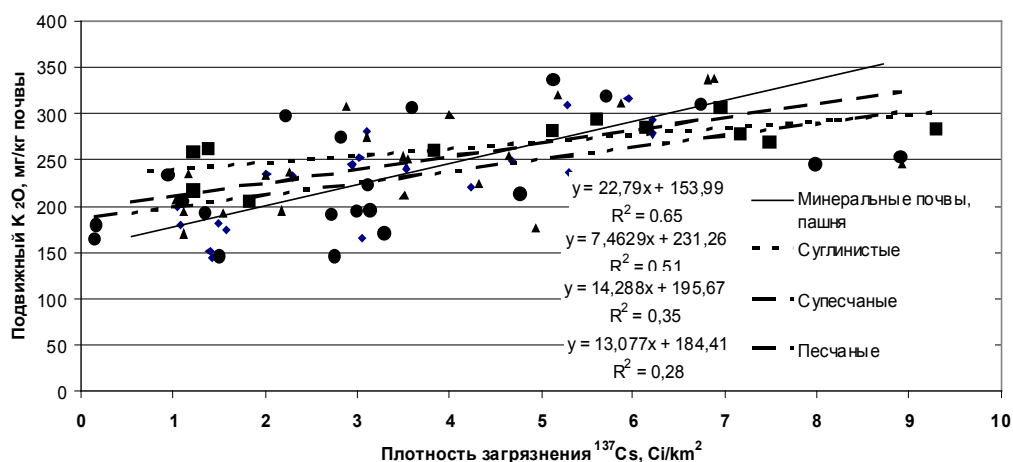


Рис. 1 Зависимость плотности загрязнения пахотных почв ^{137}Cs и содержания подвижного калия по районам

Несмотря на то что химический состав растений контролируется генетически, уровень минерального питания оказывает существенное влияние на химический состав продукции растениеводства [11]. При этом более значительные изменения химического состава от условий питания характерны для вегетативных органов, нежели для репродуктивных. Корреляционный анализ показал достаточно тесную отрицательную взаимосвязь (r) между содержанием подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве и коэффициентами перехода (K_p) ^{137}Cs в растениеводческую продукцию (табл. 1). Для зерновых культур коэффициенты корреляции составили от $-0,78$ до $-0,45$ – у кукурузы, $-0,75$ – рапса, $-0,79$ – картофеля, от $-0,45$ до $-0,77$ – у злаковых и бобовых трав.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции (r) между содержанием подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве и коэффициентами перехода (K_p) ^{137}Cs в продукцию растениеводства

Культура	Продукция	Выборка	r
Яровая пшеница	Зерно	22	$-0,81$
Ячмень	Зерно	48	$-0,78$
Рапс	Семена	34	$-0,75$
Картофель	Клубни	52	$-0,79$
Кукуруза	Зеленая масса	120	$-0,57$
Тимофеевка луговая	Сено	44	$-0,77$
Клевер луговой	Сено	39	$-0,61$
Люцерна	Сено	27	$-0,45$
Донник белый	Сено	31	$-0,58$

По результатам анализа растительных и сопряженных почвенных образцов, отобранных в производственных посевах, рассчитаны параболические зависимости между содержанием подвижного калия в почве и величиной накопления радионуклидов урожаем. На основании уравнений, полученных при квадратичной аппроксимации, рассчитано содержание подвижного калия, при котором отмечено минимальное накопление ^{137}Cs растениеводческой продукцией (табл. 2, рис. 2, 3).

Таблица 2

Содержание подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве, при котором наблюдается минимальное накопление ^{137}Cs сельскохозяйственными растениями

Культура	Продукция	Выборка	R^2	Подвижный K_2O^* , мг/кг почвы
Пшеница яровая	Зерно	22	0,72	419
Ячмень	Зерно	48	0,65	413
Рапс	Семена	34	0,65	454
Картофель	Клубни	52	0,72	465
Кукуруза	Зеленая масса	120	0,68	432
Тимофеевка луговая	Сено	44	0,61	412
Клевер луговой	Сено	39	0,56	506
Люцерна	Сено	27	0,73	437
Донник белый	Сено	31	0,42	327
Среднее \pm SD	–	–	–	429 \pm 49

* Содержание K_2O в почве, при котором отмечено минимальное накопление ^{137}Cs .

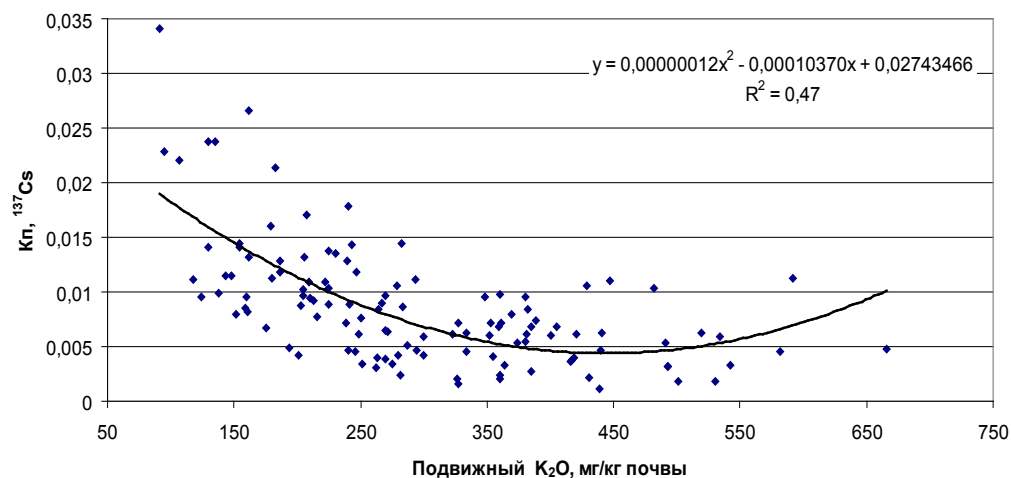


Рис. 2. Коэффициенты перехода (Кп) ^{137}Cs в зеленую массу кукурузы в зависимости от содержания подвижного калия в дерново-подзолистых супесчаных почвах

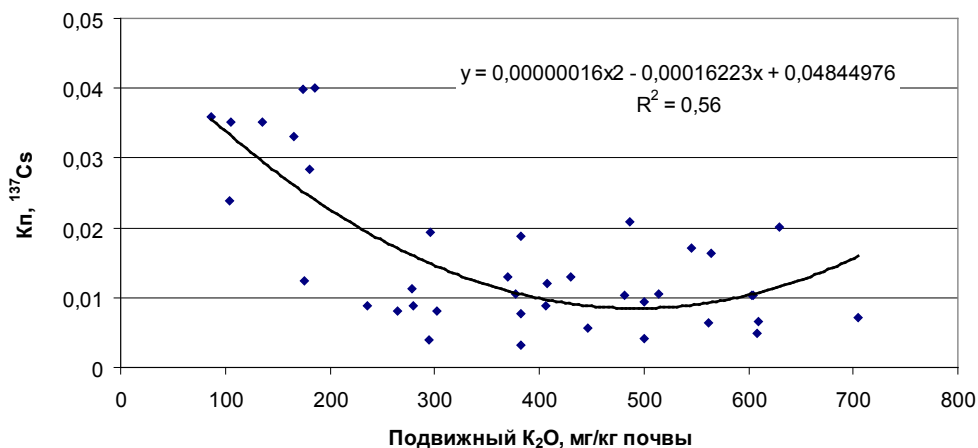


Рис. 3. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в сухое вещество зеленой массы клевера в зависимости от содержания подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве

Содержание подвижного калия, при котором отмечено минимальное накопление ^{137}Cs зерновыми культурами (яровая пшеница, ячмень) находится в пределах 413–419 мг/кг ($R^2 = 0,65 - 0,72$), рапсом – 454 мг/кг ($R^2 = 0,65$), картофелем – 465 мг/кг ($R^2 = 0,72$), кукурузой – 432 мг/кг ($R^2 = 0,68$), тимофеевкой луговой – 412 мг/кг ($R^2 = 0,61$), клевером луговым – 506 мг/кг ($R^2 = 0,56$), люцерной – 437 мг/кг ($R^2 = 0,73$), и донником белым – 327 мг/кг ($R^2 = 0,42$).

При обработке данных полевых и спектрометрических исследований методом описательной статистики, проведенной с 9 исследуемыми культурами, установлено, что среднее значение обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижным калием, при котором наблюдается минимальное накопление

радиоцезия, составляет 429 мг/кг почвы, с учетом величины стандартного отклонения интервал данного показателя находится в пределах 380–478 мг/кг почвы. Согласно градациям по содержанию подвижного калия минеральные почвы Беларуси подразделяются на очень низко обеспеченные (менее 80 мг/кг), низко обеспеченные (81–140 мг/кг), среднеобеспеченные (141–200 мг/кг), с повышенным содержанием (201–300 мг/кг), высоко обеспеченные (301–400 мг/кг) и очень высоко обеспеченные (более 400 мг/кг). Рассчитанный показатель содержания подвижного калия в почве, при котором отмечается минимальное накопление ^{137}Cs сельскохозяйственными культурами, соответствует градации – очень высоко обеспеченным почвам и существенно выше оптимальных агрохимических параметров для дерново-подзолистых связносупесчаных почв, который составляет 190–250 мг/кг почвы [12]. По данным XIII тура обследования в загрязненных районах доля пахотных почв с содержанием подвижного калия свыше 300 мг/кг составляет в Гомельской области 28 %, в Могилевской – 24 %. В Кормянском, Хойникском и Чечерском районах доля пахотных почв с содержанием подвижного калия свыше 400 мг/кг составляет более 20 %. В практике достижение и поддержание вышеназванных параметров на легких почвах представляется трудновыполнимой задачей ввиду высокой подвижности и интенсивного выщелачивания калия в подпахотные горизонты.

На пахотных землях при возделывании зерновых культур на основании анализа «затраты-выгода» показано, что затраты на предотвращение коллективной дозы за счет повышения содержания калия составляют от 80 до 700 тыс. USD на 1 чел.-Зв в зависимости от плотности загрязнений почв ^{137}Cs пострадавших районов, что является экономически не целесообразным при нормативе в 40 тыс. USD [13].

На радиоактивно загрязненных территориях оптимальные уровни содержания калия определяются не только с агрономической, но и с радиологической точки зрения. При этом в ряде случаев, при повышенной требовательности возделываемых культур к почвенному плодородию и разной степени подвижности ^{137}Cs в почве, эти параметры могут не совпадать по своим значениям, что определяет необходимость устанавливать в разных случаях минимально значимые агрохимические или радиологические параметры. В настоящее время по отношению к большинству сельскохозяйственных культур достижение минимального содержания ^{137}Cs в растениеводческой продукции не имеет экономического смысла и следует ориентироваться на оптимальный диапазон содержания подвижных форм калия для получения высокой урожайности культур – агрохимические оптимумы.

ВЫВОДЫ

1. В результате обработки данных, полученных в маршрутных исследованиях, проведенных на дерново-подзолистых супесчаных почвах, загрязненных радионуклидами, установлена достаточно тесная отрицательная связь между содержанием в почве подвижного калия и накоплением ^{137}Cs сельскохозяйственными культурами.

2. Эффективность насыщения почвы калием в дискриминации ^{137}Cs значительно выше на почвах с низкой обеспеченностью данным элементом питания растений.

3. В полевых условиях, в зависимости от биологических особенностей культур, пределы «калиевой терапии», или минимальное накопление радиоцезия отмечается у яровой пшеницы и ячменя в интервале 413–419 мг/кг, у ярового рапса – при 454 мг/кг, картофеля – 465, кукурузы – 432 мг/кг, тимофеевки луговой – 412 мг/кг, клевера лугового – 506 мг/кг, люцерны – 437 мг/кг и донника белого – при 327 мг/кг содержания подвижного калия в почве. На практике достижение и поддержание вышеназванных параметров на легких почвах представляется высокозатратной задачей ввиду высокой подвижности и интенсивного выщелачивания калия в подпахотные горизонты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архипов, А. Н.* Поведение ^{90}Sr и ^{137}Cs в агроэкосистемах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС: автореф. дис. ...канд. биол. наук: 03.00.01 / В. А. Котик; Всерос. науч.-исслед. ин-т с.-х. радиологии и агроэкологии. – Обнинск, 1995. – 26 с.
2. Формы нахождения в почвах и динамика накопления ^{137}Cs в сельскохозяйственных культурах после аварии на Чернобыльской АЭС / Н.И. Санжарова [и др.] // Почвоведение. – 1997. – № 2. – С. 129–134.
3. *Круглов, С. В.* Распределение и формы нахождения радиоактивных и стабильных изотопов Cs и Sr в торфяных почвах / С. В. Круглов, Б. В. Осипов, Е. В. Просьяников // Радиозэкология торфяных почв: материалы междунар. конф. / С.-Петербург. гос. аграр. ун-т. – СПб., 1994. – С. 95–97.
4. *Гулякин, Н. В.* Влияние доз калия на поступление цезия-137 в растения / Н. В. Гулякин, Е. В. Юдинцева, А. Н. Алпатова // Доклады ТСХА. – 1965. – Вып. 115. – С. 55–60.
5. *Путятин, Ю. В.* Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию: монография / Ю. В. Путятин. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 255 с.
6. *Путятин, Ю. В.* Влияние калийных удобрений и кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы на урожайность и накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr ячменем / Ю. В. Путятин, Т. М. Серая, А. И. Соколик // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 2(35). – С. 213–220.
7. *Путятин, Ю. В.* Влияние калийного питания и кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы на урожай и накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr яровым рапсом и картофелем / Ю. В. Путятин, Т. М. Серая, А. И. Соколик // Известия Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграрных наук. – 2006. – № 3. – С. 47–53.
8. Влияние калийных удобрений и кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы на урожайность и накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr люпином / Ю. В. Путятин [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 2(37). – С. 167–176.
9. 20 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление. Национальный доклад // Под ред. В. Е. Шевчука, В. Л. Гурачевского. – Минск: Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете министров Республики Беларусь, 2006. – 112 с.
10. Инструкция определения дополнительной потребности материально-технических ресурсов для сельского хозяйства в зоне радиоактивного загрязнения. – Минск, 1999. – 26 с.

11. *White, P. J.* Mechanisms of caesium uptake by plants / P. J. White, M. R. Brodeley // *New Phytologist*. – 2000. – Vol. 147. – P. 241–256.

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

13. *Путятин, Ю. В.* Прогноз снижения коллективной дозы облучения населения Республики Беларусь за счет оптимизации содержания подвижного калия в почвах, загрязненных ^{137}Cs / Ю. В. Путятин, О. Б. Адианова // *Радиационная биология. Радиозэкология*. – 2010. – Т. 50 – № 6. – С. 723–731.

MOBILE POTASSIUM OF SOIL AND ^{137}Cs ACCUMULATION BY AGRICULTURAL CROPS

Y. V. Putyatin

Summary

In field experiments conducted on sod-podzolic loamy sand soil, close negative correlations between the content of mobile potassium in the soil and the accumulation of ^{137}Cs by plants were found. The efficiency of saturation of the soil potassium in the discrimination of ^{137}Cs is much higher on soils with low potassium content. The minimum biological availability of radio caesium is observed for spring wheat and barley in the range of 413–419 ppm, spring rape – at 454 ppm, potatoes – at 465, corn – at 432 ppm, timothy grass – at 412 ppm, clover – 506 ppm, alfalfa – 437 ppm and arctic clover – at 327 ppm of mobile K_2O content in the soil.

Поступила 12.04.19.

УДК 631.438.2: 631.445.24

ВЛИЯНИЕ ГУМУСОВОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВ НА НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ^{137}Cs И ^{90}Sr КОРМОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ

Ю. В. Путятин

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

ВВЕДЕНИЕ

Гумус – это сложный комплекс органических соединений, образующихся в почве в результате микробиологического и физико-химического преобразования органических остатков растительного и животного происхождения. Гумус составляет 85–90 % органического вещества почвы и является важным критерием при оценке ее плодородия. Гумус придает определенные химические и физические

свойства почве. В почвенном гумусе аккумулируется энергия, ассимилированная в растениях при фотосинтезе. Гумусовые кислоты, воздействуя на первичные и вторичные минералы почв, вызывают их распад и способствуют образованию органоминеральных веществ. Благодаря гумусовым соединениям отдельные части почвы склеиваются в структурные агрегаты [1]. Динамика содержания гумуса зависит от почвенно-климатических условий, способа и интенсивности обработки почвы, структуры посевных площадей, уровня химизации и других факторов [2]. Накопление гумуса в почвах за счет специальных мероприятий оправдано, если оно позволяет эффективнее других средств улучшать свойства почвы, ограничивающие рост урожайности культур [3].

Наиболее существенное влияние на поступление ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения из дерново-подзолистых почв оказывает содержание обменных катионов калия, кальция, магния и содержание гумуса, которое, в свою очередь, определяют емкость катионного обмена и степень кислотности почв [4–8].

Важнейшим из этих показателей, определяющим миграционную способность радионуклидов, является содержание в почвенном компоненте органического вещества. Органическое вещество почвы способно образовывать сложные комплексные соединения с поллютантами, поэтому в почвах с высоким содержанием гумуса они менее доступны для поглощения. Гумус объединяет огромный комплекс или группу химических веществ, в состав которых входит как органическая часть (гуминовые и фульвокислоты), так и неорганическая составляющая – химические элементы неорганического происхождения [9]. Органическая часть гумуса – гуминовые кислоты, которые обладают высокой сорбционной емкостью по отношению к рудным элементам, а также изотопным носителям долгоживущих радионуклидов: 1 г гуминовых кислот сорбирует 30 мг цезия, 18 мг стронция. В связи с этим гуминовые кислоты выступают как эффективный геохимический барьер, ограничивающий подвижность ионов радионуклидов [10].

Одним из ведущих механизмов взаимодействия радионуклидов с торфяно-болотными почвами является механизм ионного обмена, в котором основную роль играют гумусовые кислоты (гуминовые и фульвокислоты), находящиеся в почвенном растворе. Согласно данным Вирченко Е. П., Агапкиной Г. И. [11], до 70 % ^{137}Cs обнаруживается в гуматах, около 20 % приходится на фракцию гуминовых кислот. ^{90}Sr соединяется с наиболее подвижными компонентами почвенного гумуса, входящими в состав фульвокислотной фракции [12].

Ряд исследователей указывают, что увеличение перехода ^{137}Cs из почвы в растения обусловлено наличием аммонийной формы азота (NH_4^+) в азотных удобрениях, способной замещать связанные обменные катионы в гумусе и глинистых минералах, вытесняя их в почвенный раствор и увеличивая доступность для корневого усвоения растениями [13–16].

Цель наших исследований заключалась в определении параметров содержания гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве, обеспечивающих минимум накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr кормовыми культурами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Маршрутные исследования проводились в 2011–2018 гг. путем отбора проб растительных образцов в фазы технической спелости и сопряженных почвенных образцов в производственных посевах Хойникского и Брагинского районов Гомельской области методом учетных площадок на дерново-подзолистых супесчаных почвах. Почвенные образцы отбирались из пахотного слоя (0–20 см). Представительные пробы формировались из точечных проб. Масса воздушно-сухого образца почвы для проведения анализа на содержание радионуклидов ^{137}Cs составляла 1,0 кг. Из точечных растительных проб массой 0,6–1,0 кг формировали объединенную пробу в зависимости от содержания золы и сухого вещества массой 2 кг. Исследуемые культуры: кукуруза, тимopheевка луговая, клевер луговой, люцерна посевная, донник белый.

Почвенные образцы отбирали методом конверта, т.е. один смешанный образец состоял из 5-ти индивидуальных проб, взятых на глубину перегнойного горизонта с площади 1 м² с помощью почвенного тростевого бура.

Анализ почвенных и растительных образцов проводили в соответствии с общепринятыми методиками: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (0,4 н $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – ГОСТ 26213-91), измерения удельной активности ^{137}Cs в растительных и почвенных образцах проводили в соответствии с методами испытаний МИ 2143-91 «Государственная система обеспечения единства измерений. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре», утвержденными 28.12.1990 г. Линия гамма-излучения ^{137}Cs соответствовала 661,66 кэВ. Ошибка измерений не превышала 5–7 %. Геометрия измерений – сосуд Маринелли емкостью 1 литр. Содержание ^{90}Sr оценивали по дочернему продукту распада ^{90}Y после проведения радиохимической очистки от мешающих радионуклидов оксалатным методом с последующим измерением на пластиковом сцинтилляционном детекторе спектрометра-радиометра «Прогресс-БГ». Выход носителя иттрия определяли гравиметрическим методом, выход носителя стронция – на атомно-абсорбционном спектрофотометре [17]. Статистическая погрешность измерений не превышала 15 %.

Все данные по удельной активности растительных образцов (Бк/кг) пересчитывались на стандартную влажность: для сена – 16 % и для зеленой массы – 82 %.

Методы математической обработки результатов. Коэффициенты перехода (K_p) радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в растения рассчитывались по формуле

$$K_p = \frac{A_p}{A_s}, \quad (1)$$

где A_p – удельная активность радионуклида в растении (Бк кг⁻¹); A_s – плотность загрязнения почвы радионуклидом (кБк м⁻²).

Значения содержания гумуса в почве, при которых наблюдается минимальное накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr , рассчитывались на основе квадратичной функции распределения путем деления коэффициента пропорциональности первого порядка на удвоенное значение коэффициента второго порядка. Для математической обработки экспериментального материала использовали регрессионный, корреляционный и методы описательной статистики с использованием программного обеспечения MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Корреляционный анализ показал достоверную отрицательную взаимосвязь (r) между содержанием гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве и коэффициентами перехода (K_p) ^{137}Cs в растениеводческую продукцию для трех исследуемых культур: $-0,42$ – кукурузы, $-0,57$ – клевера и $-0,71$ – люцерны. По стронцию-90 достоверная связь между содержанием гумуса и накоплением радионуклида была отмечена для всех исследуемых культур: $-0,52$ – кукурузы, $-0,64$ – клевера, $-0,42$ – люцерны, $-0,50$ – тимофеевки луговой и $-0,60$ – донника (табл. 1). В целом, следует отметить, что содержание гумуса в большей степени коррелирует с накоплением стронция-90, чем с цезием-137.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции (r) между содержанием гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве и коэффициентами перехода (K_p) радионуклидов в продукцию растениеводства

Культура	Продукция	Выборка	r
^{137}Cs			
Кукуруза	Зеленая масса	106	$-0,42$
Клевер луговой	Сено	48	$-0,57$
Люцерна	Сено	55	$-0,71$
Тимофеевка луговая	Сено	44	$-0,20$
Донник белый	Сено	31	$-0,01$
^{90}Sr			
Кукуруза	Зеленая масса	106	$-0,52$
Клевер луговой	Сено	52	$-0,64$
Люцерна	Сено	27	$-0,42$
Тимофеевка луговая	Сено	44	$-0,50$
Донник белый	Сено	31	$-0,60$

По результатам анализа растительных и сопряженных почвенных образцов, отобранных в производственных посевах, рассчитаны параболические зависимости между содержанием гумуса в почве и величиной накопления радионуклидов урожаем. На основании уравнений, полученных при квадратичной аппроксимации, рассчитано содержание гумуса, при котором отмечено минимальное накопление ^{137}Cs растениеводческой продукцией (табл. 2, рис. 1, 2).

Содержание гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве, при котором отмечено минимальное накопление ^{137}Cs составляет для кукурузы – 3,15 %, тимофеевки луговой – 3,24 %, клевера лугового – 2,92 %, люцерны – 2,86 %; минимальное накопление ^{90}Sr для клевера лугового – 3,17 %, кукурузы – 3,06 %, люцерны – 3,62 %; тимофеевки луговой – 3,34 % и донника белого – 2,11 %. Экспериментальные данные показывают, что с повышением содержания гумуса в почвах с 1,0 до 3,5 % накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческой продукции снижается до 4 раз.

