

ISSN 0130-8475

---

**Институт почвоведения и агрохимии**

---

# **ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

*Основан в 1961 г.*

**№ 2(67)  
Июль–декабрь 2021 г.**

Минск  
2021

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

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

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

Главный редактор *В. В. ЛАГА*

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

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

## **ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ**

**2(67)**

***Июль – декабрь 2021 г.***

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

Адрес редакции: 220108, г. Минск, ул. Казинца, 90  
Тел. (017) 351-08-21, факс (017) 374-04-02  
E-mail: brissainform@mail.ru

Ответственная за выпуск *Н. Ю. Жабровская*

Редакторы *Т. Н. Самосюк, А. С. Атлас*  
Компьютерная верстка *Е. А. Титовой*

Подписано в печать 22.12.2021. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 16,58. Уч.-изд. л. 13,87. Тираж 100 экз. Заказ 556.

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», 2021

# СОДЕРЖАНИЕ

## 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

**Цыбулько Н. Н., Устинова А. М., Юхновец А. В., Цырибко В. Б., Касьяненко И. И.** Влияние эродированности дерново-подзолистых почв на продуктивность сельскохозяйственных культур (результаты длительных полевых опытов) ..... 7

**Азарёнок Т. Н., Шибут Л. И., Дыдышко С. В., Матыченкова О. В., Ананько Е. Д.** Динамика гранулометрического состава почв Беларуси (по данным крупномасштабных почвенных обследований и землеоценочных работ сельскохозяйственных земель) ..... 18

**Михайловская Н. А., Барашенко Т. Б., Погирницкая Т. В., Дюсова С. В.** Скрининг зональных изолятов *Pseudomonas* sp. по устойчивости к глифосату и его утилизации как источника углерода и фосфора ..... 35

## 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

**Серая Т. М., Богдевич И. М., Богатырева Е. Н., Станилевич И. С.** Повышение запасов органического вещества в почвах пахотных земель Республики Беларусь ..... 49

**Пироговская Г. В., Сороко В. И., Хмелевский С. С., Максимчук А. С., Ермолович И. Е., Даниленко К. В., Леонтьев В. Б., Кривко И. А., Коваленко О. Н., Гапечкина А. С.** Эффективность сыромолотого доломита в действии и последствии на дерново-подзолистых супесчаных и легкосуглинистых почвах ..... 64

**Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Кирдун Т. М., Мачок Т. В., Бирюкова О. М., Белявская Ю. А., Торчило М. М.** Эффективность систем удобрения озимой пшеницы на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве ..... 78

**Вильдфлуш И. Р., Пироговская Г. В., Кулешова А. А.** Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на продукционные процессы и урожайность яровой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве ..... 88

**Путятин Ю. В.** Влияние калийных удобрений и обеспеченности почвы подвижным калием на накопление  $^{137}\text{Cs}$  зернофуражными культурами ..... 100

**Цыбулько Н. Н., Шашко А. В.** Накопление  $^{137}\text{Cs}$  в растениях и продуктивность разнокомпонентных бобово-злаковых травосмесей на торфяно-глеевой почве при внесении макро- и микроудобрений ..... 108

<b>Хмелевский С. С., Пироговская Г. В., Сороко В. И., Даниленко К. В., Максимчук А. С., Ермолович И. Е.</b> Влияние новых форм комплексных удобрений на урожайность и накопление <sup>137</sup> Cs яровыми зерновыми культурами на загрязненной радионуклидами дерново-подзолистой связносупесчаной почве.....	118
<b>Мосур С. С.</b> Влияние макро-, микроудобрений и регулятора роста на динамику накопления сухого вещества, урожайность зеленой массы кукурузы и вынос элементов питания с урожаем .....	132
<b>Корнейкова Ю. С., Вильдфлуш И. Р.</b> Влияние комплексного применения минеральных удобрений, регуляторов роста и биопрепаратов на урожайность и качество льна масличного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.....	143
<b>Тарасенко С. А., Ануфрик О. М.</b> Влияние удобрений на продукционный процесс, урожайность и качество корней и корневищ валерианы лекарственной .....	155
<b>Воробьев В. Б., Вильдфлуш И. Р.</b> 100 лет на страже плодородия (к юбилею кафедры агрохимии УО БГСХА) .....	166
<b>Лапа В. В., Цыбулько Н. Н., Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В., Матыченков Д. В., Шульгина С. В.</b> Вклад академика Николая Ивановича Смеяна в развитие агропочвенных исследований Беларуси (к 90-летию со дня рождения) .....	174
Памяти Владимира Даниловича Лисицы (к 90-летию со дня рождения)....	194
Рефераты .....	197
Правила для авторов .....	204

---

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

**Tsybulka N. N., Ustinova A. M., Yukhnovets A. V., Tsyrybka V. B., Kasyanenko I. I.** Influence of erosion of sod-podzolic soils on the productivity of agricultural crops (results of long-term field experiments)..... 7

**Azarenok T. N., Shibut L. I., Dydyshka S. V., Matychenkova O. V., Ananka E. D.** Dynamics of the granulometric composition of soils in Belarus (according to large-scale soil surveys and land assessment works of agricultural land) ..... 18

**Mikhailouskaya N. A., Barashenko T. B., Pogirnitskaya T. V., Dyusova S. V.** Screening of zonal isolates *Pseudomonas* sp. tolerance to glyphosate and its utilization as a source of carbon and phosphorus ..... 35

**2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION**

**Seraya T. M., Bogdevich I. M., Bahatyrova T. M., Stanilevich I. S.** Increasing the stock of organic substance in soils agricultural lands of the Republic of Belarus ..... 49

**Pirahouskaya H. V., Saroka V. I., Khmialeusky S. S., Maksimchuk A. S., Yermalovich I. E., Danilenka K. V., Liavontsyeu V. B., Kryuko I. A., Kavalenka O. N., Hapechkina A S.** Efficiency of raw milled dolomit in action and after effect on sod-podzolic loam soils, cohesive sandy and light loamy soils ..... 64

**Seraya T. M., Bahatyrova E. N., Kirdun T. M., Machok T. V., Biryukova O. M., Belyavskaya Y. A., Torchilo M. M.** The effectiveness of winter wheat fertilization systems on medium-cultivated sod-podzolic sandy loam soil ..... 78

**Vildflush I. R., Pirogovskaya G. V., Kuleshova A. A.** Influence of macro-, micro-fertilizers and growth regulators on production processes and yield of spring wheat on sod-podzolic light-loamy soil ..... 88

**Putyatin Y. V.** Effect of potassium fertilizers and availability of mobile potassium of soil on <sup>137</sup>Cs accumulation by feed grain crops..... 100

**Tsybulka N. N., Shashko A. V.** Accumulation of <sup>137</sup>Cs in plants and productivity of multi-component legume-cereal grasses on peat-gley soil when applying macro- and microfertilizers ..... 108

**Khmialeusky S. S., Pirahouskaya G. V., Saroka V. I., Danilenka K. V., Maksimchuk A. S., Yermalovich I. E.** Effect of new forms of complex fertilizers

on productivity and accumulation of $^{137}\text{Cs}$ in spring grain crops on radionuclide contaminated sod-podzolic coherent loamy soil.....	118
<b>Mosur S. S.</b> Influence of macro-, micronutrient fertilizers and growth regulator on the dynamics of dry matter accumulation, yield and removal of corn nutrients during cultivation on green mass.....	132
<b>Korneikova Y. S., Vildflush I. R.</b> Influence of complex application of mineral fertilizers, regulators of height and biotics on the productivity and quality of flax oily on sod-podzolic light loamy soil .....	143
<b>Tarasenko S. A., Anufric O. M.</b> The influence of fertilizers on the production process, yield and quality of the roots and rhizomes of valerian ( <i>valeriana officinalis</i> ).....	155
<b>Vorobiev V. B., Vildflush I. R.</b> 100 years guarding fertility (to the anniversary of the Department of Agrochemistry UO BSAA).....	166
<b>Lapa V. V., Tsybuilko N. N., Azarenok T. N., Matychenkova O. V., Matychenkov D. V., Shul'gina S. V.</b> Contribution of academician Nikolay Ivanovich Smeyan in the development of agricultural research in Belarus (to the 90th anniversary from birthday).....	174
In memory of Vladimir Danilovich Lisitsa (to the 90th birthday) .....	194
Summaries .....	197
Instructions for authors.....	204

# 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.459:631.445.2:633

## ВЛИЯНИЕ ЭРОДИРОВАННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР (результаты длительных полевых опытов)

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

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

### ВВЕДЕНИЕ

В Беларуси 473,3 тыс. га сельскохозяйственных земель подвержено водной эрозии. Эродированные почвы сконцентрированы в основном на пахотных землях – 361,7 тыс. га. Почвы с намывом верхом занимают на пашне 52,4 тыс. га [1]. При проведении крупномасштабных почвенных исследований эродированные почвы выделяются самостоятельными контурами. Это позволяет определить их площадь и учесть при кадастровой оценке земель.