При обработке данных полевых и спектрометрических исследований методом описательной статистики, проведенной с 5 исследуемыми культурами, установлено, что среднее значение содержания в дерново-подзолистой супесчаной почве гумуса, при котором наблюдается минимальное накопление радионуклидов ^{137}Cs

и ^{90}Sr , составляет 3,05 %, с учетом величины стандартного отклонения интервал данного показателя находится в пределах 2,6–3,5 %. Наиболее интенсивное снижение поступления радионуклидов в растения с увеличением содержания гумуса в почве отмечается до 2,5 % (рис. 1, 2) [18].

Согласно градациям по содержанию гумуса в минеральных почвах Беларуси подразделяются: очень низкое (менее 1 %), низкое (1,01–1,50 %), среднее (1,51–2,00 %), повышенное (2,01–2,50 %), высокое (2,51–3,00 %) и очень высокое (более 3,00 %). Интервалы оптимальных параметров гумуса в почвах Беларуси для связносупесчаных и рыхлосупесчаных почв определены в интервале 2,2–2,8 % [19, 20].

Таблица 2

Содержание гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве, при котором наблюдается минимальное накопление радионуклидов сельскохозяйственными растениями

Культура	Продукция	Выборка	R ²	Содержание гумуса, %
^{137}Cs				
Кукуруза	Зеленая масса	106	0,32	3,15
Тимофеевка луговая	Сено	44	0,25	3,24
Клевер луговой	Сено	48	0,61	2,92
Люцерна	Сено	55	0,42	2,86
^{90}Sr				
Клевер луговой	Сено	52	0,55	3,17
Кукуруза	Зеленая масса	106	0,40	3,06
Люцерна	Сено	27	0,69	3,62
Тимофеевка луговая	Сено	44	0,29	3,34
Донник белый	Сено	31	0,43	2,11
Среднее ± SD	–	–	–	3,05 ± 0,42

* Содержание гумуса в почве, при котором отмечено минимальное накопление ^{137}Cs .

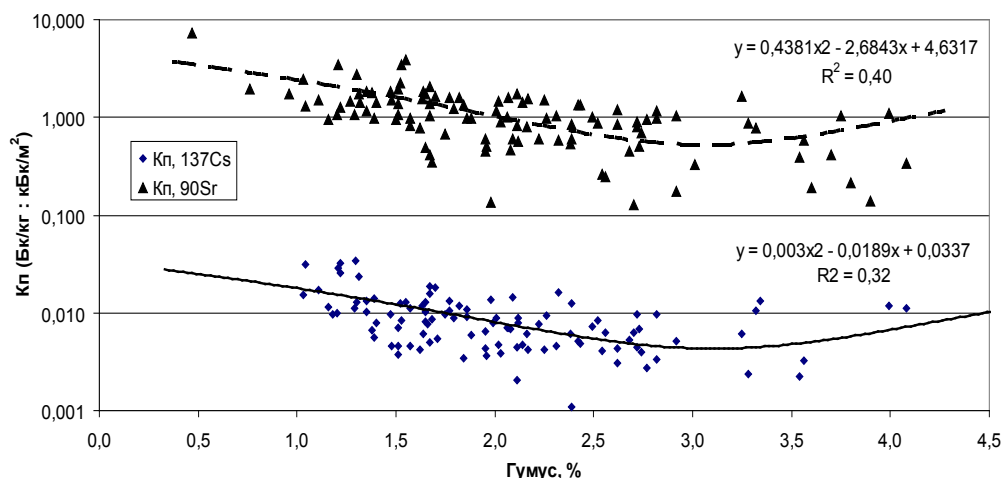


Рис. 1. Накопление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr зеленой массой кукурузы в зависимости от содержания гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве

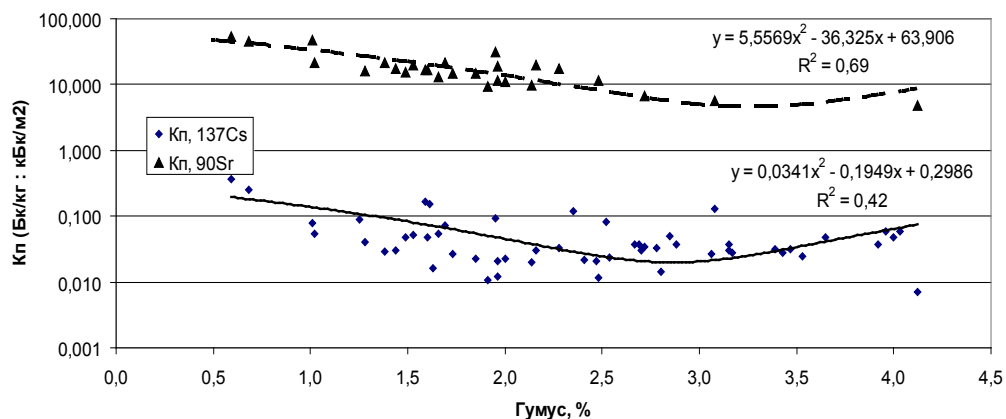


Рис.2. Накопление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr сеном люцерны в зависимости от содержания гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве

Расчитанный показатель содержания гумуса в почве, при котором отмечается минимальное накопление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr кормовыми культурами, соответствует градациям – высокое и очень высокое содержание. По данным XIII тура обследования доля пахотных почв, загрязненных радионуклидами, Гомельской, Могилевской и Брестской областей, в которых можно ожидать минимальные переходы ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственные растения (содержание гумуса более 2,5 %), составляет от площади пашни 31,8, 13,7 и 62,2 % соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Распределение пахотных почв, загрязненных радионуклидами, по группам содержания гумуса (XIII тур обследования)

Область	Распределение по группам гумуса, %						Средневзвешенное значение
	I	II	III	IV	V	VI	
	1,00 и менее	1,01–1,50	1,51–2,00	2,01–2,50	2,51–3,00	3,01 и выше	
Гомельская	0,1	5,3	29,4	33,5	17,1	14,7	2,27
Могилевская	0,5	22,9	40,7	22,2	8,7	5,0	1,91
Брестская	1,5	10,0	15,1	11,2	8,2	54,0	2,61

Еще в середине прошлого века известный американский агрохимик У. Эндрюс отмечал, что высокое содержание органического вещества в почвах представляет большую ценность, но обогащение бедных почв органическим веществом обходится слишком дорого. Накопление гумуса в почвах за счет органических или зеленых удобрений невозможно, если применять их в экономически выгодных дозах [21].

По оценкам специалистов Института почвоведения и агрохимии, для поддержания бездефицитного баланса гумуса в пахотных землях республики необходимо вносить не менее 12 т/га органических удобрений. Около 75 % органических удобрений от внесенного количества минерализуется и участвует в питании растений, 25 % гумифицируется и идет на восполнение потерь почвенного гумуса. При сложившейся структуре посевных площадей в почвах пахотных земель ми-

нерализуется в среднем 1,0–1,2 т/га гумуса в год. За счет растительных остатков на связных почвах восстанавливается около 50 %, на легких почвах – около 40 % потерь гумуса; остальное количество должно быть восполнено за счет органических удобрений. Для того чтобы повысить содержание гумуса в почвах на 0,01 %, следует вносить сверх количества, необходимого для поддержания бездефицитного баланса гумуса солоमистого навоза 8,1 т/га [22].

ВЫВОДЫ

4. В результате обработки данных, полученных в маршрутных исследованиях, проведенных на дерново-подзолистых супесчаных почвах, загрязненных радионуклидами, установлена достаточно тесная отрицательная связь между содержанием гумуса и накоплением ^{137}Cs и ^{90}Sr кормовыми культурами.

5. Содержание гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве, при котором отмечено минимальное накопление ^{137}Cs , составляет для кукурузы – 3,15 %, тимофеевки луговой – 3,24 %, клевера лугового – 2,92 %, люцерны – 2,86 %; минимальное накопление ^{90}Sr для клевера лугового – 3,17 %, кукурузы – 3,06 %, люцерны – 3,62 %; тимофеевки луговой – 3,34 % и донника белого – 2,11 %. На более интенсивное снижение поступления радионуклидов в растения с увеличением содержания гумуса в почве отмечается от 1 до 2,5 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Почвоведение / И. С. Кауричев [и др.]. – М., 1982. – 496 с.
2. Грехова, И. В. Оценка плодородия пахотных земель / И. В. Грехова, В. К. Семенов // Аграрный вестник Урала. – № 5(97). – 2012. – С. 5–7.
3. Шарков, И. Н. Концепция воспроизводства гумуса в почвах / И. Н. Шарков // Агрохимия. – 2011. – № 12. – С. 21–27.
4. Юдинцева, Е. В. Свойства почв и накопление цезия-137 в урожае растений / Е. В. Юдинцева, Л. И. Павленко, А. Г. Зюликова // Агрохимия. – 1981. – № 9. – С. 119–125.
5. Бондарь, П. Ф. Накопление цезия-137 в урожае сельскохозяйственных культур в зависимости от агрохимических свойств почв / П. Ф. Бондарь, А. Г. Озорнов, А. И. Дутов // Проблемы ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в агропромышленном производстве – пять лет спустя: итоги проблемы и перспективы: тез. докл. Всесоюз. конф. / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т с.-х. радиологии. – Обнинск, 1991. – Т. 1. – С. 15–16.
6. Влияние агрохимических и агрометеорологических факторов на накопление цезия-137 в сельскохозяйственных культурах / В. И. Дугинов [и др.] // Геохимические пути миграции искусственных радионуклидов в биосфере: тез. докл. IV конф. науч. совета при ГЕОХИ АН СССР по программе “АЭС-ВО”. – Гомель, 1990. – С. 85.
7. Juo, A. S. R. The retention of Sr by soils as influenced by pH, organic matter and saturation cations / A. S. R. Juo, S. A. Barber // Soil Sci. – 1970. – Vol. 109. – P. 143–148.
8. Van, Bergeijk K.E. Influence of pH, soil type and soil organic matter content on soil-to-plant transfer of radiocaesium and strontium as analysed by a nonparametric

method / Van Bergeijk K.E., H. Noordijk, J. Lembrechts // J. Environ. Radioactivity. – 1992. – Vol. 15. – P. 265-276.

9. Орлов, Д. С. Химия почв / Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова, Н. И. Суханова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. – 561 с.

10. Смагин, А. И. Экология водоемов зоны техногенной радиационной аномалии на Южном Урале / А. И. Смагин. – Пермь, 2008. – 51 с.

11. Вирченко, Е. П. Радионуклид-органические соединения в почвах зоны влияния Чернобыльской АЭС / Е. П. Вирченко, Г. И. Агапкина // Почвоведение. – 1993. – № 1. – С. 13–17.

12. Действие фульво- и гуминовых кислот на механизмы накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr растительными клетками / Г. А. Соколик [и др.] // Радиэкология торфяных почв: материалы межд. конф. / Санкт-Петербургский гос. аграр. ун-т. – СПб., 1994. – С. 23–25.

13. Сельскохозяйственная радиэкология / под ред. Р. М. Алексахина, Н. А. Корнеева. – М.: Экология, 1991. – 400 с.

14. Корнеев, Н. А. Снижение радиоактивности в растениях и продуктах животноводства / Н. А. Корнеев, А. Н. Сироткин, Н. В. Корнеева. – М.: Колос, 1977. – 208 с.

15. Моисеев, И. Т. Изучение поведения ^{137}Cs в почвах и его поступления в сельскохозяйственные культуры в зависимости от различных факторов / И. Т. Моисеев, Г. И. Агапкина, Л. А. Рерих // Агрохимия. – 1994. – № 2. – С. 113–118.

16. Шувалов, Ю. Н. Влияние минеральных удобрений на поведение ^{137}Cs в системе почва-растение / Ю. В. Шувалов // Субтропические культуры. – 1987. – № 2. – С. 52–57.

17. International Atomic Energy Agency. Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency. IAEA-TECDOC-1092. – Vienna, 1999. – 307 p.

18. Богдевич, И. М. Минимизация перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию на землях, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС / И. М. Богдевич, Ю. В. Путятин // Приложение к журналу «Земледелие и защита растений» – 2018. – № 2(117). – С. 56–65

19. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: методические указания / И. М. Богдевич [и др.]; под ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 48 с.

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

21. Эндрюс, У. Б. Применение органических и минеральных удобрений / У. Б. Эндрюс; пер. с англ. – М.: Ин. лит., 1959. – 399 с.

22. Рекомендации по применению различных видов органических удобрений под сельскохозяйственные культуры / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 27 с.

INFLUENCE OF HUMUS STATUS OF SOD-PODZOLIC LOAMY SAND SOILS ON THE ACCUMULATION OF ^{137}Cs AND ^{90}Sr RADIONUCLIDES BY FORAGE CROPS

Y.V. Putyatin

Summary

In the field experiments conducted on sod-podzolic loamy sand soil (Podzoluvisol) close negative correlations have been found between organic matter content and ^{137}Cs и ^{90}Sr accumulation by forage crops. The humus content at which the minimum accumulation of ^{137}Cs is noted for corn – 3,15 %, timothy grass – 3,24 %, clover – 2,92 %, alfalfa – 2,86 %; the minimum accumulation of ^{90}Sr for clover – 3,17 %, corn – 3,06 %, alfalfa – 3,62 %; timothy grass – 3,34 % and arctic clover – 2,11 %. The most intensive decrease in radionuclides in plants with an increase in the content of humus in the soil is observed from 1 to 2,5 %

Поступила 02.05.19

УДК 631.438.2

ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{90}Sr СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ

Ю. В. Путятин

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

«Почва–растение» – начальное звено экологического цикла переноса радионуклидов из внешней среды к человеку. Интенсивность потоков перехода радионуклидов из почвы в растения зависит от тех свойств почвы, которые влияют на процессы их поглощения и закрепления. Одним из таких свойств является кислотность почвенного раствора. Внимание ученых уже довольно давно было обращено к извести как потенциальному средству снижения поступления радионуклидов в продукцию растениеводства. Исследования по применению извести как потенциального средства снижения поступления радионуклидов в продукцию растениеводства были стимулированы одной из первых тяжелых аварий на Южном Урале, произошедшей в 1957 г., где в природную среду было выброшено большое количество ^{90}Sr [1, 2].

Физико-химическое состояние радионуклидов в почве и, в первую очередь, количество их мобильных форм являются определяющим фактором в процессах миграции радиоцезия и радиостронция в почвенном профиле и по биологическим цепочкам. ^{90}Sr сорбируется твердой фазой почвы значительно слабее, чем ^{137}Cs .

По сравнению с ^{137}Cs , у которого доля фиксированной фракции составляет 83–98 % от валового содержания в почве, содержание ^{90}Sr в прочносвязанной форме не превышает 7–12 % [3]. Высокая степень подвижности ^{90}Sr в почве определяет высокие коэффициенты перехода радионуклида из почвы в растения, которые в среднем на порядок выше, чем у ^{137}Cs [4]. Из кислых почв радионуклиды поступают в растения в значительно больших количествах, чем из почв слабокислых, нейтральных или слабощелочных. Дерново-подзолистые почвы характеризуются высокой исходной кислотностью и слабой насыщенностью основаниями [5]. При увеличении кислотности почвы снижается прочность закрепления ППК ^{90}Sr и ^{137}Cs и, соответственно, возрастает интенсивность поступления их в растения. При повышении pH ряд радионуклидов переходит из ионной формы в различные гидролизные комплексные соединения, что снижает их доступность для растений [6, 7]. Кислотность оказывает и косвенное влияние на сорбцию почвами радионуклидов, изменяя емкость катионного обмена [8].

На основе анализа многолетних данных, полученных в полевых условиях Пристером Б. С. с соавторами, показано, что значения коэффициентов перехода радионуклидов из почвы в растения наиболее тесно связаны с кислотностью почвенного раствора (pH_{KCl}) [9]. Из кислых почв радионуклиды поступают в растения в значительно больших количествах, чем из почв слабокислых, нейтральных или слабощелочных. Дерново-подзолистые почвы характеризуются высокой исходной кислотностью и слабой насыщенностью основаниями. При увеличении степени кислотности почвы снижается прочность закрепления ППК ^{90}Sr и ^{137}Cs и, соответственно, возрастает интенсивность поступления их в растения. При повышении показателя pH ряд радионуклидов переходит из ионной формы в различные гидролизные комплексные соединения, что снижает их доступность для растений. Кислотность оказывает и косвенное влияние на сорбцию почвами радионуклидов, изменяя емкость катионного обмена. Показатель pH_{KCl} наиболее часто используется при прогнозе загрязнения продукции ^{90}Sr [10].

Эффективность снижения содержания радионуклидов в урожае в результате внесения удобрений и известкования на бедных питательными веществами почвах существенно выше, чем на плодородных почвах. Дополнительное внесение мелиорантов с целью снижения поступления радионуклидов в урожай на произвесткованных почвах является малоэффективным агротехническим приемом [11–14].

В республике для достижения оптимального уровня кислотности почвы в Беларуси в 1999 г. были разработаны дозы извести, дифференцированные по плотности радиоактивного загрязнения и гранулометрическому составу [15]. В послеаварийный период систематическое известкование в повышенных дозах позволило значительно сократить площади кислых почв на загрязненных территориях. Следствием реализации агрохимических защитных мер в агропромышленном комплексе явилось значительное снижение удельной активности радионуклидов в основных видах сельскохозяйственной продукции, что обусловило существенное ослабление дозовых нагрузок на население [16, 18, 19].

Целью исследований было изучение влияния кислотности почвы на интенсивность поступления ^{90}Sr в сельскохозяйственные растения и определение пороговых параметров реакции среды, до которых наблюдается эффект снижения накопления радионуклидов биомассой растений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Маршрутные исследования проводились в 2007–2018 гг. путем отбора проб растительных образцов в фазы технической спелости и сопряженных почвенных образцов в производственных посевах Хойникского и Брагинского районов Гомельской области методом учетных площадок на дерново-подзолистых супесчаных почвах. Почвенные образцы отбирались из пахотного слоя (0–20 см). Представительные пробы формировались из точечных проб. Масса воздушно-сухого образца почвы для проведения анализа на содержание ^{90}Sr составляла 100 г. Из точечных растительных проб массой 0,6–1,0 кг формировали объединенную пробу в зависимости от содержания золы и сухого вещества массой 2 кг для трав, зерновых и зернобобовых.

Почвенные образцы отбирали методом конверта, т.е. один смешанный образец состоял из 5-ти индивидуальных проб, взятых на глубину перегнойного горизонта с площади 1 м² с помощью почвенного тростевого бура.

Все данные по удельной активности растительных образцов (Бк/кг) пересчитывались на стандартную влажность: для зерна – 14 %, семян рапса – 9 %, семяна – 16 %, зеленой массы – 82 % и картофеля – 80 %. Обменную кислотность – $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ определяли потенциометрическим методом (1 М KCl – ГОСТ 26483-85). Содержание ^{90}Sr оценивали по дочернему продукту распада ^{90}Y после проведения радиохимической очистки от мешающих радионуклидов оксалатным методом с последующим измерением на пластиковом сцинтилляционном детекторе спектрометра-радиометра «Прогресс-БГ». Выход носителя иттрия определяли гравиметрическим методом, выход носителя стронция – на атомно-абсорбционном спектрофотометре. Статистическая погрешность измерений не превышала 15 %.

Методы математической обработки результатов. Коэффициенты перехода (K_p) радионуклида ^{90}Sr из почвы в растения рассчитывались по формуле

$$K_p = \frac{A_p}{A_s}, \quad (1)$$

где A_p – удельная активность радионуклида в растении (Бк кг⁻¹); A_s – плотность загрязнения почвы радионуклидом (кБк м⁻²).

Значения агрохимических свойств почв, при которых наблюдается минимальное накопление ^{90}Sr , рассчитывались на основе квадратичной функции распределения путем деления коэффициента пропорциональности первого порядка на удвоенное значение коэффициента второго порядка. Для математической обработки экспериментального материала использовали регрессионный, корреляционный и методы описательной статистики с использованием программного обеспечения MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Корреляционный анализ показал достаточно тесную отрицательную взаимосвязь (r) между pH дерново-подзолистой супесчаной почвы и коэффициентами перехода (K_p) ^{90}Sr в растениеводческую продукцию. Для зерновых культур данный показатель составил от –0,84 до –0,87, бобовых культур – от –0,46 до –0,76, –0,84 – рапса, –0,82 – картофеля и –0,59 – кукурузы (табл. 1).

Коэффициенты корреляции (r) между $pH_{(КС)}$ дерново-подзолистой супесчаной почвы и коэффициентами перехода ($Kп$) ^{90}Sr в продукцию растениеводства

Культура	Продукция	Выборка	r
Озимая рожь	Зерно	55	-0,86
Пшеница	Зерно	47	-0,84
Ячмень	Зерно	47	-0,87
Люпин	Зерно	14	-0,81
Рапс	Семена	25	-0,84
Картофель	Клубни	49	-0,82
Кукуруза	Зеленая масса	113	-0,59
Тимофеевка луговая	Сено	48	-0,50
Люпин	Зерно	14	-0,65
Клевер луговой	Сено	45	-0,76
Люцерна	Сено	58	-0,46
Донник белый	Сено	32	-0,73

По результатам анализа растительных и сопряженных почвенных образцов, отобранных в производственных посевах, рассчитаны уравнения параболических зависимостей между pH почвы и величиной накопления радионуклидов урожаям. На основании уравнений, полученных при квадратичной аппроксимации, рассчитаны значения pH , при которых отмечено минимальное накопление ^{90}Sr растениеводческой продукцией: зерновыми культурами (озимая рожь, яровая пшеница, ячмень) – находится в пределах 6,82–6,90 ($R^2 = 0,80–0,88$), бобовых культур – 6,09–6,52, рапса – 6,62, картофеля – 6,84, тимофеевки луговой – 6,30 и кукурузы – 6,78 (табл. 2). Вышеприведенные данные агроэкологических оптимумов кислотности почвы (pH) показывают, что в условиях радиоактивного загрязнения земель для обеспечения минимизации потоков радионуклидов в растениеводческую продукцию следует достигать и поддерживать pH в более высоких интервалах, чем на «чистых» территориях. Вместе с тем интенсивность действия нейтрализации кислотности на снижение перехода ^{90}Sr в растения выше при более низких значениях pH . В интервалах pH свыше 6,0 темпы снижения накопления радионуклидов при известковании резко снижаются. Если принять за единицу накопление радионуклидов сельскохозяйственными культурами при $pH = 6,0$, оптимальном для выращивания большинства видов растений, и рассчитать накопление при доведении pH с 5,0 до 6,0, можно отметить, что накопление ^{90}Sr при увеличении pH на 1 единицу сокращается до 3 раз (рис. 1, 2). Затраты на снижение поступления в продукцию растениеводства при известковании почв с более высокими исходными pH будут выше, чем на кислых почвах.

При обработке данных полевых, спектрометрических и радиохимических исследований методом описательной статистики, проведенной с 12 исследуемыми культурами, рассчитано, что среднее значение pH дерново-подзолистой супесчаной почвы, при котором наблюдается минимальное накопление радиостронция, составляет 6,56, с учетом величины стандартного отклонения интервал данного показателя находится в пределах 6,27–6,85 мг/кг почвы.