Смыв гумуса и элементов минерального питания, ухудшение водно-физических и биологических свойств эродированных почв приводят к деградации их плодородия и снижению производительной способности. Отмечается [2], что потеря 1 см гумусового горизонта уменьшает потенциальную урожайность зерновых культур на 0,5–2,0 ц/га. По литературным данным снижение урожайности сельскохозяйственных культур на эродированных почвах по отношению к неэродированным следующее: на слабоэродированных почвах – на 10–30 %; среднеэродированных – на 30–60; сильноэродированных почвах – на 60–80 %. Продуктивность в наибольшей мере снижают пропашные культуры, а в меньшей – многолетние травы [3].

Принято считать, что в условиях Беларуси средние недоборы урожая зерновых культур составляют на слабоэродированных почвах 12 %, среднеэродированных – 28, сильноэродированных – 40 %; пропашных культур – 20, 40, 60 соответственно; льна – 15, 34, 50; многолетних трав – 5, 18, 30 % [4].

Учет влияния эродированности на плодородие почв осуществляется посредством введения понижающего поправочного коэффициента к баллу почв. Величина этого коэффициента зависит от вида эрозии (водная или ветровая), степени эродированности и от культур, для которых проводится оценка [5].

Цель настоящей работы – обобщение многолетних данных, полученных в длительных стационарных полевых опытах, урожайности основных сельскохозяйс-

твенных культур на дерново-подзолистых почвах в разной степени подверженных водной эрозии.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальной основой работы явились результаты длительных (2000–2021 гг.) полевых опытов, проведенных на двух стационарах Института почвоведения и агрохимии в северной и центральной почвенно-экологических провинциях Беларуси. В северной провинции исследования выполняли в полевых опытах, заложенных по почвенно-геоморфологическому профилю от водораздельной равнины до нижней части склона. Склон северо-восточной экспозиции, выпуклый, крутизной – 5–7°. Почвы стационара – в разной степени смытые дерново-подзолистые легкосуглинистые, сформированные на мощных моренных суглинках. В центральной почвенно-экологической провинции исследования выполняли на стационарных стоковых площадках, развернутых на склоне южной экспозиции, крутизной 5–7° и склоне северной экспозиции, крутизной 3–5°. Почвы стационара – в разной степени смытые дерново-подзолистые легкосуглинистые, сформированные на лессовидных суглинках. Диапазоны изменений агрохимических показателей почв приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Диапазоны значений агрохимических показателей пахотного горизонта почв**

Почва	Степень смытости почвы	Агрохимические показатели пахотного слоя почв (Ап)			
		рН	гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
				мг/кг почвы	
Дерново-подзолистая на лёссовидных суглинках	Несмытая	4,23–6,50	1,43–3,20	177–723	134–525
	Слабосмытая	4,20–5,60	1,41–2,61	137–450	157–368
	Среднесмытая	4,11–6,33	1,01–2,47	140–535	121–756
	Сильносмытая	4,09–6,56	1,00–2,14	159–514	101–373
Дерново-подзолистая на моренных суглинках	Несмытая	5,05–6,80	1,74–2,66	175–553	153–403
	Слабосмытая	5,93–6,29	1,65–2,26	121–384	131–355
	Среднесмытая	5,47–6,93	1,45–2,10	118–435	121–351
	Сильносмытая	5,59–7,16	1,00–1,79	106–399	118–578

Исследования проводились методом постановки полевых опытов. Продуктивность сельскохозяйственных культур изучали в плодосменных, зернотравяных и травяно-зерновых севооборотах. Все культуры возделывали в соответствии с утвержденными организационно-технологическими нормативами [6–8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Зерновые культуры (озимая пшеница, озимое тритикале, озимая рожь, яровая пшеница, ячмень, овес).* По среднемноголетним данным зерновые культуры в производственных посевах снижают урожайность на слабоэродированных почвах на 12 %, на среднеэродированных почвах – на 28, на сильноэродированных почвах – на 40 %.

В исследованиях на дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках, расположенных на склоне южной экспозиции с крутизной 5–7°, урожайность озимой пшеницы, как культуры, наиболее требовательной к почвенным условиям, колебалась по годам (9 лет опытов) на несмытой почве от 45,2 до 77,6 ц/га, на среднесмытой почве – от 37,8 до 71,5, на сильносмытой почве – от 32,5 до 67,1 и на намытой почве – от 51,0 до 88,8 ц/га зерна, а в среднем составила 56,9, 50,5, 45,0 и 69,0 ц/га соответственно. Урожайность культуры на среднесмытой почве была ниже по сравнению с несмытой почвой в среднем на 6,3 ц/га (11 %), на сильносмытой почве – на 11,9 ц/га (21 %). На намытой почве она была выше на 12,2 ц/га, или на 21 % (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние степени смытости почв на урожайность озимых зерновых культур  
(средние многолетние данные)**

Культура количество лет опытов	Степень смытости почвы	Урожайность зерна за годы исследований, ц/га			Снижение (–) или прибавка (+) зерна к несмытой почве	
		мини- мальная	макси- мальная	средняя	ц/га	%
Дерново-подзолистая почва на лессовидных суглинках. Склон южной экспозиции, крутизной 5–7°						
<u>Озимая пшеница</u> 9	Несмытая	45,2	77,6	56,9	–	–
	Среднесмытая	37,8	71,5	50,5	–6,3	–11
	Сильносмытая	32,5	67,1	45,0	–11,9	–21
	Намытая	51,0	88,8	69,0	12,2	21
<u>Озимое тритикале</u> 1	Несмытая	94,3	94,3	94,3	–	–
	Среднесмытая	86,7	86,7	86,7	–7,6	–8
	Сильносмытая	75,0	75,0	75,0	–19,3	–20
<u>Озимая рожь</u> 4	Несмытая	42,5	65,9	52,7	–	–
	Среднесмытая	39,2	63,6	52,4	–0,3	–1
	Сильносмытая	27,0	56,4	46,9	–5,8	–11
	Намытая	39,0	87,0	57,8	5,1	10
Дерново-подзолистая почва на лессовидных суглинках. Склон северной экспозиции, крутизной 3–5°						
<u>Озимая пшеница</u> 2	Несмытая	56,5	69,3	62,9	–	–
	Слабосмытая	51,3	59,4	55,4	–7,5	–12
	Среднесмытая	48,4	56,5	52,5	–10,4	–17
<u>Озимое тритикале</u> 3	Несмытая	69,6	91,3	79,5	–	–
	Слабосмытая	68,8	88,3	77,4	–2,1	–3
	Среднесмытая	57,1	78,5	69,5	–10,0	–12
	Намытая	48,9	65,3	57,1	–22,4	–28
<u>Озимая рожь</u> 4	Несмытая	31,8	51,4	44,3	–	–
	Слабосмытая	29,0	48,1	41,0	–3,3	–7
	Среднесмытая	27,0	48,2	38,9	–5,4	–12
	Намытая	39,8	44,5	42,2	–2,1	–5
Дерново-подзолистая почва на моренных суглинках. Склон северо-восточной экспозиции, крутизной 5–7°						
<u>Озимая пшеница</u> 7	Несмытая	39,0	56,1	50,1	–	–
	Среднесмытая	34,3	53,5	46,2	–3,9	–8
	Сильносмытая	29,9	51,5	40,8	–9,3	–19
	Намытая	27,9	60,2	47,1	–3,0	–6

Культура количество лет опытов	Степень смытости почвы	Урожайность зерна за годы исследований, ц/га			Снижение (–) или прибавка (+) зерна к несмытой почве	
		мини- мальная	макси- мальная	средняя	ц/га	%
<u>Озимое тритикале</u> 2	Несмытая	66,1	68,8	67,5	–	–
	Среднесмытая	55,1	63,4	59,3	–8,2	–12
	Сильносмытая	42,2	61,2	51,7	–15,8	–23
	Намытая	46,1	48,7	47,4	–20,1	–30

По озимому тритикале, которое возделывали на дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках на склоне южной экспозиции, имеются данные за один год опытов. При урожайности культуры на несмытой почве 94,3 ц/га снижение ее на среднесмытой почве составило 7,6 ц/га (8 %), на сильносмытой почве – 19,3 ц/га (20 %).

Озимая рожь в наименьшей мере реагировала на степень эродированности почвы. За 4 года исследований урожайность ее на несмытой почве колебалась от 42,5 до 65,9 ц/га зерна, на среднесмытой почве – от 39,2 до 63,6, на сильносмытой почве – от 27,0 до 56,4 ц/га. В среднем на средне- и сильносмытой почвах урожайность была ниже по сравнению с несмытой почвой соответственно на 0,3 и 5,8 ц/га, или 1 и 11 %, а на намытой почве – на 5,1 ц/га (10 %) выше.

На дерново-подзолистых почвах, сформированных на лессовидных суглинках, расположенных на склоне северной экспозиции с крутизной 3–5°, получены 2-летние данные по урожайности озимой пшеницы, 4-летние данные по озимой ржи и 3-летние данные урожайности озимого тритикале на несмытой, слабосмытой, среднесмытой и намытой почвах.

Продуктивность озимой пшеницы на несмытой почве колебалась в пределах 56,5–69,3 ц/га, на слабосмытой почве – 51,3–59,4, на среднесмытой почве – 48,4–56,5 ц/га. В среднем за годы исследований снижение урожайности на слабо- и среднесмытой почвах составило 7,5 и 10,4 ц/га зерна, или 12 и 17 %.

Озимое тритикале в годы исследований обеспечивало продуктивность на несмытой почве от 69,6 до 91,3 ц/га зерна, а в среднем она составила 79,5 ц/га. На слабосмытой почве снижение урожайности было незначительным – 2,1 ц/га (3 %), на среднесмытой почве – 10 ц/га (12 %). Следует отметить, что если на склоне южной экспозиции на намытой почве урожайность культур была выше, чем даже на несмытой почве, то на склоне северной экспозиции она была значительно ниже – на 22,4 ц/га, или на 28 %.

Закономерности формирования урожайности озимой ржи на почвах разной степени эродированности были аналогичными, как и для озимого тритикале. При среднем значении урожайности на несмытой почве 44,3 ц/га, на слабо- и среднесмытой почвах она уменьшилась на 3,3 и 5,4 ц/га соответственно, а на намытой почве – на 2,1 ц/га.

В исследованиях на дерново-подзолистых почвах, сформированных на моренных суглинках, расположенных на склоне северо-восточной экспозиции с крутизной 5–7°, урожайность озимой пшеницы колебалась по годам (7 лет опытов) на несмытой почве от 39,2 до 56,1 ц/га, на среднесмытой почве – от 34,3 до 53,5, на сильносмытой почве – от 29,9 до 51,5 и на намытой почве – от 27,9 до 60,2 ц/га зерна, а в среднем составила 50,1, 46,2, 40,8 и 47,1 ц/га соответственно. Уро-

жайность на среднесмытой почве была ниже по сравнению с несмытой почвой в среднем на 3,9 ц/га (8 %), на сильносмытой почве – на 9,3 ц/га (19 %), на глееватой намытой почве – на 3,0 ц/га (6 %).

Озимое тритикале формировало более высокую урожайность по сравнению с озимой пшеницей на дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках, которая изменялась в пределах на несмытой почве 66,1–68,8 ц/га, на среднесмытой почве – 55,1–63,4, на сильносмытой почве – 42,2–61,2 ц/га и на намытой почве – 46,1–48,7 ц/га. Снижение урожайности на средне- и сильносмытых почвах составило 12 и 23 % соответственно.

Продуктивность яровой пшеницы на несмытых дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках изменялась по годам исследований от 25,0 до 62,1 ц/га зерна на склоне южной экспозиции и от 38,0 до 40,7 ц/га на склоне северной экспозиции, а в среднем она составила 47,0 и 39,4 ц/га соответственно. На средне- и сильносмытой почвах на склоне южной экспозиции средняя урожайность ее была ниже на 5,7 и 10,2 ц/га, или на 12 и 22 % соответственно, а на намытой почве выше на 6,9 ц/га (на 15 %). На слабосмытой и среднесмытой почвах склона северной экспозиции уменьшение урожайности составило 4,6 и 6,9 ц/га соответственно (9 и 13 %) (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние степени смытости почв на урожайность яровых зерновых культур  
(средние многолетние данные)**

Культура количество лет опытов	Степень смытости почвы	Урожайность зерна за годы исследований, ц/га			Снижение (–) или прибавка (+) зерна к несмытой почве	
		мини- мальная	макси- мальная	средняя	ц/га	%
Дерново-подзолистая почва на лессовидных суглинках. Склон южной экспозиции, крутизной 5–7°						
Яровая пшеница 6	Несмытая	25,0	62,1	47,0	–	–
	Среднесмытая	23,1	53,8	41,3	–5,7	–12
	Сильносмытая	16,6	47,2	36,9	–10,2	–22
	Намытая	44,2	63,5	53,9	6,9	15
Ячмень 5	Несмытая	24,7	58,9	44,9	–	–
	Среднесмытая	22,9	52,4	41,4	–3,5	–8
	Сильносмытая	16,5	52,2	39,5	–5,4	–12
Овес 3	Несмытая	28,9	35,8	32,5	–	–
	Среднесмытая	28,1	33,6	31,5	–1,0	–3
	Сильносмытая	27,0	30,5	29,1	–3,4	–10
	Намытая	26,5	31,4	28,9	–3,6	–11
Дерново-подзолистая почва на лессовидных суглинках. Склон северной экспозиции, крутизной 3–5°						
Яровая пшеница 2	Несмытая	38,0	40,7	39,4	–	–
	Слабосмытая	32,3	37,3	34,8	–4,6	–9
	Среднесмытая	29,6	35,5	32,5	–6,9	–13
	Намытая	36,4	39,7	38,1	–1,3	–2
Ячмень 4	Несмытая	31,0	56,2	44,4	–	–
	Слабосмытая	30,8	53,0	41,9	–2,5	–6
	Среднесмытая	25,6	51,8	38,6	–5,8	–13
	Намытая	32,4	54,3	46,8	2,4	5

Культура количество лет опытов	Степень смытости почвы	Урожайность зерна за годы исследований, ц/га			Снижение (–) или прибавка (+) зерна к несмытой почве	
		мини- мальная	макси- мальная	средняя	ц/га	%
<u>Овес</u> 2	Несмытая	32,7	40,6	36,7	–	–
	Слабосмытая	29,5	42,9	36,2	–0,5	–1
	Среднесмытая	27,7	39,0	33,3	–3,4	–9
	Намытая	38,8	42,7	40,7	4,0	11
Дерново-подзолистая почва на моренных суглинках. Склон северо-восточной экспозиции, крутизной 5–7°						
<u>Яровая пшеница</u> 4	Несмытая	28,2	51,7	41,6	–	–
	Среднесмытая	18,2	44,2	34,1	–7,5	–18
	Сильносмытая	15,9	39,7	30,8	–10,7	–26
	Намытая	14,3	38,2	28,9	–12,7	–31
<u>Ячмень</u> 1	Несмытая	40,5	40,5	40,5	–	–
	Среднесмытая	37,7	37,7	37,7	–2,9	–7
	Сильносмытая	28,9	28,9	28,9	–11,6	–29
<u>Овес</u> 1	Несмытая	29,0	29,0	29,0	–	–
	Среднесмытая	25,6	25,6	25,6	–3,4	–12
	Сильносмытая	22,4	22,4	22,4	–6,6	–23

Более существенное снижение продуктивности яровой пшеницы наблюдалось на эродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках. Так, средняя урожайность за 4 года исследований на несмытой почве получена 41,6 ц/га, на среднесмытой почве – 34,1 ц/га и на сильносмытой почве – 30,8 ц/га, т. е. уменьшилась на 18 и 26 % соответственно. На глееватой намытой почве недобор зерна по сравнению с несмытой почвой достигал 12,7 ц/га или 31 %.

Ячмень формировал продуктивность на дерново-подзолистых неэродированных почвах на лессовидных суглинках от 24,7 до 58,9 ц/га на южном склоне и от 31,0 до 56,2 ц/га на северном склоне, а в среднем – 44,9 и 44,4 ц/га. На дерново-подзолистой почве на моренных суглинках средняя урожайность составила 40,5 ц/га. На дерново-подзолистых среднесмытых почвах на лессовидных суглинках продуктивность уменьшилась в среднем на склоне южной экспозиции на 3,5 ц/га (8 %), на склоне северной экспозиции – на 5,8 ц/га (13 %). Значительное снижение урожайности произошло на дерново-подзолистой сильносмытой почве на моренных суглинках – 11,6 ц/га, или 29 %. В отношении овса прослеживались такие же закономерности.