Согласно действующим градациям по показателю pH минеральные почвы Беларуси подразделяются на 7 групп: I – сильнокислые (pH менее 4,5), II – среднекислые (pH 4,51–5,00), III – кислые (5,01–5,50), IV – слабокислые (pH 5,51–6,00), V – близкие к нейтральным (pH 6,01–6,50), VI – нейтральные (pH 6,51–7,00) и VII – слабощелочные (pH более 7,00). Интервалы оптимальных параметров агрохимических свойств почв Беларуси для связносупесчаных и рыхлосупесчаных почв определены в интервале 5,5–6,5 [17, 18]. Усредненное значение pH 6,56, при котором отмечается минимальное накопление радиостронция практически соответствует верхней границе оптимальных агрохимических параметров для дерново-подзолистых связносупесчаных почв.

Таблица 2

Величина обменной кислотности (pH) дерново-подзолистой супесчаной почвы, при которой наблюдается минимальное накопление ⁹⁰Sr сельскохозяйственными растениями

Культура	Продукция	Выборка	R ²	pH _(КС) *
Озимая рожь	Зерно	55	0,85	6,87
Пшеница	Зерно	47	0,80	6,90
Ячмень	Зерно	47	0,88	6,82
Люпин	Зерно	14	0,73	6,09
Рапс	Семена	25	0,82	6,62
Картофель	Клубни	49	0,76	6,84
Кукуруза	Зеленая масса	113	0,40	6,78
Тимофеевка луговая	Сено	48	0,32	6,30
Люпин	Зерно	14	0,73	6,09
Клевер луговой	Сено	45	0,71	6,52
Люцерна	Сено	58	0,53	6,50
Донник белый	Сено	32	0,81	6,43

* pH_(КС), при которой отмечено минимальное накопление ⁹⁰Sr.

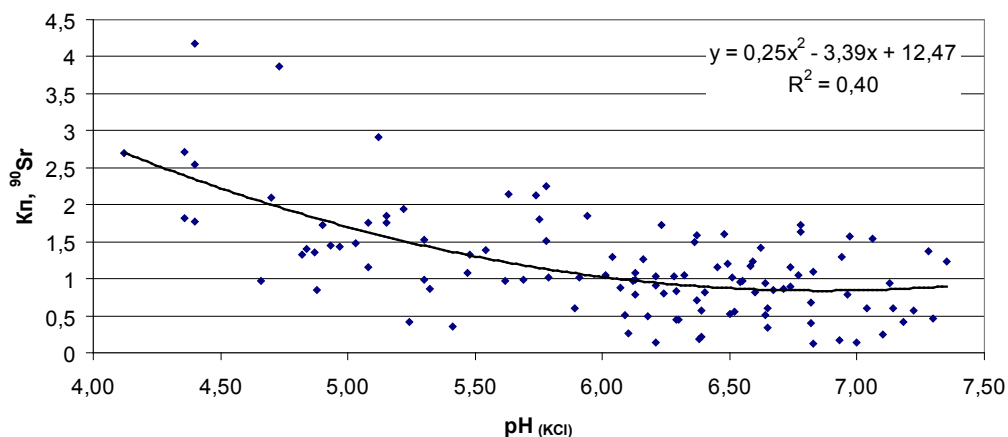


Рис. 1. Коэффициенты перехода ⁹⁰Sr в зеленую массу кукурузы в зависимости от pH дерново-подзолистой супесчаной почвы

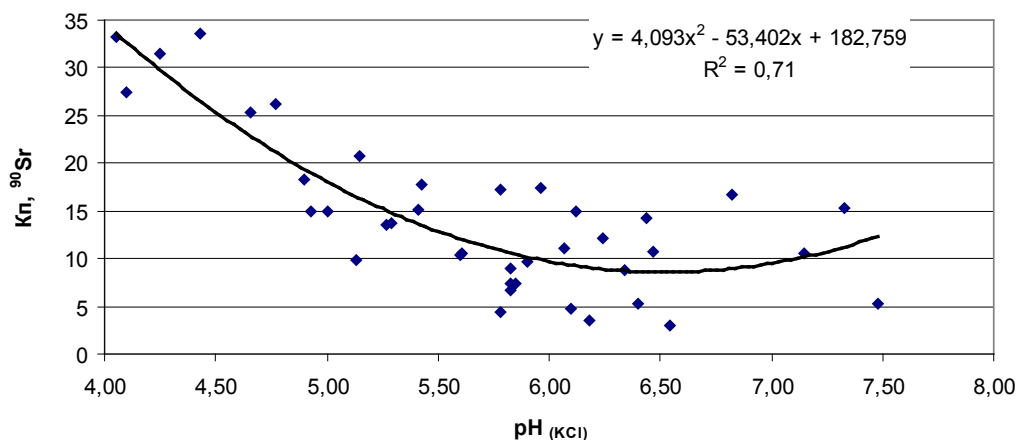


Рис. 2. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в сухое вещество зеленой массы клевера лугового в зависимости от pH дерново-подзолистой супесчаной почвы

В более ранних исследованиях установлено, что за счет оптимизации кислотности почвы под зерновые культуры путем внесения доломитовой муки минимальные затраты на предотвращение 1 чел.-Зв на гектар пашни можно ожидать в Хойникском и Брагинском районах, характеризующихся высокой плотностью загрязнения ^{90}Sr . Прогнозные затраты на предотвращение коллективной дозы при оптимизации кислотности почв под зерновые культуры с учетом сложившихся цен в Беларуси составляют 21–170 тыс. USD на 1 чел.-Зв. Установлено, что высокий экономический эффект на предотвращение коллективной дозы ^{90}Sr при возделывании зерновых культур можно ожидать при известковании дерново-подзолистых супесчаных почв с плотностью загрязнения ^{90}Sr более 12 кБк/м², песчаных – более 16, суглинистых – более 17 кБк/м² [16].

По данным последнего тура обследования в Гомельской, Могилевской и Брестской областях Республики Беларусь доля пахотных почв, загрязненных радионуклидами VI и VII групп (pH более 6,50), составляет 17,7, 14,9 и 13,9 %, луговых – 24,1, 18,5 и 12,4 % соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Распределение почв, загрязненных радионуклидами, по группам кислотности (XIII тур обследования)

Область	Распределение по группам pH _(КС) , %							Средневзвешенное значение
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
	4,50 и менее	4,51–5,00	5,01–5,50	5,51–6,00	6,01–6,50	6,51–7,00	7,01 и выше	
<i>Пахотные земли</i>								
Гомельская	1,6	6,1	20,0	29,7	24,9	17,3	0,4	5,86
Могилевская	3,0	8,3	15,8	25,0	32,9	13,4	1,5	5,89
Брестская	2,0	7,5	21,5	31,6	23,6	9,0	4,9	5,75
<i>Луговые земли</i>								
Гомельская	1,9	6,5	17,3	26,4	23,9	22,1	2,0	5,86
Могилевская	4,7	8,1	13,5	21,3	33,9	16,6	1,9	5,89
Брестская	1,5	6,4	22,6	34,0	23,1	8,7	3,7	5,67

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

ВЫВОДЫ

6. В результате обработки данных, полученных в маршрутных исследованиях, проведенных на дерново-подзолистых супесчаных почвах, загрязненных радионуклидами, установлена достаточно тесная отрицательная связь между рН почвы и накоплением ^{90}Sr сельскохозяйственными культурами.

7. Интенсивность воздействия нейтрализации кислотности на снижение перехода ^{90}Sr в растения выше при более низких значениях рН.

8. Усредненный минимум биологической доступности ^{90}Sr для исследуемых культур отмечен при рН – 6,56, для зерновых культур отмечен при рН 6,82–6,90, рапса – 6,62, кукурузы – 6,78, тимофеевки луговой – 6,30, клевера лугового – 6,52, люцерны – 6,50, люпина – 6,09, донника белого – 6,43 и картофеля – 6,84.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев, Ю. В.* Сравнение известняковых материалов по химической активности взаимодействия с почвой и эффективности снижения поступления ^{90}Sr в растения / Ю. В. Алексеев // *Агрохимия*. – 1978. – № 2. – С. 133–136.

2. *Гулякин, И. В.* Сельскохозяйственная радиобиология / И. В. Гулякин, Е. В. Юдинцева. – М.: Колос, 1973. – 272 с.

3. *Москалев, Ю. И.* Распределение, биологическое действие и миграция радиоактивных изотопов / Ю. И. Москалев, В. Н. Стрельцова. – М.: Атомиздат, 1961. – 172 с.

4. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / под ред. И. М. Богдевича. – Минск: ИПА, 2003. – 72 с.

5. Почвы Белорусской ССР / под ред. Т. Н. Кулаковской, П. П. Рогового, Н. И. Смеяна. – Минск: Ураджай, 1974. – 328 с.

6. *Алексахин, Р. М.* Поведение ^{137}Cs в системе почва–растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожае / Р. М. Алексахин, И. Т. Моисеев, Ф. А. Тихомиров // *Агрохимия*. – 1992. – № 8. – С. 127–132.

7. *Анненков, Б. Н.* Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. Н. Анненков, Е. В. Юдинцева. – М.: Агропромиздат, 1991. 287 с.

8. *Кожевникова, Р. Н.* Влияние кальцийсодержащих веществ на поступление стронция-90 в урожай культур из выщелоченного чернозема / Р. Н. Кожевникова, И. Г. Тепляков // *Агрохимия*. – 1989. – № 2. – С. 91–94.

9. *Пристер, Б. С.* Эффективность мероприятий, направленных на уменьшение загрязнения продукции растениеводства в районах, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС / Б. С. Пристер, Л. В. Перепелятникова, Г. П. Перепелятников // *Проблемы с.-х. радиологии: сб. науч. тр.*; под ред. Н. А. Ложилова. – Киев, 1991. – Вып. 1. – С. 141–153.

10. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич [и др.]; под ред. И. М. Богдевича. – Минск, 2003. – 72 с.

11. *Богдевич, И. М.* Основы ведения сельского хозяйства / И. М. Богдевич, В. Ю. Агеец, С. К. Фирсакова // Экологические, медико-биологические и социально-экономические последствия катастрофы на ЧАЭС в Беларуси; под ред. Е. Ф. Конопки, И. В. Ролевича. – Минск, 1996. – С. 52–102.

12. *Бондарь П. Ф.* Влияние удобрений и мелиорантов на накопление радиоцезия в урожае овса на известкованных почвах / П. Ф. Бондарь, А. И. Дутов // Радиэкологические и экономико-правовые аспекты землепользования после аварии на Чернобыльской АЭС: материалы науч. конф. / АН УССР. – Киев, 1991. – Ч. 2. – С. 201–204.

13. Общие закономерности загрязнения продукции растениеводства на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС / П. Ф. Бондарь [и др.] // Проблемы сельскохозяйственной радиологии: сб. науч. тр. / Украинский науч.-исслед. ин-т с.-х. радиологии; под ред. Н. А. Ложилова. – Киев, 1991. – Вып. 1. – С. 88–105.

14. *Бондарь, П. Ф.* Параметры перехода радиоцезия в урожай овса на известкованной почве в зависимости от применения минеральных удобрений и химических мелиорантов / П. Ф. Бондарь, А. И. Дутов // Проблемы сельскохозяйственной радиологии: сб. науч. тр. / Украинский науч.-исслед. ин-т с.-х. радиологии; под ред. Н. А. Ложилова. – Киев, 1992. – Вып. 2. – С. 125–132..

15. Инструкция определения дополнительной потребности материально-технических ресурсов для сельского хозяйства в зоне радиоактивного загрязнения. – Минск, 1999. – 26 с.

16. *Путятин, Ю. В.* Регулирование кислотности пахотных почв, загрязненных ^{90}Sr : анализ стоимости предотвращенных доз облучения населения Республики Беларусь / Ю. В. Путятин, О. Б. Адианова // Радиационная биология. Радиэкология. – 2010. – Т. 50 – № 5. – С. 582–589.

17. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: методические указания / И. М. Богдевич [и др.]; под ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 48 с.

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

19. 20 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление: национальный доклад // Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете министров Республики Беларусь; под ред. В. Е. Шевчука, В. Л. Гурачевского. – Минск, 2006. 112 с.

INFLUENCE OF ACIDITY OF SOD-PODZOLIC LOAMY SAND SOIL ON THE ^{90}SR ACCUMULATION BY CROPS

Y. V. Putyatin

Summary

In the field experiments conducted on sod-podzolic loamy sand soil (Podzoluvisol) close negative correlations have been found between the exchangeable acidity of the soil (pH) and ^{90}Sr accumulation by crops. The intensity of the acidity neutralization

effect on the reduction of the ^{90}Sr transfer to plants is higher at lower pH values. The minimum biological availability of ^{90}Sr for grain crops was noted at pH 6,82–6,90, rapeseed – 6,62, corn – 6,78, timothy grass – 6,30, clover – 6,52, alfalfa – 6,50, lupine – 6,09, arctic clover – 6,43 and potatoes – 6,84.

Поступила 26.04.19

УДК 631.8:631.559:633.171

ВЛИЯНИЕ МАКРО-, МИКРОУДОБРЕНИЙ, РЕГУЛЯТОРА РОСТА И БАКТЕРИАЛЬНОГО ПРЕПАРАТА НА СТРУКТУРУ УРОЖАЯ И УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНА ПРОСА

Ю. В. Коготько

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

ВВЕДЕНИЕ

Сорт является базовым элементом любой технологической цепочки, то есть тем фундаментом, во многом определяющим потенциальную урожайность, которая реализуется благодаря взаимодействию биологических особенностей сорта с технологическими приемами его возделывания [1]. Одним из важнейших таких приемов, значительно влияющих на продуктивность культуры и экономическую эффективность её возделывания, является разработка оптимальной ресурсосберегающей системы применения удобрений с учетом сортовых особенностей и почвенно-климатических условий произрастания.

В связи с этим целью наших исследований было изучение сортовой отзывчивости проса на различные уровни минерального питания, микроэлементы, регуляторы роста растений и бактериальные удобрения при возделывании на зерно в условиях северо-востока Беларуси.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2009–2011 гг. на территории УНЦ «Опытные поля БГСХА» Горецкого района Могилевской области. Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднеокультуренная, временно избыточно увлажненная легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины около 1 м мореным суглинком. Содержание гумуса по годам исследований (среднее) – 1,65–1,71 %, повышенное содержание подвижного фосфора – 239–248 мг/кг и калия – 208–244 мг/кг почвы, низкая обеспеченность медью – 1,33–1,36 мг/кг и цинком – 2,92–3,01 мг/кг почвы, реакция почвенного раствора слабокислая – pH_{KCl} 5,98 и близкая к нейтральной – 6,00–6,11 [2].

В качестве объекта исследований использовали два сорта проса, относящихся к разным разновидностям и различающихся по крупности зерна: Галинка (мелкосемянный) и Дружба 2 (крупносемянный).

Сорт Галинка относится к виду *Panicum miliaceum* L., разновидность *ssp. subflavum*. Метёлка раскидистая, серо-фиолетовая, подушечки слабо окрашены антоцианом. Зерно среднее, яйцевидное, кремовое. Vegetационный период – 70–110 суток. Высота растений – 115–125 см. К осыпанию и полеганию среднеустойчив. Масса 1000 зерен составляет от 5,8 до 7,0 грамм. Сорт универсального использования, отнесённый к ценным сортам, пригодным для производства крупы.

Сорт Дружба 2 относится к виду *Panicum miliaceum* L., разновидность *ssp. subsosseum*. Метелка развесистая, слабо окрашенная антоцианом, подушечки слабо окрашены. Зерно крупное, округлое, красное. Vegetационный период – 65–85 суток. Высота растений – до 140 см. К осыпанию среднеустойчив, к полеганию устойчив. Масса 1000 семян составляет от 7,5 до 10,2 г. Рекомендуются на пищевые и зернофуражные цели [3].

Для основного внесения в почву в опыте применяли минеральные удобрения в виде карбамида, аммофоса и хлористого калия. В варианте с дробным внесением азота ($N_{60+30}P_{60}K_{90}$) 60 кг/га д.в. применяли под предпосевную культивацию и 30 кг/га д.в. карбамида в подкормку в фазу кущения культуры.

Микроудобрения, регулятор роста и бактериальный препарат применялись только для предпосевной обработки семян (инкрустации, инокуляции).

Из микроудобрений для инкрустации семян использовались соли: $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (23,4–24,9 % Cu) и $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (21–23 % Zn), а также хелатные формы: Cuprovetum, $NaCuH(edta) \cdot nH_2O$ (17 % Cu) и Zincovetum, $NaZnH(edta) \cdot nH_2O$ (17 % Zn) в дозах 150 г/т д.в. элемента.

В качестве регулятора роста для инкрустационных составов с микроэлементами применялся Эпин в дозе 20 мг/т д.в.

Инокуляция семян проводилась бактериальным удобрением Ризобактерин в дозе 200 мл на гектарную норму семян.

Общая площадь делянки в опыте была 30 м², учетная – 25 м², повторность – четырехкратная, расположение делянок – рендомизированное [4]. Агротехника опыта общепринятая, согласно отраслевому регламенту [5]. Норма высева семян – 4,5 млн/га всхожих семян. Предшественник – овес.

Учет урожая производился сплошным поделяночным способом (зерноуборочный комбайн «Сампо – 500»). Данные урожайности пересчитывались на 14-процентную влажность.

Погодные условия по годам исследований (2009–2011 гг.) различались как по температурному режиму, так и по количеству выпавших осадков, что во многом отразилось на величине урожая. В результате расчета ГТК по методике Г. Т. Селянинова средний его показатель за вегетационный период в 2009 году составил 1,8, в 2010 – 1,3 и в 2011 – 1,6 [6]. Наиболее благоприятные условия произрастания для растений проса складывались в 2009 году.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований было установлено, что на показатели структуры урожая проса значительно влияли минеральное питание и погодные условия.

На мелкосемянном сорте Галинка наиболее оптимальным уровнем азотного питания на общем фоне $P_{60}K_{90}$ в отношении элементов структуры урожая было

однократное применение 90 кг/га азота под предпосевную обработку почвы. Это обеспечило увеличение длины метелки по отношению к фону с 22,9 до 27,3 см, количества зерен в метелке с 286,4 до 427,0 шт. и массы 1000 зерен с 6,33 до 6,42 г (табл. 1).

Повышение данных показателей структуры урожая позволило получить самый высокий вес зерна с метелки среди изучаемых уровней азотного питания на этом сорте, который составил 2,74 г (+33,6 % к фону и 46,7 % к контролю).

Инокуляция семян данного сорта проса бактериальным препаратом Ризобактерион в среднем за три года существенного влияния на элементы структуры урожая не оказывала. Действие данного удобрения проявлялось в отдельные годы только в отношении массы 1000 зерен на фоне минерального питания $N_{14}P_{60}K_{90}$.

Инкрустация семян проса микроэлементами проводилась на фоне применения трех уровней минерального питания: $N_{60}P_{60}K_{90}$, $N_{90}P_{60}K_{90}$, и $N_{60+30}P_{60}K_{90}$.

По результатам трехлетних наблюдений было установлено, что обработка семян проса микроэлементами оказывала положительное влияние на показатели структуры урожая. Так, на мелкосемянном сорте Галинка применение хелатной формы меди на фоне $N_{90}P_{60}K_{90}$ позволило получить длину метелки на уровне 29,1 см (1,8 см к фону), количество зерен в метелке – 473,8 шт. (46,8 шт. к фону) и массу 1000 зерен – 6,52 г (0,1 г к фону). Благодаря этому вес зерна одной метелки повысился на 0,35 г и составил 3,09 г.

Применение на сорте Галинка меди в форме соли также способствовало повышению элементов структуры урожая, однако по всем её показателям несколько уступало микроэлементам в хелатной форме. В результате на фоне минерального питания $N_{90}P_{60}K_{90}$ вес зерна с одной метелки составил 2,88 г.

Использование для обработки семян сорта Галинка баковой смеси меди и цинка в форме хелатов на фоне минерального питания $N_{90}P_{60}K_{90}$ позволило получить наибольший вес зерна с метелки (3,12 г), однако его значение не превышало аналогичный вариант с однократным применением меди. Следует отметить, что дополнительное введение в инкрустационный состав хелатной формы цинка на вышеуказанном минеральном фоне, в среднем за три года исследований, оказывало незначительное влияние на озерненность метелки.

Совместное использование меди и цинка в форме солей на сорте Галинка превосходило однократное применение меди по влиянию на показатели элементов структуры урожая. При этом наиболее оптимальные значения были получены на фоне минерального питания $N_{90}P_{60}K_{90}$. В результате длина метелки повысилась с 28,6 до 29,2 см, озерненность – с 453,0 до 472,1 шт. и масса 1000 зерен – с 6,38 до 6,43 г, что позволило увеличить вес зерна с одной метелки до уровня 3,03 г.

Дополнительное введение в инкрустационный состав с медью и цинком регулятора роста Эпин проводилось на фоне внесения более низких доз минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{90}$). В результате было установлено, что использование регулятора роста растений на сорте Галинка позволило повысить показатели структуры урожая и получить вес зерна с метелки на уровне применения более высокого фона минерального питания $N_{90}P_{60}K_{90}$. При этом наибольшее увеличение данных показателей наблюдалось при использовании баковой смеси регулятора роста с хелатными формами меди и цинка, где был получен вес зерна с метелки на уровне 2,79 г.

Анализ структурных показателей урожая крупносемянного сорта Дружба 2 показал, что наиболее оптимальным уровнем минерального питания для данного сорта является $N_{90}P_{60}K_{90}$, где азотные удобрения вносили разово под предпосевную обработку. При этом длина метелки по отношению к фону ($N_{14}P_{60}K_{90}$) выросла с 19,6 до 23,4 см, количество зерен в метелке – с 208,3 до 294,4 шт. и масса 1000 зерен – с 8,76 до 9,06 г, что позволило получить вес зерна с метелки на уровне 2,67 г (31,5 % к фону и 40,1 % к контролю) (табл. 1).

Использование для обработки семян бактериального удобрения Ризобактерин на этом сорте оказывало влияние по годам исследований только на массу 1000 зерен. В результате применения данного удобрения масса 1000 зерен в среднем за три года незначительно превысила фоновый ($N_{14}P_{60}K_{90}$) и контрольный варианты опыта на 0,09 г и составила 8,85 г.

Инкрустация семян микроэлементами крупносемянного сорта проса Дружба 2 также способствовала увеличению элементов структуры урожая. Так, обработка семян медью в хелатной форме на фоне минерального питания $N_{90}P_{60}K_{90}$ позволила получить наиболее оптимальные показатели структуры урожая на данном сорте. В результате длина метелки составила 24,2 см (0,8 см к фону), количество зерен в метелке – 308,8 шт. (14,4 к фону) и масса 1000 зерен – 9,17 г (0,11 г к фону), что позволило повысить вес зерна с метелки до уровня 2,83 г.

Использование для обработки семян сульфата меди на данном сорте также способствовало повышению структурных элементов урожая, но по действию уступало хелатной форме, а дополнительное введение в инкрустационный состав цинка как в хелатной форме, так и в форме соли влияния на данные показатели не оказывало.

Применение для инкрустации семян проса сорта Дружба 2 баковой смеси регулятора роста растений Эпин с медью и цинком позволило повысить показатели структуры урожая и получить вес зерна с метелки на уровне применения более высокого фона минерального питания $N_{90}P_{60}K_{90}$. Так, применение данного варианта позволило получить вес зерна с метелки на уровне 2,72 г.

Говоря о влиянии минерального питания на урожайность зерна мелкосемянного сорта Галинка, следует отметить, что наиболее оптимальным уровнем минерального питания был определен $N_{90}P_{60}K_{90}$, который обеспечил получение 38,8 ц/га зерна проса, при наибольшей прибавке от азота (10,9 ц/га) и окупаемости 1 кг NPK кг зерна (6,6 кг) (табл. 2).

Инкрустация семян проса сорта Галинка хелатной формой меди на фоне минерального питания $N_{90}P_{60}K_{90}$ позволила получить наибольшую урожайность зерна в опыте, которая составила 44,0 ц/га. Прибавка к контролю от применения данной системы удобрений составила 21,1 ц/га, из которой 5,2 ц/га получено от действия микроэлемента, окупаемость 1 кг NPK – 8,8 кг зерна.