*Зернобобовые культуры (горох посевной, люпин узколистный).* Горох посевной формировал урожайность на дерново-подзолистых неэродированных почвах на лессовидных суглинках 25,2–26,5 ц/га. Степень влияния эродированности почвы на снижение продуктивности культуры существенно зависело от экспозиции склона. Так, на склоне южной экспозиции на среднесмытой почве она уменьшилась только на 1,6 ц/га (6 %), тогда как на слабосмытой почве на склоне северной экспозиции – на 4,8 ц/га (19 %). На сильносмытой почве южного склона и сред-

несмытой почве северного склона недобор урожайности гороха был примерно одинаковым – 7,3 и 6,9 ц/га зерна соответственно, или 27 %.

Значительное снижение продуктивности культуры наблюдалось на дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках. При урожайности на несмытой почве 36,7 ц/га, на средне- и сильносмытой почвах она составила всего 25,7 и 22,1 ц/га, т. е. была ниже на 30 и 40 % соответственно. Наблюдалось также существенное снижение ее на глееватой почве – 37 % (табл. 4).

Таблица 4

**Влияние степени смытости почв на урожайность зернобобовых культур  
(среднемноголетние данные)**

Почва	Культура количество лет опытов	Степень смытости почвы	Урожай- ность зерна, ц/га	Снижение (-) или прибавка (+) зерна к несмытой почве	
				ц/га	%
Дерново-подзолистая на лессовидных суглинках, склон южной экспози- ции, крутизной 5–7°	Горох посевной 1	Несмытая	26,5	–	–
		Среднесмытая	24,9	–1,6	–6
		Сильносмытая	19,2	–7,3	–27
	Люпин узколистный 2	Несмытая	44,3	–	–
		Среднесмытая	35,6	–8,7	–20
		Сильносмытая	34,3	–10,0	–23
Дерново-подзолистая на лессовидных суглинках, склон северной экспози- ции, крутизной 3–5°	Горох посевной 1	Несмытая	25,2	–	–
		Слабосмытая	20,4	–4,8	–19
		Среднесмытая	18,3	–6,9	–27
	Дерново-подзолистая на моренных суглинках, склон северо-восточной экспозиции, крутизной 5–7°	Горох посевной 1	Несмытая	36,7	–
Среднесмытая			25,7	–11,0	–30
Сильносмытая			22,1	–14,6	–40
Намытая			23,2	–13,5	–37

Урожайность люпина узколистного в среднем за 2 года опытов составила на дерново-подзолистой несмытой почве на склоне южной экспозиции 44,3 ц/га зерна. На средне- и сильносмытой почвах она была ниже на 8,7 и 10,0 ц/га соответственно, или на 20 и 23 %, а на глееватой намытой почве – на 13,6 ц/га (31 %).

*Озимый и яровой рапс.* В исследованиях, проведенных в течение 6 лет на дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках (склон южной экспозиции крутизной 5–7°), продуктивность ярового рапса на незеродированной почве колебалась по годам в зависимости от гидротермических условий от 19,6 до 40,7 ц/га масло-семян. На средне- и сильносмытой почвах урожайность культуры изменялась соответственно от 17,3 до 34,3 и от 16,8 до 34,0 ц/га. В среднем за годы исследований она составила 28,1, 24,8 и 22,3 ц/га соответственно. Снижение урожайности на среднесмытой почве составило 3,4 ц/га (12 %), на сильносмытой почв – 5,9 ц/га (21 %), а на намытой почве наблюдалось незначительное ее увеличение (табл. 5).

**Влияние степени смытости почв на урожайность озимого и ярового рапса  
(среднемноголетние данные)**

Почва	Культура число лет опытов	Степень смытости почвы	Урожай- ность масло-се- мян, ц/га	Снижение (-) или прибавка (+) масло-се- мян к несмытой почве	
				ц/га	%
Дерново-подзолистая на лессовидных суг- линках, склон южной экспозиции, крутизной 5–7°	Рапс яровой 6	Несмытая	<u>19,6–40,7*</u> 28,1	–	–
		Среднесмытая	<u>17,3–34,3</u> 24,8	–3,4	–12
		Сильносмытая	<u>16,8–34,0</u> 22,3	–5,9	–21
		Намытая	<u>26,2–32,8</u> 29,7	1,6	6
Дерново-подзоли- стая на лессовидных суглинках, склон северной экспозиции, крутизной 3–5°	Рапс озимый 1	Несмытая	37,6	–	–
		Слабосмытая	36,3	–1,3	–4
		Среднесмытая	34,3	–3,3	–9
	Рапс яровой 1	Несмытая	24,8	–	–
		Слабосмытая	23,8	–1,0	–4
		Среднесмытая	22,8	–2,0	–8
Дерново-подзолистая на моренных суглин- ках, склон северо-вос- точной экспозиции, крутизной 5–7°	Рапс яровой 2	Несмытая	<u>19,3–26,8</u> 23,1	–	–
		Среднесмытая	<u>16,3–21,5</u> 18,9	–4,1	–18
		Сильносмытая	<u>14,8–17,4</u> 16,1	–7,0	–30
		Намытая	16,9	–6,2	–27

\* Над чертой – минимальное и максимальное значение, под чертой – среднее значение.

На склоне северной экспозиции с крутизной 3–5° на дерново-подзолистых незероэродированных почвах на лессовидных суглинках получена урожайность масло-семян ярового рапса 24,8 ц/га, озимого рапса – 37,6 ц/га. На слабосмытой почве снижение ее составило всего 1,0–1,3 ц/га (4 %), а на среднеэродированной почве – 2,0–3,3 ц/га (8–9 %).

Существенный недобор масло-семян ярового рапса наблюдался на эродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках. Так, при урожайности его на несмытой почве в среднем за 2 года опытов 23,1 ц/га, на среднесмытой почве она уменьшилась на 4,1 ц/га, на сильносмытой почве – на 7,0 и на глееватой намытой почве – на 6,2 ц/га.

Обобщение многолетних данных урожайности сельскохозяйственных культур на почвах в разной степени подверженных водно-эрозионным процессам показало, что на дерново-подзолистых слабосмытых почвах снижение урожайности озимых (пшеница, тритикале, рожь), яровых (пшеница, ячмень, овес) зерновых культур, озимого и ярового рапса составляет в среднем 5–7 % с колебаниями в зависимости от гидротермических условий вегетационного периода, экспозиции склона и почвенных условий от 1 до 12 %. Зернобобовые культуры (горох, люпин) снижают продуктивность в среднем на 10 %, но может достигать 19 % (рис.).

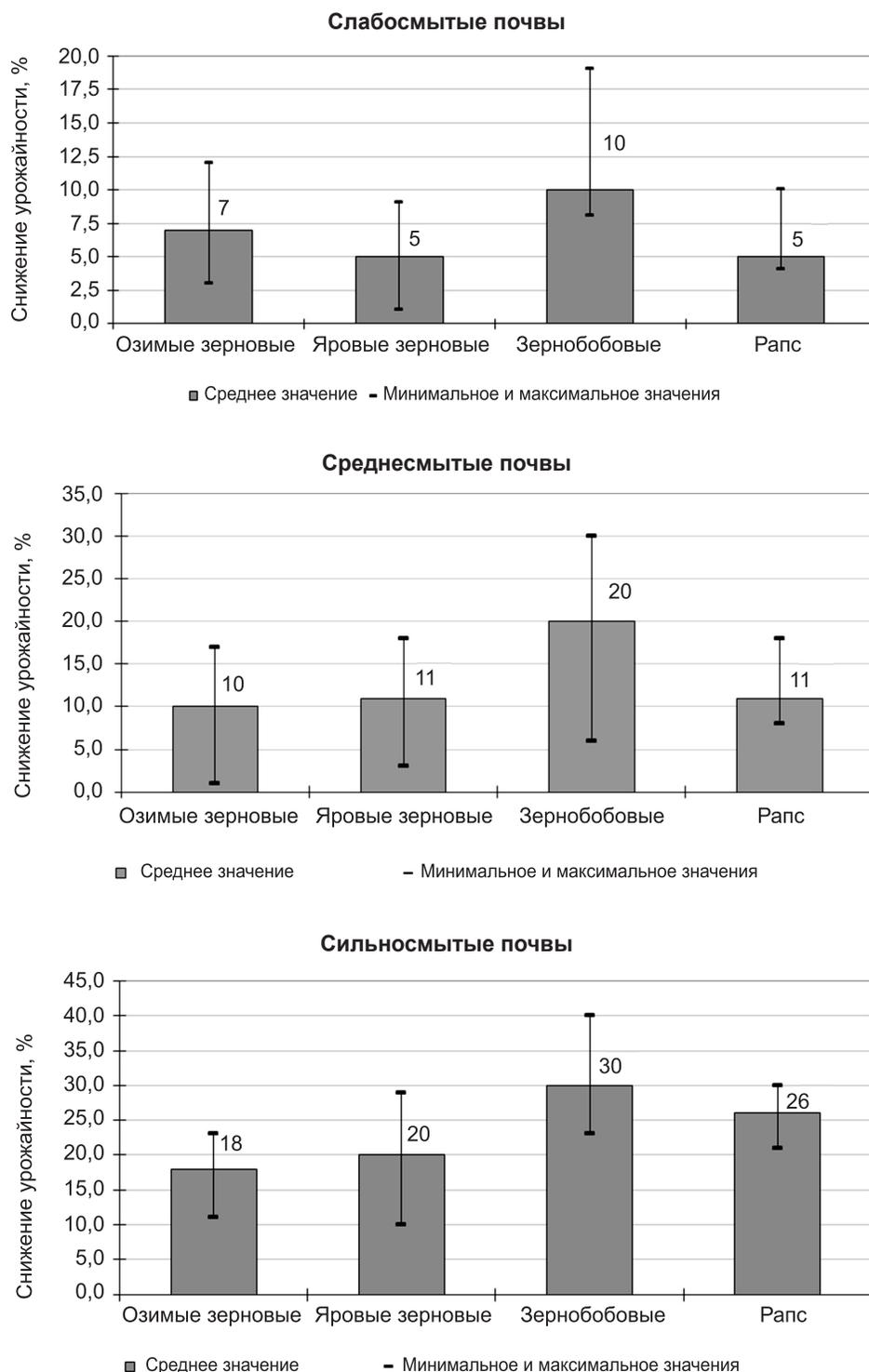


Рис. 1. Диапазоны снижения урожайности групп сельскохозяйственных культур на почвах разной степени смытости по отношению к незеродированным почвам

На дерново-подзолистых среднесмытых почвах урожайность озимых, яровых зерновых культур и рапса ниже по сравнению с незэродированными почвами в среднем 10–11 % с колебаниями от 3 до 18 %. Уменьшение продуктивности зернобобовых культур составляет в среднем 20 %, достигая в отдельные годы 27–30 %.

На дерново-подзолистых сильноэродированных почвах озимые и яровые зерновые культуры снижают урожайность в среднем на 18–20 % по сравнению с незэродированными почвами. В отдельные годы она может уменьшаться на 25–30 %. На сильносмытых почвах в большей степени, чем зерновые культуры снижает продуктивность озимый и яровой рапс. Недобор урожайности составляет в среднем 26 %. Продуктивность зернобобовых культур ниже на 30 %, а в отдельные годы – до 40 %.

## ВЫВОДЫ

1. В условиях полевых опытов при соблюдении технологий возделывания (технологических регламентов) озимые и яровые зерновые культуры снижают урожайность на дерново-подзолистых слабосмытых почвах в среднем 5–7 % по сравнению с незэродированными почвами, на средне- и сильносмытых почвах на 10–11 и 18–20 % соответственно. В зависимости от складывающихся гидротермических условий вегетационного периода уменьшение может достигать на среднесмытых почвах 18 %, на сильносмытых почвах 30 %. Недоборы урожайности рапса на слабо- и среднесмытых почвах такие же, как и для зерновых культур, а на сильносмытых почвах несколько выше – в среднем 26 %, в отдельных случаях – до 30 %. Наиболее существенно реагируют на эродированность почв зернобобовые культуры (горох, люпин). Продуктивность их на слабо-, средне- и сильносмытых почвах на 10–30 %, а в отдельные годы до 40 % ниже, чем на незэродированных почвах.

2. На дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках влияние эродированности почвы на урожайность сельскохозяйственных культур проявляется в меньшей степени, чем на дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках. На склонах северных экспозиций урожайность сельскохозяйственных культур на смытых почвах по отношению к несмытым почвам снижается более существенно, чем на склонах южных экспозиций. Различия составляют в среднем 4–5 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смеяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.
2. Ковда, В. А. Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана / В. А. Ковда. – М.: Наука, 1981. – 250 с.
3. Ванин, Д. Е. Научные основы природоохранных ресурсосберегающих интенсивных систем земледелия / Д. Е. Ванин // Земледелие. – 1986. – № 11. – С. 26–30.
4. Проектирование противозерозионных комплексов и использование эрозионноопасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси: рекомендации / под

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

5. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика / Г. М. Мороз [и др.]; под ред. Г. М. Мороза, В. В. Лапы. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 208 с.

6. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сб. отраслевых регламентов. – Минск: Институт аграрной экономики НАН Беларуси, 2005. – 460 с.

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

8. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч. практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 469 с.

## **INFLUENCE OF EROSION OF SOD-PODZOLIC SOILS ON THE PRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL CROPS (RESULTS OF LONG-TERM FIELD EXPERIMENTS)**

**N. N. Tsybulka, A. M. Ustinova, A. V. Yukhnovets,  
V. B. Tsyrybka, I. I. Kasyanenko**

### **Summary**

Grain crops reduce yields on sod-podzolic slightly washed soils by an average of 5–7 % compared to non-eroded soils, on medium- and heavily washed soils by 10–11 and 18–20 %, respectively. The yield deficiencies of rapeseeds on weakly and medium-washed soils are the same as for grain crops, and on strongly washed soils on average 26 %, in some years up to 30 %. Leguminous crops react most significantly to soil erosion. Their productivity on weakly, medium and strongly washed soils is 10–30 % and up to 40 % lower than on non-eroded soils.

On sod-podzolic soils on loess-like loams, the effect of soil erosion on crop yield is less pronounced than on sod-podzolic soils on moraine loams. On the slopes of the northern expositions, the yield of agricultural crops on washed-out soils in relation to unwashed soils decreases more significantly than on the slopes of the southern expositions. The differences are on average 4–5 %.

*Поступила 25.10.21*

## **ДИНАМИКА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВ БЕЛАРУСИ (по данным крупномасштабных почвенных обследований и землеоценочных работ сельскохозяйственных земель)**

**Т. Н. Азаренок, Л. И. Шибут, С. В. Дыдышко,  
О. В. Матыченкова, Е. Д. Ананько**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Гранулометрический (механический) состав почв – это относительное содержание в почве различных по размеру фракций механических элементов (камни, гравий, песок, пыль, ил, коллоиды). Фракции крупнее 1 мм (гравий и камни) составляют скелет почвы, а менее 1 мм (песок, пыль, ил, коллоиды) – мелкозем, который в свою очередь делится на две большие группы: физический песок и физическую глину. К физическому песку относятся все механические элементы, размер которых больше 0,01 мм (хрящ, гравий, песок крупный, песок средний, песок мелкий, пыль крупная). Группу физической глины составляют частицы, размер которых меньше 0,01 мм (пыль средняя, пыль мелкая, ил и коллоиды).

Классификация почв по гранулометрическому составу основана на соотношении физического песка и физической глины. Ее основы разработал Н. М. Сибирцев и в последующем существенно откорректировал Н. А. Качинский [1–3]. В зависимости от содержания физической глины и физического песка все почвы по гранулометрическому составу делятся на глинистые, суглинистые, супесчаные и песчаные. Глинистые почвы в свою очередь подразделяются на тяжелые, средние и легкие глины; суглинистые – на тяжелые, средние, легкие суглинки; супесчаные – на связные и рыхлые супеси, песчаные – на связные и рыхлые пески. Например, к легкосуглинистым почвам относятся почвы, которые содержат от 20 до 30 % физической глины и от 80 до 70 % физического песка; к связнопесчаным – которые содержат от 5 до 10 % физической глины и 95–90 % физического песка.

Гранулометрический состав почв в условиях Беларуси является одним из основных факторов, в значительной степени определяющих их плодородие [4–9]. Поэтому, согласно существующим методикам, при проведении крупномасштабных почвенных обследований на почвенных картах с достаточной полнотой отражается гранулометрический состав почвообразующих и подстилающих пород, их строение [10–13], определяются, обобщаются и анализируются площади почв различного гранулометрического состава [14], а при проведении землеоценочных работ гранулометрический состав тщательно учитывается в оценочных шкалах [15–16].