Применение для обработки семян сульфата меди на сорте Галинка также повышало продуктивность зерна, хотя по эффективности несколько уступало хелатной форме, при этом урожайность зерна на фоне применения $N_{90}P_{60}K_{90}$ составила 42,0 ц/га, прибавка к контролю – 19,1 ц/га, а прибавка к фону – 3,2 ц/га. Это позволило получить окупаемость 1 кг NPK на уровне 8,0 кг зерна.

При введении в инкрустационный состав цинка на сорте Галинка значительного влияния на урожайность зерна выявлено не было, что подтверждается также показателями структуры урожая.

Таблица 1
Влияние макро- и микроудобрений, бактериальных препаратов и регуляторов роста на элементы структуры урожая проса сортов Галинка и Дружба 2 (среднее за 2009–2011 гг.)

Вариант	Длина метелки, см		Количество зерен в метелке, шт		Масса 1000 зерен, г		Вес зерна с метелки, г	
	Галинка	Дружба 2	Галинка	Дружба 2	Галинка	Дружба 2	Галинка	Дружба 2
1. Без удобрений	20,7	18,3	231,0	183,0	6,31	8,76	1,46	1,60
2. N ₁₄ P ₆₀ K ₉₀	22,9	19,6	286,4	208,3	6,33	8,76	1,82	1,83
3. N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀	24,7	21,8	345,5	242,7	6,37	8,92	2,20	2,17
4. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	26,0	22,1	373,7	263,9	6,40	9,01	2,39	2,37
5. N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	27,3	23,4	427,0	294,4	6,42	9,06	2,74	2,67
6. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₉₀	27,0	23,0	409,1	283,8	6,40	8,84	2,61	2,51
7. N ₁₄ P ₆₀ K ₉₀ + Ризобактерин	22,8	20,4	288,7	211,1	6,36	8,85	1,84	1,87
8. N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀ + Ризобактерин	24,8	21,9	344,8	246,6	6,34	8,90	2,18	2,20
9. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Cu (хелат.)	26,8	23,4	400,4	293,9	6,45	9,08	2,58	2,67
10. N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Cu (хелат.)	29,1	24,2	473,8	308,8	6,52	9,17	3,09	2,83
11. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₉₀ + Cu (хелат.)	28,1	23,6	447,8	293,5	6,43	9,01	2,87	2,64
12. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + CuSO ₄ 5H ₂ O	26,4	23,2	397,4	284,1	6,39	9,05	2,54	2,57
13. N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + CuSO ₄ 5H ₂ O	28,6	23,7	453,0	298,8	6,38	9,11	2,88	2,72
14. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₉₀ + CuSO ₄ 5H ₂ O	27,7	23,2	423,5	293,4	6,43	8,98	2,72	2,63
15. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Cu + Zn (хелат.)	27,4	23,8	422,7	295,0	6,46	9,07	2,73	2,68
16. N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Cu + Zn (хелат.)	29,5	24,4	482,2	309,8	6,48	9,19	3,12	2,84
17. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₉₀ + Cu + Zn (хелат.)	28,5	24,4	466,7	309,8	6,39	9,04	2,98	2,80
18. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + CuSO ₄ 5H ₂ O + ZnSO ₄ 7H ₂ O	27,3	23,0	430,1	275,9	6,44	9,04	2,77	2,49
19. N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + CuSO ₄ 5H ₂ O + ZnSO ₄ 7H ₂ O	29,2	24,0	472,1	300,3	6,43	9,13	3,03	2,74
20. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₉₀ + CuSO ₄ 5H ₂ O + ZnSO ₄ 7H ₂ O	28,0	23,5	445,3	287,2	6,39	9,04	2,84	2,59
21. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Cu + Zn (хелат.) + Эпин	27,8	23,3	433,7	298,8	6,44	9,10	2,79	2,72

Окончание табл. 1

Вариант	Длина метелки, см		Количество зерен в метелке, шт		Масса 1000 зерен, г		Вес зерна с метелки, г	
	Галинка	Дружба 2	Галинка	Дружба 2	Галинка	Дружба 2	Галинка	Дружба 2
22. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + CuSO ₄ 5H ₂ O + ZnSO ₄ 7 H ₂ O + Эпин	27,5	23,1	423,9	284,5	6,42	9,07	2,72	2,58
НСР ₀₅ фактора А (сорт)	0,2		2,17		0,01		0,02	
НСР ₀₅ фактора Б (вариант опыта)	0,5		7,20		0,03		0,05	
НСР ₀₅ фактора АБ	0,7		10,18		0,04		0,08	

Таблица 2

Влияние макро- и микроудобрений, бактериальных препаратов и регуляторов роста на урожайность зерна проса сортов Галинка и Дружба 2 (среднее за 2009-2011 гг.)

Вариант	Урожайность, ц/га		Прибавка, ц/га						Окупаемость 1 кг НРК, кг зерна	
	Галинка	Дружба 2	к контролю		от N		от Ризобактерина		от Су-Зп-Эпина	
			Галинка	Дружба 2	Галинка	Дружба 2	Галинка	Дружба 2	Галинка	Дружба 2
1. Без удобрений	22,9	26,8	—	—	—	—	—	—	—	—
2. N ₁₄ P ₆₀ K ₉₀	27,9	30,0	5,0	3,2	—	—	—	—	3,1	2,0
3. N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀	31,0	36,1	8,1	9,3	3,1	6,1	—	—	4,1	4,8
4. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	34,6	39,2	11,7	12,5	6,7	9,2	—	—	5,6	5,9
5. N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	38,8	43,7	15,9	16,9	10,9	13,7	—	—	6,6	7,0
6. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₉₀	37,4	41,5	14,5	14,7	9,5	11,5	—	—	6,1	6,1
7. N ₁₄ P ₆₀ K ₉₀ + Ризобактерин	28,3	32,1	5,4	5,3	—	—	0,4	2,1	—	3,2
8. N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀ + Ризобактерин	30,8	36,0	8,0	9,2	—	—	—	—	4,1	4,7

9. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Cu (хелат.)	37,7	44,3	14,9	17,5	-	-	-	-	3,1	5,1	7,1	8,3
10. N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Cu (хелат.)	44,0	46,5	21,1	19,7	-	-	-	-	5,2	2,8	8,8	8,2
11. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₉₀ + Cu (хелат.)	40,7	43,4	17,9	16,6	-	-	-	-	3,3	1,9	7,4	6,9
12. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + CuSO ₄ 5H ₂ O	36,4	42,3	13,5	15,5	-	-	-	-	1,8	3,0	6,4	7,4
13. N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + CuSO ₄ 5H ₂ O	42,0	44,7	19,1	18,0	-	-	-	-	3,2	1,1	8,0	7,5
14. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₉₀ + CuSO ₄ 5H ₂ O	39,2	43,8	16,3	17,0	-	-	-	-	1,8	2,3	6,8	7,1
15. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Cu + Zn (хелат.)	38,7	44,3	15,8	17,6	-	-	-	-	4,1	5,1	7,5	8,4
16. N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Cu + Zn (хелат.)	43,7	46,9	20,9	20,1	-	-	-	-	4,9	3,2	8,7	8,4
17. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₉₀ + Cu + Zn (хелат.)	42,3	45,9	19,4	19,2	-	-	-	-	4,9	4,5	8,1	8,0
18. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + CuSO ₄ 5H ₂ O + ZnSO ₄ 7H ₂ O	39,0	41,3	16,1	14,5	-	-	-	-	4,4	2,0	7,7	6,9
19. N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + CuSO ₄ 5H ₂ O + ZnSO ₄ 7H ₂ O	43,1	44,2	20,2	17,4	-	-	-	-	4,3	0,5	8,4	7,2
20. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₉₀ + CuSO ₄ 5H ₂ O + ZnSO ₄ 7H ₂ O	40,5	43,0	17,7	16,2	-	-	-	-	3,2	1,5	7,4	6,8
21. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Cu + Zn (хелат.) + Эпин	39,9	43,4	17,1	16,6	-	-	-	-	5,3	4,1	8,1	7,9
22. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + CuSO ₄ 5H ₂ O + ZnSO ₄ 7H ₂ O + Эпин	39,1	42,2	16,3	15,5	-	-	-	-	4,5	3,0	7,7	7,4
НСП ₀₅ фактора А (сорт)	0,28											
НСП ₀₅ фактора Б (вариант опыта)	0,94											
НСП ₀₅ фактора АБ	1,34											

Использование для обработки семян регулятора роста Эпин на базе инкрустационной смеси с медью и цинком на фоне минерального питания $N_{60}P_{60}K_{90}$ в среднем за три года исследований оказывало влияние на урожайность зерна только на мелкосемянном сорте Галинка. Так, обработка семян на данном сорте смесью Эпина с микроэлементами в хелатной форме позволила получить урожайность зерна на уровне 39,9 ц/га, при этом прибавка к контролю составила 17,1 ц/га, прибавка от инкрустации семян – 5,3 ц/га и окупаемость 1 кг НРК кг зерна – 8,1 кг.

Анализируя данные урожайности зерна крупносемянного сорта Дружба 2, следует отметить, что среди изучаемых уровней минерального питания наиболее оптимальным для данных почвенно-климатических условий оказался $N_{90}P_{60}K_{90}$, применение которого позволило получить урожайность зерна на уровне 43,7 ц/га и окупаемость 1 кг НРК 7,0 кг зерна. Применение 90 кг/га азота в данном варианте было обеспечено самой высокой прибавкой зерна по отношению к фону от внесения азотных удобрений – 13,7 ц/га (табл. 2).

Инокуляция семян бактериальным удобрением Ризобактерин оказывала влияние на урожайность зерна проса сорта Дружба 2 только на фоне минерального питания $N_{14}P_{60}K_{90}$. Применение данной обработки семян позволило получить урожайность зерна на уровне 32,1 ц/га, при этом прибавка зерна по отношению к контролю составила 5,3 ц/га, по отношению к фону – 2,1 ц/га, а окупаемость 1-го кг НРК кг зерна – 3,2 кг.

Наибольшее повышение урожайности зерна от инкрустации микроэлементами у данного сорта проса наблюдалось на фоне применения доз минеральных удобрений $N_{60}P_{60}K_{90}$. Применение хелатной формы меди на вышеуказанном фоне позволило повысить урожайность зерна на 5,1 ц/га. При этом наибольшая урожайность на этом сорте была получена на минеральном фоне $N_{90}P_{60}K_{90}$, где обработка семян хелатной формой меди позволила повысить урожайность до уровня 46,5 ц/га и получить прибавку к контролю – 19,7 ц/га, прибавку от инкрустации семян медью – 2,8 ц/га, окупаемость 1 кг НРК – 8,2 кг зерна.

При использовании для обработки семян сульфата меди на фоне $N_{90}P_{60}K_{90}$ у сорта Дружба 2 урожайность зерна составила 44,7 ц/га, при этом окупаемость 1 кг НРК в сравнении с применением хелатной формы меди снизилась до уровня 7,5 кг зерна.

Дополнительное введение цинка в инкрустационный медьсодержащий состав на крупносемянном сорте оказывало положительное влияние на продуктивность зерна только при использовании хелатных форм микроэлементов на фоне применения доз минеральных удобрений $N_{60+30}P_{60}K_{90}$. Данная обработка позволила повысить урожайность на 2,5 ц/га в сравнении с однократным применением меди, которая достигла уровня в 45,9 ц/га зерна.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований было установлено, что инкрустация семян проса микроэлементами, регуляторами роста и бактериальными препаратами способствует увеличению элементов структуры урожая проса изучаемых сортов, что приводит к повышению продуктивности зерна этой культуры.

2. Оптимальным уровнем минерального питания на обоих изучаемых сортах был определен $N_{90}P_{60}K_{90}$ с применением полной дозы азотных удобрений разово

под предпосевную обработку почвы, который обеспечивает получение урожайности зерна проса мелкосемянного сорта Галинка на уровне 38,8 ц/га и крупносемянного сорта Дружба 2 – 43,7 ц/га, с окупаемостью 1 кг NPK – 6,6 и 7,0 кг зерна соответственно.

3. Инокуляция семян проса бактериальным препаратом Ризобактерин оказывала влияние на урожайность зерна проса только на крупносемянном сорте Дружба 2 при возделывании его на фоне минерального питания $N_{14}P_{60}K_{90}$. В результате прибавка зерна от применения Ризобактерина составила 2,1 ц/га, при общей урожайности – 32,1 ц/га и окупаемости 1 кг NPK – 3,2 кг зерна.

4. Дополнительное введение в инкрустационный состав с медью и цинком регулятора роста Эпин на более низком фоне минерального питания ($N_{60}P_{60}K_{90}$) позволяет получить прибавку зерна от обработки семян на сорте Галинка 4,5–5,3 ц/га, а на сорте Дружба 2 – 3,0–4,1 ц/га, при этом максимальные её значения были получены при применении регулятора роста совместно с хелатными формами микроэлементов. В результате применения данного варианта на мелкосемянном сорте Галинка была получена урожайность зерна на уровне 39,9 ц/га, а на крупносемянном сорте Дружба 2 – 43,4 ц/га, при окупаемости 1 кг NPK 8,1 и 7,9 кг зерна соответственно.

5. Инкрустации семян проса медью при оптимальном уровне минерального питания ($N_{90}P_{60}K_{90}$) позволяет дополнительно повысить урожайность зерна у сорта Галинка на 3,2–5,2 ц/га и у сорта Дружба 2 – на 2,0–2,8 ц/га, при этом наибольшая прибавка урожая обеспечивалась при применении хелатной формы микроэлемента. В результате применения данного варианта была получена максимальная урожайность зерна в опыте с просом, которая составила на мелкосемянном сорте Галинка 44,0 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 8,8 кг зерна и на крупносемянном сорте Дружба – 46,5 ц/га и 8,2 кг соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Привалов, Ф. И. Оптимизация семеноводства и сортосмены крупяных культур – резерв повышения их урожайности / Ф. И. Привалов, Р. М. Кадыров, Т. А. Анохина // Земляробства і ахова раслін. – 2012. – № 2 (81). – С. 3–5.
2. Агрохимия: учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 704 с.
3. Куделко, В. Н. Оптимизация приемов возделывания проса посевного (*Panicum miliaceum* L.) в условиях центральной части Беларуси: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09 / В. Н. Куделко. – Жодино, 2012. – С. 34–35.
4. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (С основами статистической обработки результатов исследований). – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с., ил. – (Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений).
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. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа. – Минск: Беларус. наука, 2007. – 390 с.

THE EFFECT OF MACRO-, MICROFERTILITIES, GROWTH REGULATORS AND BACTERIAL PREPARATE ON STRUCTURE HARVEST AND PRODUCTIVITY OF GRAIN OF THE MILLET

Y. V. Kahotska

Summary

The incrustation of millet seeds with copper on the background of mineral nutrition $N_{90}P_{60}K_{90}$ makes it possible to obtain an increase in grain from the small seed variety Galinka at the level of 3,2–5,2 c/ha and from the large seed variety Druzhba 2 – 2,0–2,8 c/ha, with the largest its value is ensured by the use of a chelated form of a trace element. As a result, the grain yield on the Galinka variety was 44,0 c/ha with a payback period of 1 kg of NPK 8,8 kg of grain, and on the Druzhba 2 variety – 46,5 c/ha and 8,2 kg, respectively.

Поступила 02.05.19

УДК 631.8.022.3:631.84:631.112.9

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АЗОТНЫХ ПОДКОРМОК И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

С. А. Пынтиков¹, Л. А. Булавин¹, А. П. Гвоздов¹, А. И. Немкович²

¹Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию, г. Жодино, Беларусь

²ООО «Интеррос», г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Беларуси большое внимание уделяется возделыванию озимой пшеницы, которая является важнейшей зерновой культурой в республике. Посевная площадь озимой пшеницы в Беларуси в 2018 г. составила 533,9 тыс. га, что больше по сравнению с 2000 г. в 2,1 раза.

Озимая пшеница по сравнению с другими зерновыми культурами имеет менее развитую корневую систему и более низкую способность поглощать питательные вещества из почвы, особенно трудно растворимые [6]. Кроме того, озимая пшеница характеризуется низкой конкурентоспособностью по отношению к сорнякам, а также повышенной чувствительностью к болезням, вредителям и неблагоприятным факторам внешней среды – ранним заморозкам, засухе и т.д. [7]. Поэтому для формирования высокой урожайности зерна при оптимизации технологии возделывания этой культуры необходимо принимать во внимание указанные выше её биологические особенности.

На преобладающих в Беларуси дерново-подзолистых почвах, которые характеризуются невысоким естественным плодородием, основным урожаеобразующим фактором является применение азотных удобрений [5]. Важное значение для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур имеет также использование микроэлементов, которые улучшают рост и развитие растений, их устойчивость к неблагоприятным погодным условиям, болезням, вредителям, повышают эффективность минеральных удобрений, прежде всего азотных, что способствует увеличению урожайности и повышению качества продукции [1, 4]. В этой связи целью наших исследований являлось изучение эффективности применения на посевах озимой пшеницы комплексного микроудобрения Дисолвин АБЦ при разных уровнях азотного питания растений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2017–2018 гг. изучали влияние на урожайность зерна озимой пшеницы возрастающих доз азота и сроков внесения препарата Дисолвин АБЦ. Исследования проводили в Смолевичском районе Минской области на опытных полях РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» на дерново-подзолистой супесчаной почве (содержание гумуса 2,45–2,67 %, P_2O_5 – 303–314 мг/кг, K_2O – 289–301 мг/кг почвы, pH_{KCl} 5,9–6,3). Предшественник озимой пшеницы – клевер одногодичного пользования. Фосфорные (аммонизированный суперфосфат) и калийные (хлористый калий) удобрения вносили в дозе $P_{60}K_{120}$ под вспашку. Для посева использовали семена озимой пшеницы сорта Мроя. Азотные удобрения (мочевина) применяли в стадию ДК 22–24 (начало активной вегетации растений), ДК 31–32 (выход в трубку), ДК 37–39 (флаговый лист) в соответствии со схемой опыта. Препарат Дисолвин АБЦ вносили на всех изучаемых уровнях азотного питания растений однократно в стадию ДК 31–32 (0,2 л/га), ДК 37–39 (0,2 л/га), а также двукратно в указанные выше фазы развития растений (0,2 + 0,2 л/га). Норма расхода рабочего раствора – 200 л/га. Технология возделывания озимой пшеницы за исключением изучаемых факторов проводилась в соответствии с отраслевым регламентом [2].

Метеорологические условия в период проведения исследований существенно отличались от среднемноголетних показателей как по температурному режиму, так и по количеству выпавших атмосферных осадков. За основную часть вегетационного периода 2017 г. (май–август) сумма активных температур была ниже нормы на 2,1 %, а количество атмосферных осадков превышало среднемноголетний уровень на 4,9 %. Гидротермический коэффициент (ГТК) за указанный выше период составил 1,74. В 2018 г. сумма активных температур за указанный период была выше нормы на 11,7 %, а количество атмосферных осадков ниже среднемноголетних значений на 19,6 %. Гидротермический коэффициент в этом случае составил 1,17 при норме для данного региона в 1,63.

Анализ метеонаблюдений свидетельствует о том, что наиболее благоприятные для вегетации озимой пшеницы погодные условия сложились в 2017 г., а наименее благоприятные – в 2018 г. Это оказало существенное влияние на рост и развитие культурных растений, а также на уровень их продуктивности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что при возделывании озимой пшеницы по вспашке после клевера, который накапливает в почве симбиотический азот, урожайность зерна этой культуры в вариантах, где применяли азотные удобрения в дозе N_{60+40} , N_{60+60} , $N_{60+60+20}$, $N_{60+60+40}$ и не использовали Дисолвин АБЦ, составила в среднем за 2017–2018 гг. 48,0; 50,2; 51,1; 50,5 ц/га соответственно. Внесение при этих уровнях азотного питания растений препарата Дисолвин АБЦ (0,2 л/га) в фазу выхода в трубку (ДК 31–32) обеспечило прибавку урожайности зерна озимой пшеницы 2,3 ц/га (4,8 %), 2,3 ц/га (4,6 %), 2,2 ц/га (4,3 %), 2,4 ц/га (4,8 %). В вариантах, где Дисолвин АБЦ применяли в фазу флагового листа (ДК 37–39), указанные выше показатели были равны 3,1 ц/га (6,5 %), 3,3 ц/га (6,6 %), 3,4 ц/га (6,7 %), 3,5 ц/га (6,9 %) соответственно. При двукратном использовании Дисолвина АБЦ они составили 3,2 ц/га (6,7 %), 3,6 ц/га (7,2 %), 3,7 ц/га (7,2 %), 3,5 ц/га (6,9 %).

В среднем за период исследований наибольшая урожайность зерна озимой пшеницы (54,8 ц/га) была получена в варианте с внесением азота в дозе $N_{60+60+20}$ и двукратном использовании препарата Дисолвин АБЦ (табл. 1).

Таблица 1

Влияние азотных подкормок и препарата Дисолвин АБЦ на урожайность зерна озимой пшеницы

Применение азота	Применение Дисолвин АБЦ	Урожайность, ц/га			Прибавка от подкормки азотом		Прибавка от применения Дисолвин АБЦ	
		2017 г.	2018 г.	среднее	ц/га	%	ц/га	%
N_{60+40}	Без Дисолвина	59,0	37,0	48,0	–	–	–	–
	ДК 31–32	61,6	38,9	50,3	–	–	2,3	4,8
	ДК 37–39	62,6	39,6	51,1	–	–	3,1	6,5
	ДК 31–32 и ДК 37–39	62,6	39,7	51,2	–	–	3,2	6,7
N_{60+60}	Без Дисолвина	61,3	39,1	50,2	2,2	4,6	–	–
	ДК 31–32	63,9	41,1	52,5	2,2	4,4	2,3	4,6
	ДК 37–39	65,1	41,8	53,5	2,4	4,7	3,3	6,6
	ДК 31–32 и ДК 37–39	65,9	41,7	53,8	2,6	5,1	3,6	7,2
$N_{60+60+20}$	Без Дисолвина	62,5	39,6	51,1	3,1	6,5	–	–
	ДК 31–32	65,0	41,6	53,3	3,0	6,0	2,2	4,3
	ДК 37–39	66,6	42,4	54,5	3,4	6,7	3,4	6,7
	ДК 31–32 и ДК 37–39	66,9	42,6	54,8	3,6	7,0	3,7	7,2
$N_{60+60+40}$	Без Дисолвина	61,6	39,4	50,5	2,5	5,2	–	–
	ДК 31–32	64,5	41,3	52,9	2,6	5,2	2,4	4,8
	ДК 37–39	65,8	42,1	54,0	2,9	5,7	3,5	6,9
	ДК 31–32 и ДК 37–39	66,1	41,9	54,0	2,8	5,5	3,5	6,9
НСР ₀₅		4,0		2,4				

Для объективной оценки изучаемых элементов технологии возделывания озимой пшеницы был проведен экономический анализ полученных результатов исследований, который основывается на сопоставлении производственных затрат

и полученной прибыли. При расчете эксплуатационных затрат на выполнение операций по возделыванию озимой пшеницы современным комплексом отечественных машин использовалась методика определения показателей эффективности новой техники [3]. При расчете эксплуатационных затрат принимались во внимание амортизационные отчисления на используемую технику, затраты на ее обслуживание и ремонт, заработная плата механизаторов, топливо и энергия, а также прочие затраты.