В последнем номенклатурном списке почв Беларуси для крупномасштабного картографирования [13] для минеральных и торфяно-минеральных почв выделяется 12 разновидностей гранулометрического состава, а по подстиланью – 18. В шкале оценочных баллов почв для второго тура кадастровой оценки в каждом типе минеральных почв установлены баллы для 18 почвенных разновидностей в

зависимости от гранулометрического состава почвообразующих и подстилающих пород, строения почвенного профиля [16].

Гранулометрический состав – это одна из наиболее стабильных и устойчивых характеристик почв в условиях Беларуси, однако с течением времени, по ряду объективных и субъективных причин, он также трансформируется, изменяется соотношение и удельный вес почв различного гранулометрического состава в хозяйствах, районах, областях и республике в целом [17, 18].

Поэтому целью данной работы является дать характеристику гранулометрического состава почв пахотных земель Беларуси, провести анализ его изменения по материалам различных туров крупномасштабного почвенного обследования и кадастровой оценки, показать относительное плодородие почв различного гранулометрического состава по современной шкале оценочных баллов почв и проанализировать причины его изменения.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований являлись почвы Республики Беларусь, дифференцированные по гранулометрическому составу почвообразующих и подстилающих пород и их строению.

Для анализа изменения гранулометрического состава почв использованы методики, инструкции, указания по картографированию почв в Беларуси и обобщению их результатов, материалы различных туров крупномасштабного почвенного обследования сельскохозяйственных земель и результаты кадастровой оценки последних двух туров землеоценочных работ [10–14, 19–23].

Лабораторные исследования по определению гранулометрического состава дерново-палево-подзолистых почв, развивающихся на мощных лессовидных легких суглинках, проведены методом «пипетки» по Н. А. Качинскому (ГОСТ 12536-2014) [24].

Баланс фракций физической глины, а именно средней и мелкой пыли, и ила (относительного процента потери (–) и накопления (+) фракций по отношению к содержанию их в почвообразующей породе) исследуемых почв рассчитывали по формуле Б. Г. Розанова [25]:

$$\frac{A_{in} - A_{io}}{A_{io}} \cdot 100,$$

где  $A_{in}$  – процентное содержание фракции гранулометрического состава в n-ном горизонте;  $A_{io}$  – процентное содержание фракции гранулометрического состава в почвообразующей породе.

Для инвентаризации сведений о гранулометрическом составе дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв создан Банк данных (БД) (рис. 1). Систематизированные данные являются основой проведения статистических расчетов с целью получения развернутой характеристики о содержании и соотношении отдельных фракций гранулометрического состава окультуренных почв в условиях длительного сельскохозяйственного использования.

Обработка данных выполнена при помощи приложения «Анализ данных» (описательная статистика) программы EXCEL с помощью сравнительно-аналитического, аналитического методов.

D	E	F	G	I	J	P	T	V	X	Y	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	
Oblast	Region	Plant	noz	N_Pro file	Year	Soil_Ko d 2003	Horizon_1	Horizo n_1 inde	Horizon_2	Horizo n_2 Pro	Gran_2	Gran_3	Gran_4	Gran_5	Gran_6	Gran_7	Silt	Clay	
Область	Район	Форм а предп риятия	Название предприятия	Номер разреза	Год заклад ки разреза	Классиф икация почв по разрезу	Наимено вание горизонта (слоев)	Объем ачяние горнз отбора	Глубин а отбора образца	Гран состав (% 0,5 мл)	Гран состав (% 0,5-0,005-0,001)	Гран состав (% 0,01-0,005-0,001)	Гран состав (% 0,05-0,01-0,005-0,001)	Гран состав (% 0,05-0,01-0,005-0,001)	Гран состав (% 0,01-0,005-0,001)	Гран состав (% 0,005-0,001)	Соде р жидко й фа (%)	Соде р жидко й фа (%)	Соде р жидко й фа (%)
1	Минская	СПК	им. Гастелло	2А	1994	дерново-подзолистая	пахотный А <sub>1</sub>	5-15	10	0,24	0,36	18,30	59,35	6,52	5,34	9,740	21,60		
2	Минская	СПК	им. Гастелло	2А	1994	дерново-подзолистая	пахотный А <sub>2</sub>	35-40	38	0,15	0,20	22,26	57,37	7,50	4,62	7,900	20,02		
3	Минская	СПК	им. Гастелло	2А	1994	дерново-подзолистая	пахотный А <sub>1</sub>	47-52	50	0,09	0,17	22,35	54,42	5,82	3,55	13,6	22,97		
4	Минская	СПК	им. Гастелло	2А	1994	дерново-подзолистая	пахотный В <sub>1</sub>	65-75	70		0,10	19,38	55,16	3,98	4,31	17,08	25,37		
5	Минская	СПК	им. Гастелло	2А	1994	дерново-подзолистая	пахотный С	130-140	135				61,10	3,26	5,68	14,3	23,24		
6	Минская	СПК	им. Гастелло	1А	1994	дерново-подзолистая	пахотный А <sub>1</sub>	5-15	10	0,08	0,30	23,90	52,84	6,15	5,52	11,24	22,91		
7	Минская	СПК	им. Гастелло	1А	1994	дерново-подзолистая	пахотный А <sub>2</sub>	80-90	85		0,05	19,32	55,16	4,48	4,15	16,84	25,47		
8	Минская	СПК	им. Гастелло	1А	1994	дерново-подзолистая	пахотный В <sub>1</sub>	80-90	85		0,05	18,15	57,60	3,92	4,36	15,92	24,20		
9	Минская	СПК	им. Гастелло	1А	1994	дерново-подзолистая	пахотный С	150-160	155			17,45	61,32	2,65	5,82	13,76	21,23		
10	Минская	СПК	им. Гастелло	2М	2000	дерново-подзолистая	пахотный А <sub>1</sub>	5-10	8			14,78	63,22	7,22	8,26	7,52	23,00		
11	Минская	СПК	им. Гастелло	2М	2000	дерново-подзолистая	пахотный А <sub>2</sub>	20-25	23			14,96	61,22	8,15	8,72	6,95	23,82		
12	Минская	СПК	им. Гастелло	2М	2000	дерново-подзолистая	пахотный В <sub>1</sub>	30-40	35			15,52	63,43	6,43	7,84	6,78	21,05		
13	Минская	СПК	им. Гастелло	2М	2000	дерново-подзолистая	пахотный В <sub>2</sub>	60-70	65			5,34	64,16	4,60	8,10	17,80	30,50		
14	Минская	СПК	им. Гастелло	2М	2000	дерново-подзолистая	пахотный В <sub>3</sub>	85-95	90			9,76	64,37	3,18	6,33	16,36	25,87		
15	Минская	СПК	им. Гастелло	2М	2000	дерново-подзолистая	пахотный ВС	130-140	135			10,40	59,80	3,36	8,24	18,20	29,80		
16	Минская	СПК	им. Гастелло	1М	2000	дерново-подзолистая	пахотный А <sub>1</sub>	5-10	8			14,70	61,93	8,04	7,50	7,83	23,37		
17	Минская	СПК	им. Гастелло	1М	2000	дерново-подзолистая	пахотный А <sub>2</sub>	20-25	23			15,32	64,18	7,00	7,12	6,68	20,50		
18	Минская	СПК	им. Гастелло	1М	2000	дерново-подзолистая	пахотный А <sub>3</sub>	35-45	40			14,46	65,78	6,32	4,34	11,10	21,76		
19	Минская	СПК	им. Гастелло	1М	2000	дерново-подзолистая	пахотный А <sub>1</sub>	5-10	8			9,32	64,18	4,95	4,73	16,82	26,50		
20	Минская	СПК	им. Гастелло	1М	2000	дерново-подзолистая	пахотный В <sub>1</sub>	75-85	80			11,36	62,54	3,18	6,22	16,70	26,10		
21	Минская	СПК	им. Гастелло	1М	2000	дерново-подзолистая	пахотный В <sub>2</sub>	130-140	135			16,76	59,77	7,35	7,70	8,42	23,47		
22	Минская	СПК	им. Гастелло	3М	2000	дерново-подзолистая	пахотный А <sub>1</sub>	20-25	23			16,84	58,85	7,62	8,35	8,34	24,31		
23	Минская	СПК	им. Гастелло	3М	2000	дерново-подзолистая	пахотный А <sub>2</sub>	35-45	40			17,38	57,74	8,68	8,10	8,10	24,88		
24	Минская	СПК	им. Гастелло	3М	2000	дерново-подзолистая	пахотный А <sub>3</sub>	60-70	65			11,80	60,82	6,90	5,68	14,80	27,38		
25	Минская	СПК	им. Гастелло	3М	2000	дерново-подзолистая	пахотный В <sub>1</sub>	85-95	90			7,23	61,65	5,82	6,02	19,28	31,12		
26	Минская	СПК	им. Гастелло	3М	2000	дерново-подзолистая	пахотный В <sub>2</sub>	130-140	135			4,82	62,54	5,30	7,84	19,50	32,64		
27	Могилев	СПК	Знамя труда	13	2017	дерново-подзолистая	пахотный А <sub>1</sub>	5-15	10		1	9	69,7	7,2	7,2	5,9	20,3		
28	Могилев	СПК	Знамя труда	13	2017	дерново-подзолистая	пахотный А <sub>2</sub>	19-30	28		1	19,8	58,3	5,6	8,4	6,9	20,9		
29	Могилев	СПК	Знамя труда	13	2017	дерново-подзолистая	пахотный В <sub>1</sub>	55-65	60			13,5	58,8	5,2	5,7	16,8	27,7		
30	Могилев	СПК	Знамя труда	13	2017	дерново-подзолистая	пахотный В <sub>2</sub>	75-85	80			14,6	60	2,9	5,4	17,1	25,4		
31	Могилев	СПК	Знамя труда	13	2017	дерново-подзолистая	пахотный В <sub>3</sub>	95-105	100			22,8	54,2	0,8	6,3	15,9	23		
32	Могилев	Горещки	БГСХА	21А	1997	Агрозоны	пахотный А <sub>1</sub>	5-10	8			21,3	58,6	1,2	6,8	12,1	20,1		
33	Могилев	Горещки	БГСХА	21А	1997	Агрозоны	пахотный А <sub>2</sub>	25-30	28				5,25	6,78	10,86	22,89			
34	Могилев	Горещки	БГСХА	21А	1997	Агрозоны	пахотный А <sub>3</sub>	32-37	35				10,9	13,6	16,5	41			
35	Могилев	Горещки	БГСХА	21А	1997	Агрозоны	пахотный В <sub>1</sub>	50-55	53				5,01	6,05	8,73	19,79			
36	Могилев	Горещки	БГСХА	21А	1997	Агрозоны	пахотный В <sub>2</sub>	75-80	78				2,69	4,12	7,76	14,57			
37	Могилев	Горещки	БГСХА	21А	1997	Агрозоны	пахотный В <sub>3</sub>	150-160	155				0,83	5,07	5,03	10,93			
38	Могилев	Горещки	БГСХА	21А	1997	Агрозоны	почвооб С						5,28	19	37,4	61,68			

Рис. 1. Фото фрагмента Банка данных гранулометрического состава дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв Беларуси

При проведении кадастровой оценки земель гранулометрический состав (как наиболее стабильная характеристика) учитывается посредством шкалы оценочных баллов. В современной шкале баллов по гранулометрическому составу почвообразующих и подстилающих пород и строению почвенного профиля в каждом типе минеральных автоморфных и временно избыточно увлажненных (слабоглевеватых) почв выделяются почвенные разновидности, представленные в таблице 1 (всего 18 почвенных разновидностей) [16]. Здесь же приведена и их относительная оценка в оптимальном состоянии (т. е. исходный балл).

Таблица 1

**Фрагмент шкалы оценочных баллов дерново-подзолистых автоморфных почв в зависимости от их гранулометрического состава\***

Почвенная разновидность	Исходный балл (средний балл по пахотным землям)
Глинистые и тяжелосуглинистые	56,6
Средне- и легкосуглинистые, связносупесчаные, подстилаемые глинами и тяжелыми суглинками с глубины до 0,5 м	62,8
Средне- и легкосуглинистые:	
мощные	72,3
с прослойкой песка на глубине до 0,5 м	60,4
с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м	66,3
подстилаемые песками с глубины до 1 м	56,2
Связносупесчаные:	
мощные и подстилаемые легкими и средними суглинками	68,6
подстилаемые суглинками с прослойкой песка на контакте на глубине до 0,5 м	54,4
подстилаемые суглинками с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м	61,7
подстилаемые песками с глубины до 1 м	48,9
Рыхлосупесчаные:	
подстилаемые связными породами с глубины до 1 м	55,9
подстилаемые связными породами с прослойкой песка на контакте на глубине до 0,5 м	46,5
подстилаемые связными породами с прослойкой песка на глубине 0,5–1,0 м	51,8
подстилаемые песками	42,7
Связнопесчаные:	
подстилаемые связными породами с глубины до 1 м	45,5
мощные и переходящие в рыхлые	30,2
Рыхлопесчаные:	
подстилаемые связными породами с глубины до 1 м	32,5
мощные	20,0

\* В полной шкале приводятся также баллы под все основные сельскохозяйственные культуры, возделываемые в Беларуси (16 культур или их групп), баллы для улучшенных и естественных луговых земель и некоторые дополнительные данные, необходимые для расчета других показателей кадастровой оценки.

Из таблицы видно, что в условиях республики плодородие почв напрямую связано с их гранулометрическим составом. Общая оценка дерново-подзолистых почв пахотных земель в зависимости от гранулометрического состава колеблется

от 72,3 балла для мощных легких и средних суглинков до 20 баллов для мощных рыхлых песков. Плодородие самой лучшей почвы по гранулометрическому составу в типе дерново-подзолистых автоморфных почв в 3,6 раза выше, чем самой плохой (низкоплодородной) почвы.

Исходя из этих почвенных разновидностей, с последующим объединением в более крупные группы, проведено обобщение и анализ данных по гранулометрическому составу почв материалов трех туров почвенного обследования и двух туров кадастровой оценки сельскохозяйственных земель. Особое внимание уделено современному состоянию пахотных земель по гранулометрическому составу почв и его изменению между первым и вторым туром кадастровой оценки, которые опубликованы в книге «Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика» [23].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Все результаты обобщения гранулометрического состава почв в целом по Беларуси и его изменение (динамика) по турам почвенного обследования и кадастровой оценки приведены в таблице 2.

Таблица 2

### Изменение гранулометрического состава почв пахотных земель Беларуси по турам почвенного обследования и кадастровой оценки, %

Гранулометрический состав почв	Тур почвенного обследования (годы проведения)			Тур кадастровой оценки (годы проведения)	
	I* (1958–1964)	II** (1968–1986)	III** (1988–2000)	I (1992–1998)	II (2009–2016)
Глинистые и суглинистые	41,4	25,6	22,4	22,4	17,8
Супесчаные	40,4	48,1	50,0	50,0	54,2
Песчаные	12,2	20,1	21,9	21,9	22,3
Торфяные	6,0	5,8	4,9	4,9	4,3
Торфяно-минеральные	–	0,4	0,8	0,8	1,4

\* Гранулометрический состав по методу А. Н. Сабанина.

\*\* Гранулометрический состав по методу Н. А. Качинского.

Если по материалам первого тура почвенного обследования площадь суглинистых и глинистых почв составляла 41,4 %, супесчаных – 40,4 %, песчаных – 12,2 %, то по материалам второго тура площадь суглинистых почв составила 25,6 %, супесчаных – 48,1 %, песчаных – 20,1 %. Такое значительное уменьшение площадей суглинистых почв (и увеличение супесчаных и песчаных) связано с тем, что при проведении первого тура почвенного обследования для установления гранулометрического состава использовался метод А. Н. Сабанина, а при проведении второго и третьего туров – метод Н. А. Качинского, который несколько облегчает гранулометрический состав почв [10, 11, 26]. В этот период в республике широко развернулись работы по мелиорации заболоченных и болотных почв, при почвенном картографировании начали выделяться торфяно-минеральные почвы (торфяно-песчаные, торфяно-супесчаные, торфяно-суглинистые). Поэтому общая площадь их (торфяных и торфяно-ми-

неральных) несколько увеличилась и составила 6,2 %, в том числе торфяно-минеральных – 0,4 %.

В последующие годы наблюдалась тенденция постепенного уменьшения площадей суглинистых и торфяных почв, и увеличения площадей супесчаных, песчаных и торфяно-минеральных почв, хотя эти изменения в это время происходили не так резко. По первому туру кадастровой оценки сельскохозяйственных земель в Беларуси, который обобщил материалы третьего тура почвенного обследования (или же корректировки материалов второго тура почвенного обследования), площадь суглинистых почв составила 22,4 %, супесчаных – 50,0 % и песчаных – 21,9 % [14]. Эти данные на протяжении длительного времени использовались для характеристики почвенного покрова республики, агропроизводственной группировки почв по пригодности под сельскохозяйственные культуры, решения других вопросов повышения производительной способности почв и эффективного использования удобрений [27–29].