Проведенные расчеты показали, что при технологии возделывания озимой пшеницы, которая предусматривает проведение вспашки, применение фосфорно-калийных удобрений, двукратное внесение азотных удобрений, использование гербицидов и фунгицидов при урожайности зерна в 40 ц/га, эксплуатационные затраты составляют 672,88 руб./га. С учетом дополнительного внесения азота, применения препарата Дисолвин АБЦ и уровня урожайности зерна озимой пшеницы эксплуатационные затраты по вариантам опыта изменялись в пределах 692,81–747,05 руб./га (табл. 2).

Таблица 2

Расчет производственных затрат на возделывание озимой пшеницы при различном использовании азотных удобрений и препарата Дисолвин АБЦ, руб./га

Вариант		Семена	Минеральные удобрения	Пестициды	Эксплуатационные затраты	Производственные затраты
Доза азота	Применение Дисолвина АБЦ					
N ₆₀₊₄₀	–	95,48	255,59	267,25	692,81	1311,13
	ДК 31–32	95,48	261,11	267,25	706,53	1330,37
	ДК 37–39	95,48	261,11	267,25	708,53	1332,37
	ДК 31–32 и ДК 37–39	95,48	266,63	267,25	716,74	1346,10
N ₆₀₊₆₀	–	95,48	282,72	267,25	698,33	1343,78
	ДК 31–32	95,48	288,24	267,25	712,06	1363,03
	ДК 37–39	95,48	288,24	267,25	714,57	1365,54
	ДК 31–32 и ДК 37–39	95,48	293,76	267,25	723,27	1379,76
N ₆₀₊₆₀₊₂₀	–	95,48	309,85	267,25	712,23	1384,81
	ДК 31–32	95,48	315,37	267,25	725,70	1403,80
	ДК 37–39	95,48	315,37	267,25	728,72	1406,55
	ДК 31–32 и ДК 37–39	95,48	320,89	267,25	737,42	1421,04
N ₆₀₊₆₀₊₄₀	–	95,48	336,98	267,25	722,37	1422,08
	ДК 31–32	95,48	342,50	267,25	736,34	1441,57
	ДК 37–39	95,48	342,50	267,25	739,10	1444,33
	ДК 31–32 и ДК 37–39	95,48	348,02	267,25	747,05	1457,80

Расчет производственных затрат проводили по всем вариантам опыта с учетом стоимости семян, применения удобрений, препарата Дисолвин АБЦ, используемых пестицидов и затрат на уборку урожая в ценах по состоянию на 01.04.2018 г. В соответствии с проведенными расчетами производственные затраты на возделывание озимой пшеницы изменялись по вариантам опыта в пределах 1311,13–1457,80 руб./га.

Установлено, что при возделывании озимой пшеницы без применения препарата Дисолвин АБЦ с внесением азота в дозах N₆₀₊₄₀, N₆₀₊₆₀, N₆₀₊₆₀₊₂₀, N₆₀₊₆₀₊₄₀ прибыль

составила 444,04; 491,83; 483,71; 424,50 руб./га соответственно. Рентабельность при этом была равна 33,87; 36,60; 34,93; 29,85 % соответственно, а себестоимость зерна – 27,32; 26,77; 27,10; 28,16 руб./ц. Следовательно, при такой технологии возделывания озимой пшеницы наибольший экономический эффект в сложившихся условиях обеспечила доза азота N_{60+60} (табл. 3).

Таблица 3

**Экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы
при различном использовании азотных удобрений и препарата Дисолвин АБЦ
(среднее за 2017–2018 гг.)**

Вариант		Стоимость продукции, руб./га	Производ- ственные затраты, руб./га	Прибыль, руб./га	Рента- бель- ность, %	Себесто- имость, руб./ц
Доза азота	Применение Дисолвина АБЦ					
N_{60+40}	–	1755,17	1311,13	444,04	33,87	27,32
	ДК 31–32	1839,27	1330,37	508,90	38,25	26,45
	ДК 37–39	1868,52	1332,37	536,15	40,24	26,07
	ДК 31–32 и ДК 37–39	1872,18	1346,10	526,08	39,08	26,29
N_{60+60}	–	1835,61	1343,78	491,83	36,60	26,77
	ДК 31–32	1919,72	1363,03	556,69	40,84	25,96
	ДК 37–39	1956,28	1365,54	590,74	43,26	25,52
	ДК 31–32 и ДК 37–39	1967,25	1379,76	587,49	42,58	25,65
$N_{60+60+20}$	–	1868,52	1384,81	483,71	34,93	27,10
	ДК 31–32	1948,97	1403,80	545,17	38,84	26,34
	ДК 37–39	1992,85	1406,55	586,30	41,68	25,81
	ДК 31–32 и ДК 37–39	2003,82	1421,04	582,78	41,01	25,93
$N_{60+60+40}$	–	1846,58	1422,08	424,50	29,85	28,16
	ДК 31–32	1934,34	1441,57	492,77	34,18	27,25
	ДК 37–39	1974,56	1444,33	530,23	36,71	26,75
	ДК 31–32 и ДК 37–39	1974,56	1457,80	516,76	35,45	27,00

Применение препарата Дисолвин АБЦ на посевах озимой пшеницы обеспечило улучшение показателей экономической эффективности при всех изучаемых уровнях азотного питания растений. При этом необходимо отметить, что независимо от дозы азота наибольший эффект был получен при внесении препарата Дисолвин АБЦ (0,2 л/га) в фазу флагового листа озимой пшеницы (ДК 37–39). Под влиянием Дисолвина АБЦ, внесенного в эту фазу, прибыль увеличилась в зависимости от уровня азотного питания растений на 92,11–105,73 руб./га, рентабельность – 6,37–6,86 %, а себестоимость зерна уменьшилась на 1,25–1,41 руб./ц. При внесении препарата Дисолвин АБЦ (0,2 л/га) однократно в фазу выхода в трубку (ДК 31–32) и двукратно в фазы выхода в трубку (ДК 31–32) и флагового листа (ДК 37–39) улучшение указанных выше экономических показателей было выражено в меньшей степени. Максимальный экономический эффект в сложившихся условиях обеспечила технология возделывания озимой пшеницы, предусматривающая внесение азота в дозе N_{60+60} и однократное применение препарата Дисолвин АБЦ (0,2 л/га) в фазу флагового листа (ДК 37–39). Прибыль в этом случае составила 590,74 руб./га, рентабельность – 43,26 %, а себестоимость зерна – 25,52 руб./ц.

Сопоставление полученных результатов свидетельствует о том, что в варианте, где вносили азот в дозе N_{60+60} и не применяли Дисолвин АБЦ, прибыль (491,83 руб./га) была ниже на 44,32 руб./га по сравнению с вариантом, где использовали дозу азота N_{60+40} и вносили Дисолвин АБЦ в фазу флагового листа (ДК 37–39). Рентабельность при этом увеличилась на 3,64 %, а себестоимость зерна снижалась на 0,7 руб./ц. Это свидетельствует о перспективности использования препарата Дисолвин АБЦ в ресурсосберегающих технологиях возделывания озимой пшеницы.

ВЫВОДЫ

При возделывании озимой пшеницы после клевера, накапливающего в почве симбиотический азот, наибольший экономический эффект был получен при внесении азота в дозе N_{60+60} с однократным применением препарата Дисолвин АБЦ (0,2 л/га) в фазу флагового листа (ДК 37–39). Прибыль при этом составила 590,74 руб./га, рентабельность – 43,26 %, себестоимость зерна – 25,52 руб./ц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вильдфлуш, И. Р.* Рациональное применение удобрений / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Горки: БГСХА, 2002. – 324 с.
2. Возделывание озимой пшеницы. Отраслевой регламент // Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур. Сборник отраслевых регламентов. – Минск: Изд. дом «Белорусская наука», 2012. – С. 45–63.
3. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей: ТКП 151-2008. – Введ. 17.11.2008. – Минск: Минсельхозпрод, Белорус. машиноиспытательная станция, 2008. – 15 с.
4. *Рак, М. В.* Микроэлементы в почвах Беларуси и применение микроудобрений в современных агротехнологиях / М. В. Рак // Плодородие почв – основа устойчивого развития сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. и IV съезда почвоведов, Минск, 26–30 июля 2010 г.: в 2 ч.; редкол.: В. В. Лапа и [др.] / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – Ч. 1. – С. 14–17.
5. *Семененко, Н. Н.* Прогрессивные системы применения азотных удобрений / Н. Н. Семененко. – Минск: Бел. Изд. Тов-во «Хата», 2003. – 162 с.
6. Технология получения высоких урожаев озимой пшеницы / С. Н. Куликович [и др.] // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – 3-е изд., доп. и перераб. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – С. 86–104.
7. *Шпаар, Д.* Зерновые культуры (Выращивание, уборка, доработка и использование) / Д. Шпаар [и др.]; под ред. Д. Шпаар. – М., 2009. – 784 с.

ECONOMIC EFFICIENCY OF USING NITROGEN FERTILIZERS AND MICROELEMENTS IN CULTIVATION OF WINTER WHEAT

S. A. Pyntikov, L. A. Bulavin, A. P. Gvozдов, A. I. Nemkovich

Summary

The article presents the results of studies to assess the effectiveness of the use of nitrogen fertilizers and Disolvin ABC complex microfertilizers on winter wheat crops. It was established that in the cultivation of winter wheat after clover, the greatest economic effect was obtained when nitrogen was applied at a dose of N₆₀₊₆₀ with a single use of Disolvin ABC (0,2 l/ha) in the flag leaf phase (DK 37–39).

Поступила 19.03.2019

УДК 631.847.22:631.461

АНТАГОНИСТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РИЗОБАКТЕРИЙ *A. BRASILENSE* И *B. CIRCULANS* ПО ОТНОШЕНИЮ К ФИТОПАТОГЕННЫМ МИКРОМИЦЕТАМ РР. *FUSARIUM* И *ALTERNARIA*

Н. А Михайловская, Т. Б. Барашенко

Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Ризобактерии *Azospirillum brasilense* и *Bacillus circulans* относятся к группе PGPR (plant growth-promoting rhizobacteria). Актуальность применения PGPR обусловлена их способностью стимулировать развитие корневой системы и повышать адаптивные возможности растений в отношении потребления воды и элементов минерального питания из почвы и удобрений [1]. Многие исследования свидетельствуют об антистрессовом действии представителей группы PGPR, на что указывает повышение содержания свободного пролина и абсцизовой кислоты в инокулированных растениях [2, 3].

Наиболее перспективны PGPR, обладающие комплексом полезных свойств и оказывающие полифункциональное воздействие на растения. Принимая во внимание значимость азотного и калийного питания растений и их синергизм, наибольший интерес в качестве моноинокулянтов и составляющих многокомпонентных микробных препаратов для повышения урожайности сельскохозяйственных культур представляют азотфиксирующие и калиймобилизующие бактерии. Разнообразие приспособительных механизмов ризобактерий *Azospirillum brasilense* и *Bacillus circulans* по-прежнему привлекает к ним внимание исследователей.

К настоящему времени ассоциативные азотфиксирующие бактерии р. *Azospirillum* можно отнести к наиболее полно исследованным PGPR [4–7], слизеообра-

зующие бактерии *Bacillus circulans*, способные к мобилизации калия из труднодоступных почвенных форм, изучены в меньшей степени [8–10]. Анализ научной литературы показывает, что для обеих разновидностей PGPR наименее исследованы их антагонистические свойства по отношению к возбудителям болезней сельскохозяйственных культур.

Цель исследований – в серии *in vitro* экспериментов оценить антагонистическую активность зональных штаммов ризобактерий *A. brasilense* и *B. circulans* по отношению к фитопатогенным микромицетам рр. *Fusarium* и *Alternaria*.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В наших исследованиях использованы штаммы азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий из коллекции РУП «Институт почвоведения и агрохимии». Штаммы патогенных микромицетов получены из коллекционного фонда РУП «Институт защиты растений».

Зональный штамм ризобактерий *Azospirillum brasilense* 2(в)3 характеризуется высоким гормональным воздействием на растения [12], значительным азотфиксирующим потенциалом, способностью к растворению труднодоступных ортофосфатов кальция [13], положителен по нитратредуктазе (nit+).

Зональный штамм ризобактерий *Bacillus circulans* К-81 отличается способностью к мобилизации труднодоступных форм почвенного калия [10], к растворению трехзамещенных ортофосфатов кальция и высокой ростостимулирующей активностью [12, 13].

Для оценки антагонистической активности зональных штаммов азотфиксирующих *A. brasilense* и калиймобилизующих *B. circulans* бактерий по отношению к фитопатогенным микромицетам проведена серия *in vitro* экспериментов.

Эксперимент 1. Исследования *in vitro* по оценке способности *A. brasilense* и *B. circulans* к биоконтролю фитопатогенных грибов рр. *Fusarium* и *Alternaria* проводили методом встречных культур и агаровых блоков на картофельно-глюкозном агаре КГА (PGA) [11]. С одной стороны чашки Петри на поверхность КГА (1 см от края) наносили петлей суточные культуры бактерий, *A. brasilense* 2(в)3 и *B. circulans* К-81, выращенные в пробирках на картофельном агаре. В центр чашки Петри помещали круглый блок диаметром 10 мм с активно выросшей в чашке Петри на КГА культурой патогенного гриба р. *Fusarium* (*F. poae*, *F. oxysporum*, *F. graminearum*). Чашки оставляли на сутки в термостате при $t = 28$ °С. Ингибирование радиального роста патогенного гриба вычисляли по формуле: ИРРГ (%) = $[1 - (\text{рост гриба в сторону бактериальной культуры, см} / \text{рост гриба в обратную сторону в той же чашке Петри (контроль), см}) \times 100$ %. Влияние бактерий на рост патогенных грибов оценивали при комнатной температуре после инкубации в течение 3, 5, 7 суток и до момента, когда рост мицелия гриба достигал края в контроле в чашке Петри (Ш 9 см). Аналогично проводили оценку антагонистической активности бактерий *A. brasilense* 2(в)3 и *B. circulans* К-81 по отношению к фитопатогенным грибам *Alternaria* sp.

Эксперимент 2. Антагонистическую активность штаммов *A. brasilense* 2(в)3 и *B. circulans* К-81 по отношению к возбудителям фузариозов оценивали в лабораторных экспериментах с яровой пшеницей. Семена пшеницы предварительно обрабатывали 70 % этиловым спиртом (в течение 2 мин.) и промывали стериль-

ной дистиллированной водой. Для инфицирования семян использовали суспензии фитопатогенов р. *Fusarium*, полученные путем смыва дистиллированной водой мицелиальной и споровой массы с газонов грибов, выросших в пробирках на скошенном агаре КГА в течение 14 суток при $t = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Титр суспензии фитопатогенов $2,5 \cdot 10^5$ КОЕ/мл [20]. Суспензии исследуемых бактерий *A. brasilense* и *B. circulans* готовили путем смыва дистиллированной водопроводной водой суточных бактериальных культур с косяков, выросших в пробирках на картофельном агаре при $t = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Инфицирование обеззараженных семян производили путем нанесения суспензии фитопатогенов р. *Fusarium*, экспозиция 2 часа. После обработки фитопатогеном семена подсушивали на фильтровальной бумаге и раскладывали на половину поверхности питательной среды КГА в чашки Петри. Оставшиеся инфицированные семена делили на две части, одну из которых обрабатывали односуточной суспензией *A. brasilense*, вторую – односуточной суспензией *B. circulans* в концентрациях, равных концентрациям фитопатогенов. Обработанные семена помещали на свободную половину поверхности среды КГА в чашки Петри, которые затем инкубировали в термостате при температуре $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение двух суток. Антагонистические свойства бактериальных культур оценивали по отсутствию роста грибного фитопатогена на поверхности среды вокруг семян. Повторность в экспериментах трехкратная.

Эксперимент 3. Взаимодействие штаммов бактерий *A. brasilense* 2(в)3 и *B. circulans* К-81 с патогенными грибами р. *Fusarium* оценивали по влиянию на развитие проростков яровой пшеницы (фитотоксичности). Бактериальные суспензии и суспензии фитопатогенов готовили по аналогии с предыдущим экспериментом. На предварительно обеззараженные семена пшеницы (70 % этанол, 2 мин) наносили суспензию фитопатогенов *F. poae*, *F. oxysporum* и *F. graminearum* со следующими титрами в убывающем порядке – $T_1 = 1,0 \cdot 10^6$; $T_2 = 5,0 \cdot 10^5$; $T_3 = 2,5 \cdot 10^5$ КОЕ/мл и выдерживали в течение 2-х часов. Инфицированные фитопатогенами семена подсушивали на фильтровальной бумаге, делили на две части и обрабатывали односуточными суспензиями бактерий *A. brasilense* и *B. circulans* в концентрациях, равных концентрациям фитопатогенов. Обработанные семена раскладывали на увлажненную фильтровальную бумагу в чашки Петри (по 10 семян) и инкубировали в термостате при температуре $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение пяти суток при контроле влажности. В контрольном варианте семена выдерживали в дистиллированной воде. Повторность в экспериментах трехкратная. Совместное действие бактерий *A. brasilense* и *B. circulans* в сочетании с фитопатогенами определяли методом морфометрирования проростков пшеницы по следующим показателям: длина coleoptиля, суммарная длина корешков и их количество.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

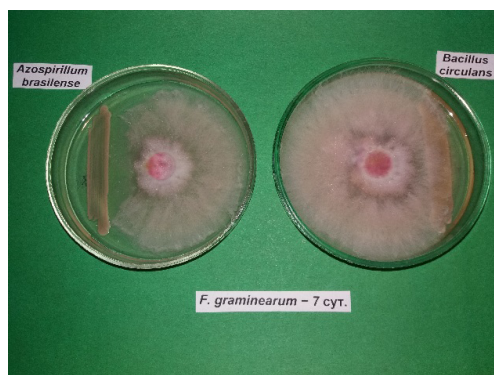
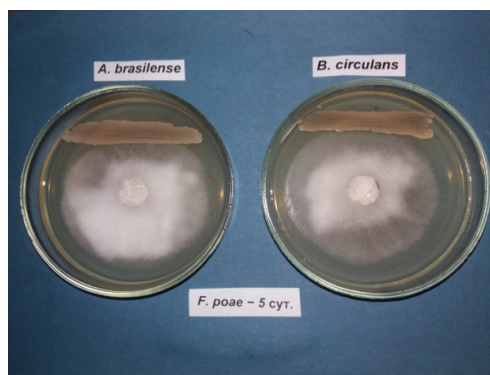
Выполнена серия *in vitro* исследований по оценке антагонистической активности азотфиксирующих бактерий *A. brasilense* 2(в)3 и калиймобилизующих бактерий *B. circulans* К-81 по отношению к фитопатогенным грибам рр. *Fusarium* и *Alternaria*.

Эксперимент 1. Количественную оценку влияния ризобактерий на развитие фитопатогенных грибов р. *Fusarium* (*F. poae*, *F. oxysporum*, *F. graminearum*) и *Alternaria sp.* проводили в три срока – после инкубации при комнатной температуре в течение 3, 5 и 7 суток. Установлено, что за счет применения штамма *A. brasilense* ингибирование радиального роста патогенного микромицета *Fusarium poae* на 3-и сутки составило 15,1 %, на 5-е сутки – 27,8 %, на 7-е сутки – 43,9 %, при использовании штамма *B. circulans* – 26,1, 27,5 и 42,3% соответственно. Показатели ингибирования радиального роста патогенного гриба *Fusarium oxysporum* азотфиксирующими бактериями на 5-е сутки составили 19 %, на 7-е сутки – 33,7 %, для калиймобилизующих бактерий – 22,4 и 25,8 % соответственно. При тестировании антагонистической активности азоспирилл против *Fusarium graminearum* получены следующие данные по сдерживанию роста гриба: на 5-е сутки – 37,9 %, на 7-е сутки – 40,6 %, для слизиобразующих бацилл – 35,5 и 37,3 %. Азотфиксирующие и калиймобилизующие бактерии оказывали менее значимое фунгистатическое действие против *Alternaria sp.* Ингибирование радиального роста патогенного микромицета *Alternaria sp.* на 5-е сутки составило 23,9 %, на 7-е сутки – 25,4 %, при использовании штамма *B. circulans* – 20,0 и 27,4 % соответственно (табл. 1, рис.1). Таким образом, *in vitro* тестирование антагонистической активности *A. brasilense* и *B. circulans* указывает на их потенциал в качестве агентов биологического контроля фитопатогенов рр. *Fusarium* и *Alternaria*.

Таблица 1

Антагонистическая активность *A. brasilense* и *B. circulans* по отношению к фитопатогенным грибам (2017–2018 гг.)

Фитопатогенный микромицет	ИРПГ, %					
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3			<i>B. circulans</i> K-81		
	3 суток	5 суток	7 суток	3 суток	5 суток	7 суток
<i>F. poae</i>	15,1	27,8	43,9	26,1	27,5	42,3
<i>F. oxysporum</i>	9,1	19,0	33,7	14,2	22,4	25,8
<i>F. graminearum</i>	33,7	37,9	40,6	13,7	35,5	37,3
<i>Alternaria sp.</i>	17,3	23,9	25,4	12,9	20,0	27,4



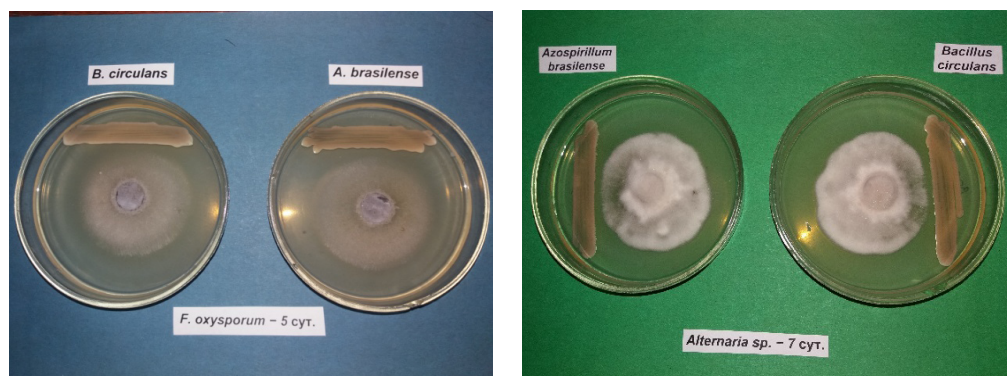


Рис. 1. Совместное культивирование *A. brasilense* и *B. circulans* с фитопатогенными микромицетами *F. poae*, *F. oxysporum*, *F. graminearum* и *Alternaria sp.*

Эксперимент 2. Во втором лабораторном эксперименте проведено сравнение обработки обеззараженных семян яровой пшеницы фитопатогенами р. *Fusarium* (*F. oxysporum* и *F. graminearum*) с действием тех же патогенных грибов в присутствии азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий *A. brasilense* или *B. circulans*. На рис. 2 можно видеть развитие мицелия патогенных грибов рода *Fusarium* только на тех сторонах поверхности питательной среды в чашках Петри, где семена были обработаны монокультурой фитопатогена. На второй половине чашек Петри виден результат совместного действия (взаимодействия) *A. brasilense* + *Fusarium* (1 : 1) или *B. circulans* + *Fusarium* (1 : 1) – отсутствие развития грибного мицелия (рис. 2). Зональные штаммы азотфиксирующих бактерий *A. brasilense* 2(в)3 и калиймобилизующих бактерий *B. circulans* К-81 сдерживали развитие грибов, что свидетельствует об их высокой фунгистатической активности против фитопатогенов р. *Fusarium*.

Эксперимент 3. В третьем лабораторном эксперименте проведено сравнение совместного действия зональных штаммов азотфиксирующих бактерий *A. brasilense* 2(в)3, калиймобилизующих бактерий *B. circulans* К-81 и фитопатогенных грибов р. *Fusarium* на морфометрические показатели проростков яровой пшеницы при разных титрах бактерий и фитопатогенов. Соотношение бактерии : фитопатоген = 1 : 1. Определены следующие показатели: средняя длина coleoptilya, суммарная длина корешков/растение и количество корешков/растение.

Экспериментальные данные показали, что в присутствии азоспирилл патогенный гриб *F. graminearum* не оказывал фитотоксического действия на количество корешков на растении и длину coleoptilya, эти показатели были сравнимы с контролем без обработки семян. Стимулирующий эффект от совместного применения азоспирилл и патогенного гриба *F. graminearum* отмечен по увеличению суммарной длины корешков/растение в вариантах с меньшими концентрациями ризобактерий и патогенного гриба при титрах T_2 и T_3 (табл. 2).

В присутствии калиймобилизующих бацилл при всех изученных титрах T_1 , T_2 и T_3 увеличение длины корешков и их количества изменялось незначительно (табл. 2). Фитотоксическое действие *F. graminearum* на длину coleoptilya отмечено при титрах T_1 с более высокими концентрациями ризобактерий и фитопатогена. При меньших титрах T_2 и T_3 наблюдали стимуляцию роста coleoptilya, однако достоверное увеличение было только в варианте с титром $2,5 \cdot 10^5$ КОЕ/мл.

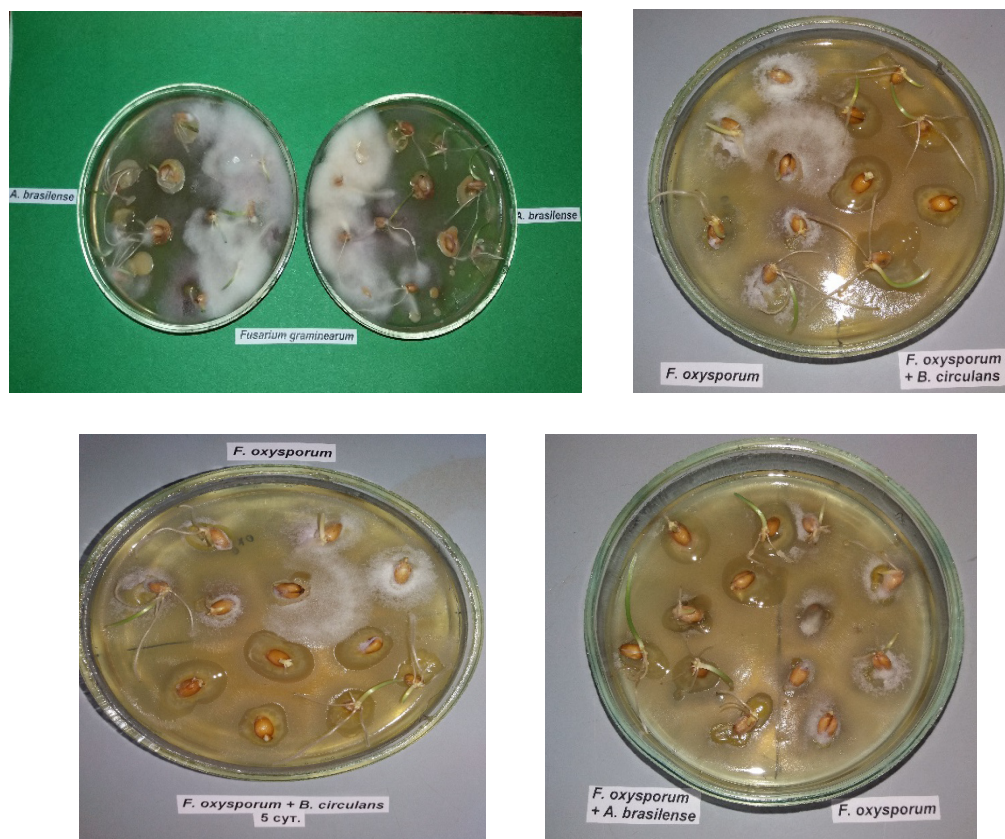


Рис. 2. Антагонистическое (фунгистатическое) действие *A. brasilense* и *B. Circulans* против фитопатогенных микромицетов *F. oxysporum* и *F. graminearum*

Таблица 2

Морфометрические показатели проростков яровой пшеницы при совместном действии *A. brasilense*, *B. circulans* и *F. graminearum* (2018 г.)

Вариант	Титры ризобактерий и фитопатогена	Средняя длина coleoptilia, мм	Суммарная длина корешков/растение, мм	Количество корешков/растение, шт.
Контроль	–	42,6	188,6	3,8
<i>A. brasilense</i> + <i>F. graminearum</i>	T ₁	42,3	197,0	3,7
	T ₂	42,8	222,8	3,9
	T ₃	45,3	232,5	3,9
<i>B. circulans</i> + <i>F. graminearum</i>	T ₁	38,9	189,3	3,8
	T ₂	43,5	189,0	3,9
	T ₃	47,8	198,7	4,0
HCP ₀₅	–	2,6	18,8	0,21
T ₁ = 1,0·10 ⁶ КОЕ/мл T ₂ = 5,0·10 ⁵ КОЕ/мл T ₃ = 2,5·10 ⁵ КОЕ/мл				

В присутствии азотфиксирующих бактерий патогенный гриб *F. oxysporum* не оказывал фитотоксического действия на количество корешков на растении и длину coleoptilia. При титре T₁ варьирование морфометрических показателей – в

пределах НСР. Стимулирующее действие на суммарную длину корешков и их количество отмечено при титре T_2 и на все показатели при T_3 (табл. 3).

Не отмечено ингибирующего эффекта от патогенного гриба *F. oxysporum* в присутствии калиймобилизирующих бацилл в вариантах с T_1 и T_2 . Увеличение количества корешков проростков пшеницы, их суммарной длины и длины coleoptilya наблюдалось при титрах ризобактерий и фитопатогена $2,5 \cdot 10^5$ КОЕ/мл (табл. 3).

Таблица 3

Морфометрические показатели проростков яровой пшеницы при совместном действии *A. brasilense*, *B. circulans* и *F. oxysporum* (2018 г.) *B.*

Вариант	Титры ризобактерий и фитопатогена	Средняя длина coleoptilya, мм	Суммарная длина корешков/растение, мм	Количество корешков/растение, шт.
Контроль	–	35,6	126,2	3,4
<i>A. brasilense</i> + <i>F. oxysporum</i>	T_1	33,7	122,7	3,4
	T_2	37,7	179,9	3,7
	T_3	46,7	212,6	4,0
<i>B. circulans</i> + <i>F. oxysporum</i>	T_1	32,4	112,5	3,4
	T_2	36,3	144,9	3,5
	T_3	46,8	180,8	3,8
НСР ₀₅		3,2	20,7	0,25
$T_1 = 1,0 \cdot 10^6$ КОЕ/мл $T_2 = 5,0 \cdot 10^5$ КОЕ/мл $T_3 = 2,5 \cdot 10^5$ КОЕ/мл				

При всех протестированных вариантах совместного применения азоспирилл и патогенного гриба *F. roae* не отмечено фитотоксического действия на морфометрические показатели проростков пшеницы, достоверных отличий от контрольного варианта не выявлено (табл. 4).

При тестировании совместного действия бацилл и *F. roae* токсический эффект от патогена отсутствовал при титрах T_1 , T_2 и T_3 . Было отмечено стимулирующее действие совместного применения *B. circulans* + *F. roae* на морфометрические показатели проростков в варианте с их титрами $2,5 \cdot 10^5$ КОЕ/мл (табл. 4).

Таблица 4

Биометрические показатели проростков яровой пшеницы при совместном действии *A. brasilense*, *B. circulans* и *F. roae* (2018 г.)

Вариант	Титры ризобактерий и фитопатогена	Средняя длина coleoptilya, мм	Суммарная длина корешков/растение, мм	Количество корешков/растение, шт.
Контроль	–	39,1	184,5	3,6
<i>A. brasilense</i> + <i>F. roae</i>	T_1	36,8	161,0	3,6
	T_2	38,9	180,1	3,7
	T_3	40,6	192,2	3,9
<i>B. circulans</i> + <i>F. roae</i>	T_1	38,8	163,8	3,2
	T_2	39,1	191,0	3,4
	T_3	42,6	198,7	3,6
НСР ₀₅		2,4	23,8	0,29
$T_1 = 1,0 \cdot 10^6$ КОЕ/мл $T_2 = 5,0 \cdot 10^5$ КОЕ/мл $T_3 = 2,5 \cdot 10^5$ КОЕ/мл				

При совместном тестировании зональных штаммов азотфиксирующих бактерий *A. brasilense* 2(в)3 и калиймобилизующих бактерий *B. circulans* К-81 с фитопатогенными грибами р. *Fusarium* фитотоксичных сочетаний не установлено. Варьирование биометрических показателей проростков яровой пшеницы находилось в пределах НСР. Сочетания титров азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий с фитопатогенными микромицетами меньшей концентрации приводили к росту числа и длины корней проростков, а также к росту coleoptilia яровой пшеницы (рис. 3, 4).



Рис. 3. Совместное действие *A. brasilense*, *B. circulans* и *F. oxysporum* на проростки пшеницы (2018 г.)



Рис. 4. Совместное действие *A. brasilense*, *B. circulans* и *F. graminearum* на проростки пшеницы (2018 г.)

Полученные нами экспериментальные данные показывают высокий потенциал биологического контроля у зонального штамма *Azospirillum brasilense* 2(в)3 и согласуются с данными, полученными в разных регионах с разными штаммами азоспирилл. Как известно, род *Azospirillum* не относится к типичным агентам биологического контроля почвенных фитопатогенов, так как многие штаммы *Azospirillum* не продуцируют антимикробные химические соединения или гидролитические ферменты для воздействия на фитопатогены. Однако следует принимать во внимание, что, наряду с прямыми механизмами биологического контроля фитопато-

генов, существенный вклад может вносить непрямой биоконтроль. В последние годы в научной литературе появились сообщения о целом ряде механизмов, за счет которых азоспириллы могут снижать вредоносность фитопатогенов. К ним можно отнести конкуренцию за экологическую нишу и замещение патогенных микроорганизмов на корнях сельскохозяйственных растений. Bashan Y. and de-Bashan L. E. установили, что обработка семян томатов *Azospirillum brasilense* и фитопатогеном *Pseudomonas syringae* (смешанная культура или последовательно) снижала популяцию патогена в ризосфере и увеличивала численность азоспирилл, предотвращая развитие болезни и улучшая рост растений [14]. Hassouna M.G., El-Saedy M.A.M. and Saleh H.M.A. показали, что под влиянием некоторых штаммов азоспирилл отмечается ингибирование роста патогенных грибов за счет продукции антибиотиков. При тестировании антагонистической активности *Azospirillum brasilense* против фитопатогенов, инфицирующих огурцы, авторы установили снижение сухого веса мицелия *Fusarium oxysporum* на 90–96 %, *Rhizoctonia solani* – на 72–94 %, *Phytophthora* – на 71–95 % и полное элиминирование мицелия *Sclerotinia* [15]. Под влиянием азоспирилл отмечается общее повышение устойчивости растений к инфицированию патогенами [16] и в некоторых случаях разложение грибных микотоксинов [17]. По данным Daddon T., Bar Nun N. and Mayer A.M. одним из факторов положительного влияния азоспирилл на рост растений является ингибирование прорастания семян сорняков-паразитов [18].

Бактерии рода *Bacillus* являются перспективными агентами биологического контроля для защиты растений от болезней, вызываемых фитопатогенными грибами. Это обусловлено способностью многих представителей р. *Bacillus* продуцировать антифунгальные вещества, а также их высокими приспособительными свойствами и выживаемостью в неблагоприятных условиях благодаря спорообразованию. В качестве типичных представителей бацилл-антагонистов, применяемых в рамках биологического метода защиты растений, наиболее известны *Bacillus subtilis*. Khem Raj Meena et al. показали, что липопептид, синтезируемый *Bacillus subtilis* HQ851067, проявляет высокую активность против таких фитопатогенов, как *Aspergillus niger* и *Fusarium oxysporum*, ингибирование активности составляет 83,3 и 60 % соответственно [19]. К настоящему времени известны около 70 антибиотиков, продуцируемых бактериями р. *Bacillus*, среди них полимиксины, бацитрацин, грамицидин, бутирозин и ряд других. Большинство антибиотиков, синтезируемых бациллами, относятся к пептидам.

Наши исследования показали, что зональные штаммы PGPR – азотфиксирующие и калиймобилизующие ризобактерии *Azospirillum brasilense* и *Bacillus circulans*, кроме известных полезных свойств (гормональный эффект, азотфиксация, калиймобилизация), представляют интерес как потенциальные антагонисты патогенных грибов р. *Fusarium*, возбудителей фузариозов зерновых культур.

ВЫВОДЫ

В серии экспериментов по *in vitro* тестированию антагонистической активности зональных штаммов PGPR – азотфиксирующих *A. brasilense* 2(в)3 и калиймобилизующих ризобактерий *B. circulans* К-81 установлен их высокий потенциал в качестве агентов биологического контроля фитопатогенных микромицетов.

Наиболее значимый антагонизм отмечен по отношению к фитопатогенным грибам р. *Fusarium* – *Fusarium poae*, *Fusarium oxysporum* и *Fusarium graminearum*. Результаты исследований свидетельствуют о полифункциональности зональных штаммов PGPR и их перспективности в качестве моноинкулянтов или компонентов микробных композиций для повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bashan, Y.* How the Plant Growth-Promoting Bacterium *Azospirillum* Promotes Plant Growth A Critical Assessment (Chapter Two) / Y. Bashan and de-Bashan L. E. // *Advances in Agronomy*. – 2010. – Vol. 108. – P. 77–123.
2. *Youlakadowanko, N.* Proline and Abscisic Acid Content in Droughted Corn Plant Inoculated with *Azospirillum* sp. and Arbuscular Mycorrhizae Fungi / N. Youlakadowanko, G. Yatmana, N. Nurlaeni, R. Marulisimanungkkalit // *Hayati Jour. Biosciences*. – 2009. – Vol. 16. – Issue 1. – P. 15–20.
3. *Michiels, K.* *Azospirillum* – plant root associations: A review / K. Michiels, J. Vanderleyden, A. Gool // *Biol. Fertil. Soils*. – 1989. – Vol. 8. – P. 356–368
4. *Kennedy, I. R.* Biological nitrogen fixation in non-leguminous field crops: recent advances / I. R. Kennedy and Y. Tchan // *Plant Soil*. 1992. – Vol. 141. – P. 93–118.
5. *Sumner, M. E.* Crop responses to *Azospirillum* inoculation / M. E. Sumner // *Advances in Soil Science*. – 1990. – Vol. 12. – P. 53–123.
6. *Okon, Y.* Advances in agronomy and ecology of the *Azospirillum*/plant association. Nitrogen Fixation: Fundamentals and applications / Y. Okon // Kluwer Academic Publishers, Netherlands. – 1995. – P. 635–652.
7. *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.
8. *Аристовская, Т. В.* Роль микроорганизмов в превращении минералов / Т. В. Аристовская, А. Ю. Дараган, Т. С. Зверева // *География, генезис и плодородие почв*. – Л.: Колос, 1972. – 153 с.
9. *Welch, S. A.* 1993. The effect of soluble organic acids on feldspar dissolution rates and stoichiometry / S. A. Welch, W. J. Ullman // *Geochim. Cosmochim. Acta*. – 1993. – Vol. 57. – P. 2725–2736.
10. *Михайловская, Н. А.* Количественная оценка активности калиймобилизующих бактерий и их эффективность на посевах озимой ржи / Н. А. Михайловская // *Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук*. – 2006. – № 3. – С. 41–46.
11. *Семенов, С. М.* Лабораторные среды для актиномицетов и грибов: справочник / С. М. Семенов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 240 с
12. Влияние микробной композиции и ее компонентов на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур / Н. А. Михайловская [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. – 2017. – № 2(59). – С. 166–176.
13. Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н. А. Михайловская [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. – 2007. – № 1(38). – С. 225–231.
14. *Bashan, Y., and de-Bashan, L. E.* (2002a). Protection of tomato seedlings against infection by *Pseudomonas syringae* pv tomato by using the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*. *Appl. Environ. Microbiol.* 68, 2637–2643.

15. Hassouna, M. G., El-Saedy, M. A. M., and Saleh, H. M. A. (1998). Biocontrol of soil-borne plant pathogens attacking cucumber (*Cucumis sativus*) by rhizobacteria in a semiarid environment. *Arid Soil Res. Rehab.* 12, 345–357.

16. Tilak, K. V. B. R., Ranganayaki, N., Pal, K. K., De, R., Saxena, A. K., Nautiyal, C. S., Mittal, S., Tripathi, A. K., and Johri, B. N. (2005). Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. *Curr. Sci.* – 2005. – Vol. 89. – P. 136–150.

17. Cho, J. I., Hong, K. W., and Kang, K. J. (2000). Control of aflatoxin production of *Aspergillus flavus* by inhibitory action of antagonistic bacteria. *J. Microbiol. Biotechnol.* 10, 154–160.

18. Dadon, T., Bar Nun, N., and Mayer, A. M. (2004). A factor from *Azospirillum brasilense* inhibits germination and radicle growth of *Orobanche aegyptiaca*. *Isr. J. Plant Sci.* 52, 83–86.

19. Khem Raj Meena, D. Saha and Ramashish kumar. Isolation and partial characterization of iturin like lipopeptides (a bio-control agent) from a *Bacillus subtilis* strain. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* – 2014. – Vol. 3(10). – P. 121–126.

20. Старшов, А. А. Микроорганизмы с фосфатрастворяющими и фунгицидными свойствами как основа для создания комплексного препарата, альтернативного фосфорным удобрениям и химическим фунгицидам: дис. ...канд. биол. Наук / А. А. Старшов; ГНЦ прикладной микробиологии и биотехнологии. – 2013. – 147 с.

ANTAGONISTIC ACTIVITY OF RHIZOBACTERIA *A. BRASILENSE* И *B. CIRCULANS* IN RESPECT OF PATHOGENIC FUNGI

N. A. Mikhailovskaya, T. B. Barashenko

Summary

Antagonistic activity of zonal rhizobacteria strains *A. brasilense* и *B. circulans* in respect of pathogenic fungi was tested in series *in vitro* experiments. It was shown that nitrogen-fixing and potassium mobilizing PGPR are capable of biological control of pathogenic fungi *F. poae*, *F. oxysporum* и *F. graminearum*.

Поступила 10.05.19

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ УСЛОВИЯМ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

Н. Н. Семененко

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

ВВЕДЕНИЕ

Зерно – важнейший ресурс для производства продуктов питания человека и концентрированных кормов животным. Стратегическая задача земледелия Беларуси – в ближайшие годы довести и стабилизировать ежегодные валовые сборы зерна на уровне 10 млн т. При этом увеличение производства зерна должно основываться, прежде всего, на повышении урожайности, улучшении его качества и сопровождаться снижением себестоимости.

В сложившихся условиях растениеводства Беларуси основным резервом получения высокой устойчивой урожайности зерновых культур при более низких затратах может быть совершенствование технологий их возделывания и, в первую очередь, повышение эффективности использования почвенных ресурсов и удобрений. За счет оптимизации минерального питания по этапам органогенеза растений, создания благоприятного фитосанитарного состояния посева, повышения устойчивости растений к полеганию и неблагоприятным погодным условиям можно управлять фотосинтетической деятельностью, формированием компонентов продуктивности и урожайностью в целом. Поэтому все большее значение приобретает разработка и внедрение в производство приемов адаптивной интенсификации продукционного процесса и технологий возделывания зерновых культур в целом с учетом требований инновационного развития [1–5].

Продуктивность зерновых культур – результат их вегетации в конкретных почвенно-климатических и погодных условиях. Территория Беларуси относится к зоне рискованного земледелия, где погодно-климатические условия хотя и прогнозируются, но пока не управляемы [6–8]. Наблюдаемые, в последние годы участвовавшие, особенно в зоне Полесья, смены избытка или недостатка влаги в течение вегетационного периода, весенне-летние заморозки или высокие летние температуры, а тем более их чередование, приводят к снижению потенциальной урожайности зерновых культур на 40–60 %. Поэтому урожайность этих культур в разные годы отличается на 1–2 т/га и более [4, 6–11]. Это существенно сказывается на валовых сборах и себестоимости производства зерна. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка адаптивной системы управления продукционным процессом зерновых культур, обеспечивающей повышение их устойчивости к неблагоприятным погодно-климатическим условиям внешней среды. Для этого необходимо установить, какие же физиологические требования растения этих культур предъявляют к гидротермическим условиям и пищевому режиму в онтогенезе, как влияют неблагоприятные условия внешней среды на изменения режима их минерального питания и предполагаемые пути решения проблемы.

Анализ результатов научных исследований показывает [12–14, 21], что в основе физиологических процессов растительного организма лежат биохимические превращения веществ, скорость которых в значительной степени зависит от состояния гидротермических условий окружающей среды и минерального питания на каждом этапе органогенеза растений. Выявлено, что режим температурных условий роста и развития растений разных зерновых культур колеблется в следующих пределах: зона оптимума – + 15–25, депрессия – + 26–30 °С; минимальная переносимая – (–0–5), максимально переносимая – (+ 31 –37 °С); гибель: озимые – (–14–25), яровые – (–6 °С). Температурные минимумы этих культур в период всходов и формирования вегетативных органов находятся в пределах – + 4–5, а формирования генеративных органов и плодоношения – + 10–12 °С. Важное значение в росте и развитии растений, формировании урожайности сельскохозяйственных культур имеет режим их влагообеспеченности в течение вегетации. Оптимальное содержание влаги в почве составляет 60–70 % от полной полевой влагоемкости (ППВ). При снижении влажности почвы ниже 30 или увеличении более 90 % от ППВ растения испытывают, соответственно, недостаток или избыток влаги, что приводит к снижению урожайности. При этом больший вред растениям наносится от избытка, чем от относительного недостатка влаги. По результатам наших исследований при содержании влаги в почве на уровне 30 % от ППВ её биологическая активность, которая определялась аммонифицирующей и нитрифицирующей способностью, снижается (в сравнении с оптимальными условиями) в зависимости от уровня плодородия почв на 20–35 %, а при увеличении влажности почвы до 90 % – до 2,3 раза. При низкой температуре почвы (+ 5–7 °С) азотминерализующая способность почвы также снижается на 50–80 %.

Устойчивость зерновых культур к неблагоприятным факторам внешней среды изменяется в онтогенезе. Наибольший вред растениям отрицательные погодные условия наносят в критический период их роста и развития, который длится в течение III–VII этапов органогенеза [12, 16, 20–24, 28]. Во время прохождения этих этапов в растениях обычно усиливается углеводный, азотный и белковый обмен, происходит формирование репродуктивных органов. Первая часть критического периода, включающая III–IV этапы органогенеза, проходит в фазы конец кущения – начало трубкования (стадии 29–31 по Задоксу, стадия первого узла). На этих этапах происходит вытягивание и дифференциация конуса нарастания – зачаточной оси соцветия и формирование колосков. Чем благоприятнее условия для ростовых процессов на этих этапах, тем длиннее будет колос с большим количеством колосков. В то же время при недостаточной или избыточной обеспеченности влагой, элементами минерального питания, особенно азотом, высоких температурах количество колосков в колосе сокращается, происходит усыхание и отмирание колосковых бугорков и колосков, снижается длина колоса и число зерен в нем в будущем.

Вторая часть критического периода включает V–VII этапы органогенеза растений, которые проходят в фазы стеблевания – раскрытие флагового листа (стадии 32–47 по Задоксу). Эти этапы характеризуются продолжением роста колосового стержня, формированием репродуктивных органов – цветков в колосках, пыльцы и её фертильности, завязи. В этот период важно обеспечить оптимальную потребность растений в воде и элементах минерального питания. Избыток или недостаток влаги, значительные отклонения температурного и пищевого режимов

от оптимальных значений приводят к снижению обмена веществ, дыхания, фотосинтеза, жизнеспособности или полной стерильности пыльцы и завязываемости цветков и зерен, резкому снижению урожайности. Урожайность при этом может снижаться в два и более раз. Считается, что больший ущерб продуктивности зерновым культурам наносится при стрессовых ситуациях на V–VII этапах органогенеза растений.

Причины снижения устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды и урожайности зерновых культур. *Нарушение режима минерального питания растений и его проявление.* Исследованиями А. И. Коровина, В. П. Дадыкина и др. [15–19, 21, 25–27] установлено, что пониженная температура окружающей среды оказывает существенное отрицательное влияние на поглощение различных элементов питания, их соотношение, сбалансированность и рост растений. При снижении температуры до +3–6 °С почва становится физиологически бедной элементами минерального питания, так как тормозится их поглощение и передвижение из корней в надземные органы, включение в органические соединения, подавляется деятельность ферментов, катализирующих физиологические процессы. В связи с чем содержащиеся в почве соединения элементов минерального питания усваиваются растениями слабо. Многими исследователями отмечается, что при пониженных температурах на фоне снижения содержания элементов питания в целом растении особенно сильно снижается их содержание в надземной массе, резко нарушается распределение питательных веществ между корнями и надземными органами [19].

При низкой температуре почвы поглощение корневой системой растений фосфора снижается сильнее, чем азота: фосфора – в 5–6, а азота – в 2–3 раза меньше в сравнении с поглощением их при оптимальной температуре. Поэтому затруднение использования азота для синтеза белков при низкой температуре обусловлено недостатком фосфора, который играет решающую роль в этом процессе. Недостаток фосфора ведет к нарушению во всей последующей цепи минерального питания: восстановлению нитратного азота, синтезу аминокислот, белков, нуклеиновых кислот, снижению фертильности пыльцы и в конечном итоге урожайности. Таким образом, по мнению ряда исследователей при низкой температуре фосфор находится в первом минимуме в питании растений. Потому при низких температурах, когда жизнедеятельность растений сильно подавлена, повышение концентрации питательных веществ в почве за счет внесения удобрений не улучшает существенно его питание. Для этого более целесообразно применение внекорневых (некорневых) подкормок. Подкормки растений через листья отличаются тем, что их эффективность зависит в большей степени от температуры воздуха, а не почвы. Например, при повышенных температурах воздуха поглощение фосфора листьями и передвижение в другие органы происходит в 2–5 раз быстрее, чем при низкой температуре почвы. Поэтому весной, когда почва еще хорошо не прогрелась, а температура воздуха уже достаточно высокая, улучшить фосфорное питание растений и тем самым повысить их устойчивость к неблагоприятным погодным условиям можно проведением внекорневых подкормок водорастворимыми соединениями фосфора удобрений.

В то же время академик Д. А. Сабинин, А. К. Глянько и др. [12, 19, 27] отмечают, что за плохой рост растений при низких температурах в наибольшей степени ответственен азот, который в нитратной форме растения поглощают значительно

хуже, чем в аммонийной. При внесении азота в нитратной форме при низких температурах растения используют азот слабее, чем фосфор и калий. Аммонийная же форма азота, в отличие от нитратной, в таких погодных условиях способствует значительному усилению поглощения фосфора и передвижения его в надземные органы, в корнях и листьях больше содержится органического кислоторастворимого фосфора. Поэтому улучшить режим минерального питания в ранние фазы развития зерновых культур при пониженных температурах можно внесением азота удобрений в аммонийной форме, в которой растения поглощают его лучше, чем в нитратной. При этом существенно улучшается режим как азотного, так фосфорного и калийного питания растений.

Устойчивость растений к низким температурам повышают все элементы, интенсифицирующие фосфатно-азотный обмен: повышение концентрации фосфора, калия, кальция, серы, а также внесение бора, цинка, меди, молибдена. Повысить устойчивость растений можно при основном внесении повышенных доз фосфора, калия, кальция, серы, а также внесения в зону корней рядкового фосфорного удобрения при посеве. Повышает устойчивость растений к низким температурам также и увеличение содержания в них сахаров, защитных белков, регуляторов роста.

Значение водообеспеченности растений в формировании урожайности зерновых культур. Выявлено [3, 4, 9–11, 16, 20, 24, 28–30], что как недостаток, так и избыток влаги на V–VII этапах органогенеза вызывает стерильность органов плодоношения, происходит резкое снижение завязываемости зерна. При этом установлено, что умеренное минеральное питание повышает устойчивость растений зерновых культур как к недостатку, так и к избытку влажности почвы. В то же время урожайность зерновых в большей степени снижается при избытке влаги на фоне как недостаточного, так и высокого, а при засухе – повышенного уровня минерального питания. Так, при недостатке влаги избыточное азотное питание приводит к редукации числа колосков в колосе и цветков в них, снижению фертильности пыльцы. На фоне недостатка влаги в почве высокий уровень фосфорного питания также приводит к снижению процента фертильной пыльцы и урожайности зерновых.

Результаты наших многолетних (15 лет) исследований, проведенных на антропогенно-преобразованных торфяных почвах в зоне Полесья (Лунинецкий район Брестской области) показывают [3, 4, 35], что уровни урожайности ярового и озимого тритикале, ячменя находились в тесной ($R^2 = 0,96$) зависимости от состояния гидротермических условий в критический период вегетации растений. Эта зависимость описывается соответствующим уравнением регрессии:

$$Ур = 20,0 x + 19,2, \quad (1)$$

где $Ур$ – урожайность, ц/га; x – коэффициент влагообеспеченности растений.

В зависимости от изменения запаса продуктивной влаги в слое 0–50 см от 60–80 до 151–160 мм к началу критического периода урожайность зерновых культур на фоне применения удобрений изменялась от 35–40 до 60–70 ц/га и более. Недостаток содержания влаги в почве в течение 15–20 суток приводил к снижению поступления в растения элементов минерального питания, отмиранию боковых побегов, снижению фотосинтеза и урожайности на 15–20 ц/га из-за изреженности

продуктивного стеблестоя и формирования более короткого колоса с меньшим весом зерна. При запасах продуктивной влаги 70–90 мм в слое 0–50 см сбалансированное по элементам питания применение удобрений повышает устойчивость зерновых культур к недостатку влаги и позволяет сформировать урожайность 45–50 ц/га. При запасах продуктивной влаги 50–60 мм в слое 0–50 см и менее, чтобы сохранить урожайность зерновых на таком же уровне, необходимо на фоне применения удобрений проводить искусственное орошение посевов.

Особенно страдают посевы зерновых культур в зоне Полесья из-за ливневых дождей в период колошения – формирования зерна, когда мелиоративные системы не справляются с отводом излишней воды, что приводит к её застою и, в большей или в меньшей мере, отмиранию корневой системы растений. Урожайность при этом может снижаться в 2 и более раз.

Из приведенного выше и результатов других исследований [36] следует, что низкая температура почвы, недостаток или избыток её влажности вызывают снижение содержания воды в растениях, тормозят поглощение ими питательных веществ из почвы, нарушается нормальный ход физиологических и ростовых процессов, обмен веществ, преобладает гидролиз над синтезом, фотосинтез находится в депрессивном состоянии. При этом установлено, что растительные организмы обладают широким спектром защитно-приспособительных реакций, способствующих развитию их устойчивости к разнообразным стрессовым факторам внешней среды. Повышение устойчивости растений к одному из неблагоприятных факторов сопровождается повышением устойчивости и к другим.

Пути повышения устойчивости и снижения негативного влияния неблагоприятных гидротермических условий окружающей среды на рост и развитие растений зерновых культур. Результаты многих исследований показывают [1–6, 12–16, 20, 21, 27, 29, 35, 36], что наиболее мощным управляемым мероприятием в повышении устойчивости зерновых культур к неблагоприятным факторам окружающей среды является оптимизация минерального питания по этапам органогенеза. Вносимые в почву в виде удобрений или внекорневых подкормок элементы минерального питания не только входят в состав разнообразных соединений растения, но и принимают активное участие в ферментативных и энергетических процессах, оказывают значительное влияние на физико-химические свойства плазмы клеток, её структуру, вязкость, оводненность. В то же время отмечается, что в зависимости от состояния факторов среды поглощение, усвоение и влияние элементов минерального питания на биохимические и физиологические процессы, рост и развитие растений существенно изменяются. Регулируя поступление элементов минерального питания в растения, активно воздействуя на производительный потенциал пахотного слоя почвы или непосредственно на растения, можно существенно повысить их адаптацию к условиям внешней среды и на этой основе управлять их продукционным процессом. Оптимизируя режим минерального питания, прежде всего в критический период, можно нормализовать ход обмена веществ, повысить устойчивость растений и снизить негативное воздействие неблагоприятных гидротермических условий на урожайность зерновых культур. Например, в моделированном вегетационном опыте при недостатке влаги в почве проведение внекорневых подкормок зерновых культур азотом, фосфором, калием, бором, медью и цинком за 5 суток до наступления критического периода улучшало водный режим, углеводный обмен

и этим самым повышало жизнеспособность формирующейся пыльцы и оплодотворение, а в конечном итоге, за счет снижения череззерницы и пустоколосицы, и урожайности.

Особое значение для повышения устойчивости зерновых культур к неблагоприятным условиям окружающей среды имеет режим азотного питания [3, 4, 12, 14, 18, 19, 27, 29, 35]. При оптимальном уровне азотного питания в критический период устойчивость растений к почвенной засухе повышается. Внесение оптимальной дозы азота перед засухой в этот период, за счет увеличения количества оплодотворенных цветков в колосе, снижения череззерницы, урожайность зерна в вегетационных опытах повышалась в 2–3 раза. Это связано также с уменьшением накопления растворимого азота в верхних листьях и колосьях и усилением синтеза белка. Наибольший вред растениям зерновых культур под действием разных неблагоприятных факторов наносится на фоне избыточного азотного питания [1, 12, 20, 21, 29, 36]. Буйно развитые, сильно оводненные, изнеженные растения наиболее сильно повреждаются как при заморозках, так и при засухе. Внесение избыточных доз азотных удобрений при недостатке воды приводит к нарушению азотного обмена, снижению фертильности или полной стерильности пыльцы и завязываемости зерна. Снижение урожайности происходит в основном за счет повреждения репродуктивных органов.

Следует отметить важную роль оптимизации калийного режима питания. При недостатке калия в среде происходит расстройство нормального функционирования ряда ферментных систем, ответственных за фосфатный и азотный обмен в растениях. В то же время избыточное калийное питание нежелательно, т. к. приводит к преобладанию иона калия над ионом кальция, что неблагоприятно сказывается на устойчивости растений к низким температурам.

Повысить устойчивость зерновых культур к неблагоприятным факторам внешней среды можно также за счет биологического воздействия на растения [31–35]. Установлено, что определенного рода ферменты принимают активное участие в регуляции многих биохимических и физиологических процессов в растениях как в нормальных, так и при стрессовых (неблагоприятных) воздействиях, позволяют растению осуществлять реакции в значительно более широком диапазоне температур. Биологическое регулирование физиологических процессов в растениях направлено как на снижение отрицательного воздействия агроклиматических условий, складывающихся в течение периода вегетации, так и на оптимизацию их роста и развития. Для этих целей часто применяются растворы гуминовых веществ, тритерпеновых кислот и др. Обработка посевов сельскохозяйственных культур гуминовыми веществами или Экосилом способствует поступлению и передвижению элементов минерального питания в растениях, вследствие чего интенсифицируется обмен веществ, синтез белков, фотосинтез, оптимизируется дыхание растений. Биологически активные вещества могут поглощаться и усваиваться растениями, что способствует их росту и развитию, снижению накопления нитратов.

Анализ литературных источников и существующих технологий возделывания зерновых культур в Беларуси указывает на то, что для антропогенно-преобразованных торфяных почв разработаны методические рекомендации [3] по системе управления продукционным процессом зерновых культур, которые прошли широкую производственную, агрономическую, экономическую и экологическую оценку

и Минсельхозпродом рекомендованы для использования в сельхозпредприятиях. В то же время отмечается недостаточность теоретических и отсутствие четких практических нормативных материалов по научно обоснованной системе оптимизации продукционного процесса зерновых культур на дерново-подзолистых почвах, обеспечивающей повышение их устойчивости к неблагоприятным условиям внешней среды. В связи с этим разработка теоретических основ и практических технологий, направленных на снижение негативного влияния неблагоприятных погодных условий на продуктивность зерновых культур, возделываемых на дерново-подзолистых почвах, актуальна, имеет большое народнохозяйственное значение.

ВЫВОДЫ

Приведенный выше анализ состояния проблемы показывает, что в условиях Беларуси неблагоприятные для возделывания зерновых культур погодно-климатические условия (низкая температура, недостаток или избыток влагообеспеченности растений) проявляются достаточно часто, особенно в зоне Полесья. При этом установлено следующее:

1. При неблагоприятных погодных условиях нарушается обмен веществ, синтез белков, фотосинтез и в целом рост и развитие растений. При наличии таких условий на первой части критического периода (III–IV этапы органогенеза) снижается количество колосков в колосе и его длина, а на V–VII этапах органогенеза – длина основного стержня колоса, фертильность пыльцы, завязываемость зерна, что приводит к череззернице и пустоколосице и снижению урожайности зерновых культур.

2. При неблагоприятных погодных условиях поглощение и усвоение элементов минерального питания растениями зерновых культур снижается. Умеренный режим минерального, особенно азотного, питания обеспечивает более устойчивый рост и развитие растений, а низкий, повышенный или избыточный вызывают сильное понижение урожайности. Наиболее сильное её снижение вызывает избыточное азотное питание на V–VII этапах органогенеза зерновых культур, которое приводит к нарушению азотного обмена, снижению фертильности или полной стерильности пыльцы. В связи с этим необходимо более точно регулировать дозы применяемых удобрений, особенно азотных.

3. Сбалансированное и умеренное минеральное питание макро- и микроэлементами по этапам органогенеза растений, применение биологически активных веществ повышают их устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды, обеспечивают сохранение и повышение урожайности зерновых культур. Однако необходимая для управления этим процессом аналитическая и нормативно-методическая база, имеющаяся в настоящее время, недостаточная.

4. Для практической реализации изложенного выше вывода (п 3.) необходима разработка адаптивной системы управления продукционным процессом зерновых культур, обеспечивающая повышение устойчивости их к неблагоприятным факторам внешней среды. Предлагаемая к разработке система включает следующие позиции:

➤ более точную сбалансированность элементов минерального питания при основном внесении удобрений за счет использования новых методических ре-

шений (использование данных запаса в почве доступных растениям соединений азота, фосфора и калия; уточненные нормативы потребности зерновых культур в удобрениях на планируемую урожайность);

➤ на стадии 1-го узла (30–31 стадии по Задоксу) применение в подкормку зерновых культур в виде водных растворов азота, фосфора и калия, исходя из данных обеспеченности растений минеральными соединениями этих элементов (полученных на основании результатов новых методов растительной диагностики), а также ретардантов, микроэлементов в хелатной форме и биологически активных веществ (гуматы, Экосил);

➤ на стадии флагового листа (стадии 37–45 по Задоксу) применение в подкормку в виде водных растворов NPK с учетом данных растительной диагностики, микроэлементов в хелатной форме, ретардантов, физиологически активных веществ (гуматы, Экосил) и фунгицидов;

➤ разработку новых аналитических методов оперативной почвенной и растительной диагностики, уточненные нормативы обеспеченности дерново-подзолистых почв и растений элементами минерального питания и дифференцированные дозы удобрений для основного внесения и в подкормку зерновых культур.

Следует отметить, что как при засухе, так и при затоплении почвы водой (критическое состояние) прежде всего необходимо принимать меры, направленные на улучшение водного режима почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семененко, Н. Н. Азот в земледелии Беларуси / Н. Н. Семененко, Н. В. Невмержицкий. – Минск: БИТ «Хата», 1997. – 195 с.
2. Семененко, Н. Н. Оптимизация производственного процесса – важнейшее условие формирования стабильной высокой урожайности зерновых культур / Н. Н. Семененко // Земляробства і ахова раслін. – 2009. – № 4(65). – С. 5–10.
3. Семененко, Н. Н. Адаптивная система комплексного применения удобрений и других средств интенсификации возделывания зерновых культур на антропогенно-преобразованных торфяных почвах: методические рекомендации / Н. Н. Семененко, С. В. Сорока, А. В. Семенченко. – Минск, 2010. – 62 с.
4. Семененко, Н. Н. Торфяно-болотные почвы Полесья: их трансформация и пути эффективного использования / Н. Н. Семененко. – Минск: Беларус. навука, 2015. – 282 с.
5. Шпаар Д. Возделывание зерновых / Д. Шпаар [и др.]. – М.: Аграрная наука. – 1998. – 336 с.
6. Лапа, В. В. Роль погодных условий в формировании продуктивности с/х культур / В. В. Лапа, В. Н. Босак, Н. Н. Ивахненко // Изменения климата и использование климатических ресурсов. – Минск: БГУ, 2001. – С. 147–154.
7. Логинов, В. Ф. Климатические исследования в Институте / В. Ф. Логинов // Природопользование. – 2012. – Вып. 22. – С. 123–140.
8. Голдберг, М. А. Опасные явления погоды и урожай / М. А. Голдберг [и др.]. – Минск: Ураджай, 1988. – 120 с.
9. Влияние влаго- и теплообеспеченности на продолжительность фенологических фаз развития и урожайность ярового тритикале / А. П. Лихацевич и [др.] // Мелиорация переувлажненных земель. – 2007. – № 1(57). – С. 39–46.

10. *Семененко, Н. Н.* Формирование фотосинтетического потенциала и урожайности ярового тритикале на деградированных торфяных почвах в зависимости от погодных условий и минерального питания / Н. Н. Семененко, В. А. Журавлев // Мелиорация переувлажненных земель: сб. науч. работ / БЕЛНИИМиЛ. – Минск, 2003. – Т. 50. – С. 192–200.
11. *Семененко, Н. Н.* Влияние удобрений и погодных условий на фотосинтетическую деятельность и продуктивность озимого тритикале на антропогенно-преобразованных торфяных почвах / Н. Н. Семененко, И. И. Вага // Мелиорация. – 2010. – № 1(63). – С. 137–146.
12. *Сабинин, Д. А.* Физиологические основы питания растений / Д. А. Сабинин. – М.: изд-во АН СССР, 1955. – 512 с.
13. *Мосолов, И. В.* Физиологические основы применения минеральных удобрений / И. В. Мосолов. – М.: Колос, 1979. – 255 с.
14. *Журбицкий, З. И.* Физиологические и агрохимические основы применения удобрений / З. И. Журбицкий. – М.: изд-во АН ССР, 1993. – 292 с.
15. *Дадыкин, В. П.* Температура почвы как один из факторов, определяющих эффективность удобрений / В. П. Дадыкин // Почвоведение. – 1951. – № 9. – С. 557–561.
16. *Добрунов, Л. Г.* Критические периоды минерального питания растений / Л. Г. Добрунов // Доклады АН ССР. – 1938. – Т. 19. – № 3. – С. 215–218.
17. *Коровин, А. И.* Устойчивость растений к низким положительным температурам и заморозкам и пути ее повышения / А. И. Коровин. – М.: Наука, 1969, – 262 с.
18. *Коровин, А. И.* Роль температуры в минеральном питании растений / А. И. Коровин. – Л.: Гидрометиздат, 1972. – 283с.
19. *Глянько, А. К.* Особенности питания растений аммиачным и нитратным азотом при пониженной температуре почвы / А. К. Глянько, // Устойчивость растений к низким положительным температурам и заморозкам и пути ее повышения. – М.: Наука, 1969. – С. 152–158.
20. *Глянько, А. К.* О некоторых сторонах фосфорного обмена у пшеницы при аммиачном и нитратном питании в условиях низкой температуры почвы / А. К. Глянько, Л. Д. Каменкова // Устойчивость растений к низким положительным температурам и заморозкам и пути ее повышения. – М.: Наука, 1969. – С. 172–178.
21. *Сказкин, Ф. Д.* Критический период у растений по отношению к недостатку воды в почве / Ф. Д. Сказкин. – Л.: Наука, 1971. – 120 с.
22. *Штраусберг, Д. В.* Питание растений при пониженных температурах / Д. В. Штраусберг. – М.: Наука, 1965. – 143 с.
23. *Куперман, Ф. М.* Биологический контроль за зерновыми культурами / Ф. М. Куперман, В. И. Пономарев // ВНИИТЭИсельхоз, МСХ СССР. – М., 1972. – 81 с.
24. *Куперман, Ф. М.* Морфофизиология растений: морфофизиологический анализ этапов органогенеза различных форм и покрытосеменных растений. – М., 1973. – 256 с.
25. *Ламан, Н. А.* Потенциал продуктивности хлебных злаков / Н. А. Ламан, Б. Н Янушкевич, К. И. Хмурец. – Минск: Наука и техника, 1987. – 224 с.
26. Устойчивость зерновых культур к факторам среды: под ред. проф. В.С. Шевелуха. – Минск: Ураджай. – 192 с.

27. *Шевелуха, В. С.* Повреждающее действие кратковременных отрицательных температур на рост и продуктивность ярового ячменя / В. С. Шевелуха, П. Ф. Малиновская // Устойчивость зерновых культур к факторам среды. – Минск: Ураджай. – С. 53–70.

28. *Шевелуха, В. С.* Влияние избыточного увлажнения и затопления почвы на периодичность роста и продуктивность ячменя / В. С. Шевелуха, П. П. Васько // Устойчивость зерновых культур к факторам среды. – Минск: Ураджай. – С. 5–20.

29. *Шевелуха, В. С.* Влияние влагообеспеченности и минерального питания на поступление питательных веществ в растения и продуктивность ячменя / В. С. Шевелуха, И. И. Берестов, С. П. Кулик // Устойчивость зерновых культур к факторам среды. – Минск: Ураджай. – С. 21–29.

30. *Тромпель, А. Ф.* Влияние засухи и избыточного увлажнения почвы на продуктивность озимой ржи / А. Ф. Тромпель // Устойчивость зерновых культур к факторам среды. – Минск: Ураджай. – С. 30–39.

31. *Кефели, В. И.* Природные и синтетические регуляторы онтогенеза растений / В. И. Кефели. // ВИНТИ, 1990 – 157 с.

32. *Брассиностероиды / В. А. Хрипач [и др.]* – Минск: Навука і тэхніка, 1993. – 287 с.

33. *Гоник, Г. Е.* Применение гумата натрия на посевах озимой пшеницы / Г. Е. Гоник // Химия в сельском хозяйстве. – 1987. – № 8. – С. 43–45.

34. *Применение биостимуляторов роста новосил, 10 % в.э. и экосил, 5 % в. э в посевах сельскохозяйственных культур Беларуси: рекомендации / П. П. Саскевич [и др.]*. – Горки: БСХА, 2006. – 28 с.

35. *Вага, И. И.* Влияние применения удобрений, физиологически активных веществ, ретардантов и фунгицидов на урожайность и качество зерна озимого тритикале на антропогенно – преобразованных торфяных почвах. / И. И. Вага, Н. Н. Семененко // Земледелие и защита растений. – 2014. – № 6(97). – С. 10–13.

36. *Удовенко, Г. В.* Влияние экстремальных условий внешней среды на структуру урожая сельскохозяйственных растений / Г. В. Удовенко // Физиологические основы селекции растений. – СПб., 1995. – 622 с.

TO THE QUESTION OF INCREASING THE SUSTAINABILITY OF CROPS TO ADVERSE ENVIRONMENTAL CONDITIONS/(ANALYTICAL REVIEW)

N. N. Semenenko

Summary

In the article, on the basis of generalization of the results of our own and other authors of scientific studies, the expediency and ways of increasing the resistance of grain crops to adverse environmental conditions are substantiated.

Поступила 11.05.19

РЕФЕРАТЫ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.47

Шибут Л. И., Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В., Шульгина С. В. Анализ результатов оценки плодородия почв сельскохозяйственных земель Беларуси по административным районам // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 7.

В статье приведен анализ результатов оценки плодородия почв сельскохозяйственных земель Беларуси по административным районам: составлена картограмма, проведена группировка районов по баллу плодородия почв. Установлены коэффициенты корреляции урожайности зерновых культур с баллами плодородия почв, которые показали высокую достоверность современной оценки сельскохозяйственных земель в Беларуси.

Табл. 4. Рис. Библиогр. 4.

УДК 631.4:631.445.2

Дыдышко С. В., Азаренок Т. Н., Шульгина С. В. Кислотно-основная буферность дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв разной степени агрогенной трансформации // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 14.

Проведена оценка кислотно-основной буферности дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв разной степени агрогенной трансформации в результате проявления культурного процесса почвообразования. Определены площади буферности исследуемых почв в кислотном и щелочном интервале по сравнению с буферностью кварцевого песка. Дана качественная оценка буферности почв на основании шкалы естественной кислотно-основной буферности. Полученные данные буферной способности почв могут быть применены для оценки функционального состояния почвенного поглощающего комплекса и степени устойчивости почв к антропогенным воздействиям.

Табл. 3. Рис. 2. Библиогр. 20.

УДК 631.434.1

Цырибко В. Б., Цыбулько Н. Н., Устинова А. М., Логачев И. А., Касьяненко И. И., Юхновец А. В., Митькова А. А. Структурное состояние и противозрозионная устойчивость дерново-подзолистых почв, сформированных на моренных и лёссовидных суглинках // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 25.

В статье проанализировано изменение структурно-агрегатного состава и показателей противозрозионной устойчивости дерново-подзолистых легкосуглинистых

почв в зависимости от генезиса почвообразующих пород и степени проявления процессов эрозионной деградации.

Табл. 2. Рис.3. Библиогр. 14.

УДК 631.4:549.905.8

Алексеев В. Е. Сравнительная характеристика минералогического состояния сопряженной пары орошаемого и неорошаемого карбонатных черноземов юга Молдовы // Почвоведение и агрохимия. – 2019 – № 1(62). – С. 32.

При орошении 11 лет водами хорошего качества из Днестра карбонатного тяжелосуглинистого чернозема установлены изменения в составе первичных и глинистых минералов. Они выразились в заметном снижении содержания обеих групп минералов и в относительном накоплении в почве кварца. Среди первичных минералов разрушению подверглись прежде всего слоистые силикаты, среди глинистых минералов – смектит, хлорит и каолинит. Признаков переноса смектита по профилю и накопления в горизонте В, как отмечают другие исследователи, не установлено. Показатели изменения минералогического состояния свидетельствуют о том, что верхняя часть орошаемого чернозема наряду с кварцем получает дополнительное обогащение иллитом.

Табл. 3. Библиогр. 14.

УДК 631.4:549.905.8

Алексеев В. Е. Сопряженная пара орошаемого и неорошаемого карбонатных черноземов юга Молдовы: баланс минералов // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 41.

Баланс масс минералов силикатной части орошаемого 11 лет карбонатного чернозема водами хорошего качества в сравнении с неорошаемым карбонатным черноземом выявил снижение содержания первичных минералов на 56 т/га, смектита – на 267 т/га, хлорита и каолинита в иле в сумме – на 55 т/га. Орошение вызвало дополнительную иллитизацию верхней части профиля чернозема и прирост количества иллита на 56 т/га. Потери смектита произошли на месте без перемещения его вглубь по профилю. Природный (до орошения) карбонатный чернозем содержит признаки потерь первичных и глинистых минералов в объеме, свойственном обыкновенному чернозему, что, вероятно, указывает на его древнее происхождение и пониженный уровень карбонатов в прошлом.

Табл. 4. Библиогр. 6.

УДК 631.581:633.11:631.445.4 (477.46)

Господаренко Г. Н., Черно Е. Д., Лысянский А. Л. Влияние сидеральных паров на питательный режим чернозема оподзоленного и урожайность пшеницы озимой // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 48.

Выявлено, что для накопления запасов азота минеральных соединений в почве при выращивании без удобрений лучшим сидератом были вика яровая и донник белый, а для увеличения содержания подвижных соединений фосфора и калия – гречиха. Такая же закономерность прослеживалась и при внесении минеральных удобрений. При этом больше всего питательных веществ в почве перед посевом озимой пшеницы накапливается при внесении удобрений дозой $N_{80}P_{40}K_{40}$ непосредственно под сидераты, или только ее части – $N_{40}P_{40}K_{40}$ либо $N_{40}P_{40}$.

Установлено, что при внесении под сидераты $N_{80}P_{40}K_{40}$ и $P_{20}K_{20}$ под пшеницу озимую формировался урожай пшеницы на уровне 7,1–7,5 т/га в зависимости от культуры, которая использовалась на зеленое удобрение. Внесение удобрений дозой $N_{80}P_{60}K_{60}$ непосредственно под пшеницу озимую как после сидерального, так и на фоне чистого пара обусловило снижение урожайности соответственно на 33–47 и 11–15 %.

Табл. 3. Библиогр. 19.

УДК 631.474:631.164.2:631.31

Плиско И. В. Пространственно-дифференцированная система управления качеством почв (на примере пахотных почв Украины) // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 59.

Статья посвящена решению важной научной проблемы современного почвоведения, которая заключается в разработке пространственно-дифференцированной системы управления качеством пахотных почв на основе совершенствования методических подходов к бонитировке, определения ценности и агроинвестиционной привлекательности, научного обоснования и практического внедрения дифференцированных агротехнологий с учетом неоднородности свойств пахотных почв. Разработана схема пространственно-дифференцированной системы управления качеством пахотных почв, детально описаны функции основных составляющих частей информационного, аналитическо-оценочного и управленческого блоков представленной системы.

Табл. Рис. 3. Библиогр. 18.

УДК 631.417.1:631.472.54

Трофименко П. И., Трофименко Н. В., Борисов Ф. И., Зацерковный В. И. Методология исследования и профильное распределение концентрации диоксида углерода в воздухе дерново-подзолистой глееватой супесчаной почвы // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 73.

В статье освещены вопросы методологии определения и характера профильного распределения концентрации диоксида углерода в воздухе дерново-подзолистой глееватой супесчаной почвы на водно-ледниковых отложениях Полесья Украины.

Показано, что дифференциация величин концентрации диоксида углерода в почвенном воздухе зависит от общей пористости (P total), содержания влаги

(P water) и глубины измерения. Установлено, что диапазон значений концентрации CO_2 в почвенном воздухе на глубинах 10, 20, 30, 40, 50 см составляет 5636, 4219, 4743, 6903 и 7989 мг/м³ соответственно. Выявлено, что общая масса CO_2 и органического углерода в почвенном воздухе дерново-подзолистой глееватой супесчаной почвы на водно-ледниковых отложениях под пшеницей озимой для слоя 0–50 см составляет соответственно 8,783 и 2,396 кг/га.

Табл. Рис.3. Библиогр. 12.

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.147

Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Белявская Ю. А., Кирдун Т. М., Торчило М. М., Жабровская Н. Ю. Сравнительная эффективность возделывания сельскохозяйственных культур в традиционной и органической системах земледелия // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 82.

Дана сравнительная оценка влияния традиционного и органического производства на продуктивность культур севооборота, показатели качества урожая, плодородие почвы и экономическую эффективность.

Табл. 5. Библиогр. 8.

УДК 631.879.4:631.878:631.445.24

Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Кирдун Т. М., Белявская Ю. А., Торчило М. М. Оценка эффективности компоста на основе бурого угля на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 92.

Проведен сравнительный анализ агроэкономической эффективности нового компоста на основе бурого угля с традиционным аналогом на основе торфа в полевом опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве. Внесение угленавозного компоста в дозе 60 т/га способствовало получению продуктивности звена севооборота 146,1 ц к.ед./га, что равнозначно влиянию торфонавозного компоста (149,9 ц к.ед./га). Применение компоста при условии добычи бурого угля непосредственно для его изготовления нерентабельно. Наименьший убыток (24 USD) получен при внесении компоста на основе отходов бурого угля, оставшихся после его использования на промышленные нужды, при их доставке от месторождений бурых углей к ферме на расстояние до 5 км. Внесение угленавозного компоста обеспечило бездефицитный баланс гумуса и подвижных форм P_2O_5 в пахотном слое супесчаной почвы, но недостаточно для поддержания K_2O на исходном уровне (–10 мг/кг), что аналогично влиянию торфонавозного компоста на агрохимические показатели.

Табл. 10. Рис. 6. Библиогр. 8.

УДК 631.81:631.582:631.445.2

Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Шедова О. А., Жабровская Н. Ю. Действие удобрений в зернопропашном севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высокими запасами фосфора и калия при различных погодных условиях // Почвоведение и агрохимия. – 2019 – № 1(62). – С. 109.

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высоким содержанием подвижных соединений фосфора и калия установлена высокая экономическая эффективность внесения в севообороте $N_{330-630}$. Наибольшая продуктивность и замедление деградации плодородия достигается при применении $N_{630}P_{90}K_{195}$ на фоне 50 т/га навоза. Установлена эффективность применения фосфорных и калийных удобрений в невысоких дозах ($P_{15-20}K_{30-60}$), что способствует повышению устойчивости продуктивности в годы с неблагоприятными погодными условиями.

Табл. 5. Рис. 2. Библиогр. 14.

УДК 631.8.022.3.633.16

Семененко Н. Н., Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г. Урожайность, вынос и коэффициенты возмещения выноса элементов питания в зависимости от погодных условий и применяемой системы удобрения под яровой ячмень // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 120.

В статье приведены результаты исследований по оценке влияния систем удобрения, погодных и почвенных условий на урожайность, вынос и коэффициенты возмещения выноса элементов питания яровым ячменем на дерново-подзолистых легкосуглинистых высокообеспеченных подвижными формами фосфора и калия почвах. Оптимальной системой удобрения является комплексное применение азотных в дозе N_{90+30} (основное и в подкормку), $P_{20}K_{45}$ на фоне последствия навоза (60 т/га), которая обеспечивает прибавку 28,6 ц/га, или 82 % к контролю, способствует стабилизации урожайности по годам ($CV = 16 \%$). При неблагоприятных погодных условиях в формировании урожайности ячменя возрастает доля участия удобрений (до 51, из них азотных – до 44 %). При оптимальной системе удобрения удельный вынос азота составил в среднем 17,7; фосфора – 10,2 и калия – 18,5 кг/т основной с соответствующим количеством побочной продукции. Для исследуемых почв оптимальными коэффициентами возмещения выноса элементов питания урожаем удобрениями являются: N – 1,1; P_2O_5 – 0,3 и K_2O – 0,4.

Табл. 5. Библиогр. 16.

УДК 631.445.24:631.82

Пироговская Г. В., Хмелевский С. С., Сороко В. И., Хатулев И. Н., Исаева О. И., Шкаленко И. Н., Артюх Ю. А., Ганусевич А. Г., Белоус О. А. Влияние новых форм жидких и твердых минеральных удобрений на продуктивность и показатели качества злаковых, бобово-злаковых и бобовых травосмесей на дерново-подзолистых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 133.

В статье приведены данные по изучению влияния новых форм жидких азотно-калийных и твердых минеральных удобрений на продуктивность и показатели качества многолетних травосмесей и люцерны при возделывании на дерново-подзолистых суглинистых почвах Минской и Витебской областей и дерново-подзолистой рыхло-супесчаной почве Минской области. Установлено положительное влияние жидких азотно-калийных удобрений при применении под первый и второй укосы трав первого, второго и третьего года пользования на фоне внесения фосфорных удобрений (злаковые и бобово-злаковые травосмеси) и комплексных удобрений (люцерна), обеспечивающих увеличение продуктивности и улучшение качества сена.

Табл. 7. Библиогр. 17.

УДК 631.416.1:631.445:631632.118.3

Цыбулько Н. Н., Седукова Г. В., Евсеев Е.Б., Жукова И. И. Влияние азотных удобрений на накопление ^{137}Cs многолетними злаковыми травами на торфянисто-глеевой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 157.

Внесение под первый укос трав N_{60-80} не существенно усиливают поступление ^{137}Cs в растения. Вторая азотная подкормка трав в дозах 40–60 кг/га повышает накопление радионуклида в сене трав второго укоса по отношению к фосфорно-калийным фонам. Азотные удобрения на фоне $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ приводят к некоторому повышению коэффициента перехода ^{137}Cs в многолетние злаковые травы при внесении их в дозах 120–140 кг/га. В то же время на более высоком фоне применения калийных удобрений ($\text{P}_{90}\text{K}_{180}$) переход радионуклида в сено и при повышенных дозах азотных удобрений ($\text{N}_{120-140}$) не превышают 0,30–0,31.

На торфянисто-глеевой почве при внесении фосфорных и калийных удобрений в дозах $\text{P}_{90}\text{K}_{150-180}$ и азотных удобрений в дозах $\text{N}_{100-140}$ многолетние злаковые травы можно возделывать без ограничений по плотности загрязнения ^{137}Cs (до 40 Ки/км²) для производства сена при использовании его на корм для получения цельного молока и мяса, отвечающих республиканским нормативным требованиям по содержанию радионуклида. Для производства мяса с содержанием ^{137}Cs до 200 Бк/кг нормативно чистое сено первого укоса возможно получить при применении азотных удобрений в дозе 100 кг/га при плотности загрязнения почвы 38,0–40,0 Ки/км², а при дозах 120–140 кг/га на фоне $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ при плотности – до 33,5 Ки/км², на фоне $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$ – при плотности – до 38 Ки/км².

Табл. 4. Рис. 2. Библиогр. 26.

УДК 635.654:631.445.2:631.824

Станилевич И. С., Богдевич И. М., Путятин Ю. В. Эффективность возделывания гороха на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с разной обеспеченностью обменным магнием / Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 168.

Исследована эффективность минеральных удобрений при возделывании гороха на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с разным содержанием обменного магния в почве. Установлено, что в контрольном варианте без удобрений

урожайность увеличилась на 26,6 % по мере повышения содержания обменного магния в диапазоне Mg 46–147 мг/кг почвы. Дальнейшее повышение содержания Mg до 198 мг/кг почвы было избыточным, что сопровождалось снижением урожайности зерна на 3,5 %. Содержание сырого белка в зерне гороха повышалось как под влиянием удобрений, так и по мере повышения обеспеченности почвы обменным магнием. Наибольшие прибавки урожайности 18,8–19,4 ц/га получены при сочетании полной дозы NPK и некорневых подкормок сульфатом магния на фоне 60 кг серы при низком содержании обменного Mg 46–50 мг/кг почвы. Чистый доход при этом составил 157,2–162,6 USD/га с рентабельностью 101,5–101,9 %. Эффективность внесения NPK и Mg удобрений снижалась по мере повышения обеспеченности почвы обменным магнием.

Табл. 3. Библиогр. 20.

УДК 631.416.8:631.445.24

Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Белявская Ю. А., Кирдун Т. М., Торчило М. М. Миграция подвижных форм тяжелых металлов по профилю дерново-подзолистых почв под влиянием регулярных нагрузок жидких отходов животноводства. – 2019. – № 1(62). – С. 179.

При нагрузках жидких отходов животноводства на протяжении 26 лет содержание подвижных форм Zn, Cu и Mn увеличилось по всему профилю дерново-подзолистых почв при биогенно-аккумулятивном характере распределения, сохраняя основные тенденции, установленные для почв без нагрузок. В песчаной почве (жидкий навоз КРС 100–200 т/га) увеличение содержания подвижных форм Cu в генетических горизонтах составило 10–27 %, Zn – 12–49 %, Mn – 6–40 %; в супесчаной (свиные навозные стоки 500–600 т/га) – 30–100 % Cu, 40–219 % Zn, 25–85 % Mn; в суглинистой (жидкий навоз КРС 900–1000 т/га) – 50–200 % Cu, 79–414 % Zn, 35–162 % Mn. По интенсивности миграции тяжелые металлы располагаются в ряд: Zn > Cu > Mn.

Табл. Рис. 6. Библиогр. 34.

УДК 631.438.2

Путятин Ю. В. Подвижный калий почвы и накопление ^{137}Cs сельскохозяйственными культурами // Почвоведение и агрохимия. – 2019 – № 1(62). – С. 196.

В полевых экспериментах, проведенных на дерново-подзолистой супесчаной почве, обнаружены тесные отрицательные корреляции между содержанием подвижного калия в почве и накоплением ^{137}Cs растениями. Эффективность насыщения почв калием в дискриминации ^{137}Cs значительно выше на почвах с низким содержанием калия. Минимум биологической доступности радиоцезия отмечается у яровой пшеницы и ячменя в интервале 413–419 мг/кг, ярового рапса – при 454 мг/кг, картофеля – 465 мг/кг, кукурузы – 432 мг/кг, тимофеевки луговой – 412 мг/кг, клевера лугового – 506 мг/кг, люцерны – 437 мг/кг и донника белого – при 327 мг/кг содержания подвижного K_2O в почве.

Табл. 2. Библиогр. 13.

УДК 631.438.2: 631.445.24

Путятин Ю. В. Влияние гумусового состояния дерново-подзолистых супесчаных почв на накопление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr кормовыми культурами // Почвоведение и агрохимия. – 2019 – № 1(62). – С. 203.

В полевых экспериментах, проведенных на дерново-подзолистой супесчаной почве, обнаружены тесные отрицательные корреляции между содержанием гумуса и накоплением ^{137}Cs и ^{90}Sr кормовыми культурами. Содержание гумуса, при котором отмечено минимальное накопление ^{137}Cs , составляет для кукурузы – 3,15 %, тимофеевки луговой – 3,24 %, клевера лугового – 2,92 %, люцерны – 2,86 %; минимальное накопление ^{90}Sr для клевера лугового – 3,17 %, кукурузы – 3,06 %, люцерны – 3,62 %; тимофеевки луговой – 3,34 % и донника белого – 2,11 %. Наиболее интенсивное снижение поступления радионуклидов в растения с увеличением содержания гумуса в почве отмечается от 1 до 2,5 %.

Табл. 3. Рис. 2. Библиогр. 22.

УДК 631.438.2

Путятин Ю. В. Влияние кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы на накопление ^{90}Sr сельскохозяйственными культурами // Почвоведение и агрохимия. – 2019 – № 1(62). – С. 211.

В полевых экспериментах, проведенных на дерново-подзолистой супесчаной почве, обнаружены тесные отрицательные корреляции между обменной кислотностью почвы (рН) и накоплением ^{90}Sr растениями. Интенсивность воздействия нейтрализации кислотности на снижение перехода ^{90}Sr в растения выше при более низких значениях рН. Минимум биологической доступности ^{90}Sr для зерновых культур отмечен при рН 6,82–6,90, рапса – 6,62, кукурузы – 6,78, тимофеевки луговой – 6,30, клевера лугового – 6,52, люцерны – 6,50, люпина – 6,09, донника белого – 6,43 и картофеля – 6,84.

Табл. 3. Рис. 2. Библиогр. 19.

УДК 631.8:631.559:633.171

Коготько Ю. В. Влияние макро-, микроудобрений, регуляторов роста и бактериального препарата на структуру урожая и урожайность зерна проса // Почвоведение и агрохимия. – 2019 – № 1(62). – С. 219.

Инкрустации семян проса медью на фоне минерального питания $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ позволяет получить прибавку зерна у мелкосемянного сорта Галинка на уровне 3,2–5,2 ц/га и у крупносемянного сорта Дружба 2 – 2,0–2,8 ц/га, при этом наибольшее её значение обеспечивается при применении хелатной формы микроэлемента. В результате урожайность зерна на сорте Галинка составила 44,0 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 8,8 кг зерна, а на сорте Дружба 2 – 46,5 ц/га и 8,2 кг соответственно.

Табл. 2. Библиогр. 6.

УДК 631.8.022.3:631.84:631.112.9

Пынтиков С. А., Булавин Л. А., Гвоздов А. П., Немкович А. И. Экономическая эффективность применения азотных подкормок и микроэлементов при возделывании озимой пшеницы // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 228.

В статье представлены результаты исследований по оценке эффективности применения на посевах озимой пшеницы азотных удобрений и комплексного микроудобрения Дисолвин АБЦ. Установлено, что при возделывании озимой пшеницы после клевера наибольший экономический эффект был получен при внесении азота в дозе N_{60+60} с однократным применением препарата Дисолвин АБЦ (0,2 л/га) в фазу флагового листа (ДК 37–39)

Табл. 3. Библиогр. 7.

УДК 631.847.22:631.461

Михайловская Н. А., Барашенко Т. Б. Антагонистическая активность ризобактерий *A. brasilense* и *B. circulans* по отношению к фитопатогенным микромицетам рр. *Fusarium* и *Alternaria* // Почвоведение и агрохимия. – 2019 – № 1(62). – С. 234.

В серии *in vitro* экспериментов протестирована антагонистическая активность зональных штаммов азотфиксирующих *A. brasilense* и калиймобилизующих ризобактерий *B. circulans* К-81. Установлен их потенциал по биологическому контролю фитопатогенных микромицетов р. *Fusarium* – *F. poae*, *F. oxysporum* и *F. graminearum*.

Табл. 4. Рис. 4. Библиогр. 20.

УДК 631.524.85:633.1

Семененко Н. Н. К вопросу повышения устойчивости зерновых культур к неблагоприятным условиям внешней среды (аналитический обзор) // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 245.

В статье на основании обобщения результатов собственных и других авторов научных исследований обосновывается целесообразность и пути повышения устойчивости зерновых культур к неблагоприятным условиям внешней среды.

Библиогр. 36.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия» согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 01.04.2014 № 94 (в редакции приказа Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь 13.01.2017 № 6) включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований. Направляемые статьи должны являться оригинальными материалами, не опубликованными ранее в других печатных изданиях.

Текст научной статьи должен быть подготовлен в соответствии с требованиями главы 5 Инструкции по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации (утверждена Постановлением ВАК Республики Беларусь от 28.02.2014 № 3) и иметь следующую структуру: индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК); введение; основную часть (разделы – объекты и методы исследований, результаты исследований и их обсуждение), выводы, список цитированных источников. К статье прилагается аннотация на русском и английском языках (с переводом названия статьи, фамилий авторов). Статья должна быть подписана всеми авторами.

Объем статьи не должен превышать 10 страниц формата А 4. Все материалы представляются распечатанными на белой бумаге и электронном носителе.

Электронный вариант должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word шрифтом Arial (размер кегля – 10 пт, через одинарный интервал, абзац – 0,75). Рисунки даются в формате TIF, JPG 300–600 точек на дюйм. Текст на рисунках также должен быть набран гарнитурой Arial, размер кегля соизмерим с размером рисунка. Подписи к рисункам и схемам делаются отдельно. Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

Размерность всех величин, используемых в статьях, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ).

Сведения об источниках оформляются в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 7.80-2000 «Библиографическая Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 25.06.2014, 7/2786 9 запись. Заголовок. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.82-2001 «Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.12-93 «Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.11-2004 «Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных европейских языках», государственным стандартом Республики Беларусь СТБ 7.12-2001 «Библиографическая запись. Сокращение слов на белорусском языке. Общие требования и правила».

Поступившая статья направляется на рецензию, затем визируется членом редколлегии и рассматривается на заседании редколлегии. Возвращение статьи автору на доработку не означает, что она принята к печати. Статьи не по профилю журнала возвращаются авторам после заключения редколлегии.

Редакция оставляет за собой право вносить в текст редакционную правку.