Начиная с 2005 г. в Беларуси начали проводиться работы по корректировке почвенных материалов осушенных и прилегающих к ним земель, что также повлияло на соотношение минеральных почв различного гранулометрического состава, торфяных и торфяно-минеральных почв [22, 30]. И в настоящее время (по материалам II тура кадастровой оценки) в целом по республике суглинистые и глинистые почвы занимают 17,8 %, супесчаные – 54,2 %, песчаные – 22,3 %, торфяные – 4,3 %, торфяно-минеральные – 1,4 % от площади обследованных и оцениваемых земель. По сравнению с предыдущим туром кадастровой оценки площадь суглинистых почв уменьшилась на 4,6 %, а супесчаных и песчаных увеличилась на 4,2 и 0,4 % соответственно; торфяных уменьшилась на 0,6 %, а торфяно-минеральных увеличилась на те же 0,6 % [23].

Ввиду различия природных условий в разных регионах страны, по областям наблюдаются очень большие различия в площадях почв того или иного гранулометрического состава. Распределение почв пахотных земель по гранулометрическому составу в разрезе областей приведено в таблице 3 с точностью до 0,01 % (чтобы учесть отдельные разновидности в некоторых областях, которые занимают небольшие площади (0,01–0,02 %)).

В настоящее время в целом по республике наибольшие площади занимают рыхлосупесчаные почвы (32,38 %). Причем в Гродненской области их площадь достигает 63,87 %. На втором месте идут связносупесчаные почвы – 21,86 %, среди областей – максимальные площади их в Витебской (35,24 %), минимальные – в Брестской (8,60) %. Всего супесчаных почв (связных и рыхлых) в Беларуси 54,24 %, в том числе в Гродненской области 81,44 %. Почти столько же, как связносупесчаные, составляют и связнопесчаные почвы – 21,62 %, максимальные площади этих почв в Гомельской (50,14 %) и Брестской (43,42 %) областях, минимальные – в Витебской (6,21 %) и Могилевской (8,96 %). И только 4-е место занимают суглинистые и глинистые почвы (всего 17,84 %), среди которых преобладают легкосуглинистые – 16,88 %. Наибольшие площади суглинистых и глинистых почв в Витебской (40,27 %) и Могилевской (35,40 %) областях, наименьшие – в Гомельской (1,81 %), Гродненской (2,91 %) и Брестской (3,02 %) областях. Большие площади торфяных почв в Брестской (8,73 %), Гомельской (7,35 %) и Минской областях (6,72 %) и торфяно-минеральных – также в этих областях (3,00 %, 1,69 % и 2,13 % соответственно).

Таблица 3

**Распределение почв пахотных земель по гранулометрическому составу по областям (по материалам 2-го тура кадастровой оценки), %**

Область	Глинистые и тяжелосуглинистые	Среднесуглинистые	Легкосуглинистые	Связно-супесчаные	Рыхло-супесчаные	Связнопесчаные	Рыхлопесчаные	Торфяные	Торфяно-минеральные
Брестская	0,02	0,24	2,76	8,60	29,79	43,42	3,44	8,73	3,00
Витебская	1,81	3,12	35,34	35,24	16,13	6,21	0,06	1,47	0,62
Гомельская	0,00	0,11	1,70	10,60	27,74	50,14	0,67	7,35	1,69
Гродненская	0,23	0,06	2,62	17,57	63,87	15,00	0,12	0,30	0,23
Минская	0,01	0,07	19,38	28,28	30,74	12,53	0,14	6,72	2,13
Могилевская	0,00	0,00	35,40	25,77	29,23	8,96	0,00	0,45	0,19
<b>Республика Беларусь</b>	<b>0,35</b>	<b>0,61</b>	<b>16,88</b>	<b>21,86</b>	<b>32,38</b>	<b>21,62</b>	<b>0,66</b>	<b>4,29</b>	<b>1,35</b>

Однако изменения гранулометрического состава как для отдельных разновидностей, так и по областям характеризуется различными величинами, причем часто направленными в противоположные стороны (увеличение или уменьшение площадей). Такие изменения, произошедшие за последние 15–20 лет (между 1 и 2 турами кадастровой оценки) представлены в таблице 4 [23].

Таблица 4

**Динамика площадей почв пахотных земель различного гранулометрического состава по областям (по турам кадастровой оценки), %**

Почвы	Тур оценки	Республика Беларусь	Области					
			Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
Всего	1	100	100	100	100	100	100	100
	2	100	100	100	100	100	100	100
	<b>±</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Глинистые и тяжелосуглинистые	1	0,49	0,01	2,28	0,02	0,43	0,02	0,01
	2	0,35	0,02	1,81	0	0,23	0,01	0
	<b>±</b>	<b>-0,14</b>	<b>+0,01</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,02</b>	<b>-0,20</b>	<b>-0,01</b>	<b>-0,01</b>
Среднесуглинистые	1	1	0,25	4,66	0,25	0,12	0,24	0,03
	2	0,61	0,24	3,12	0,11	0,06	0,07	0
	<b>±</b>	<b>-0,39</b>	<b>-0,01</b>	<b>-1,54</b>	<b>-0,14</b>	<b>-0,06</b>	<b>-0,17</b>	<b>-0,03</b>
Легкосуглинистые	1	20,93	2,27	45,18	3,11	3,15	24,24	36,36
	2	16,88	2,76	35,34	1,7	2,62	19,38	35,4
	<b>±</b>	<b>-4,05</b>	<b>+0,49</b>	<b>-9,84</b>	<b>-1,41</b>	<b>-0,53</b>	<b>-4,86</b>	<b>-0,96</b>
Связносупесчаные	1	20,93	9,08	27,94	13,76	21,58	24,12	24,67
	2	21,87	8,6	35,24	10,6	17,57	28,28	25,77
	<b>±</b>	<b>+0,94</b>	<b>-0,48</b>	<b>+7,30</b>	<b>-3,16</b>	<b>-4,01</b>	<b>+4,16</b>	<b>+1,10</b>

Почвы	Тип оценки	Республика Беларусь	Области					
			Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
Рыхлосупесчаные	1	29,12	28,42	11,29	22,36	59,2	30	27,96
	2	32,38	29,79	16,13	27,74	63,87	30,74	29,22
	±	<b>+3,26</b>	<b>+1,37</b>	<b>+4,84</b>	<b>+5,38</b>	+4,67	+0,74	+1,26
Связнопесчаные	1	20,87	41,67	6,55	50,31	14,95	12,12	10,14
	2	21,62	43,42	6,21	50,14	15	12,53	8,96
	±	<b>+0,75</b>	<b>+1,75</b>	<b>-0,34</b>	<b>-0,17</b>	<b>+0,05</b>	<b>+0,41</b>	<b>-1,18</b>
Рыхлопесчаные	1	0,98	4,85	0,13	1,24	0,22	0,25	0,08
	2	0,66	3,44	0,06	0,67	0,12	0,14	0
	±	<b>-0,32</b>	<b>-1,41</b>	<b>-0,07</b>	<b>-0,57</b>	<b>-0,10</b>	<b>-0,11</b>	<b>-0,08</b>
Торфяные	1	4,88	11,01	1,58	8,1	0,35	7,86	0,65
	2	4,29	8,73	1,47	7,35	0,3	6,72	0,45
	±	<b>-0,59</b>	<b>-2,28</b>	<b>-0,11</b>	<b>-0,75</b>	<b>-0,05</b>	<b>-1,14</b>	<b>-0,20</b>
Торфяно-минеральные	1	0,79	2,44	0,39	0,76	0	1,15	0,1
	2	1,35	3	0,62	1,69	0,23	2,13	0,19
	±	<b>+0,56</b>	<b>+0,56</b>	<b>+0,23</b>	<b>+0,93</b>	<b>+0,23</b>	<b>+0,98</b>	<b>+0,09</b>

*Примечание.* «+» – увеличение удельного веса соответствующих почв в составе пахотных земель; «-» – уменьшение удельного веса соответствующих почв в составе пахотных земель.

Из таблицы 4 видно, что площади всех суглинистых и глинистых почв, а также рыхлопесчаных и торфяных уменьшились как в целом по республике, так и по всем областям (за исключением Брестской). Площади же рыхлосупесчаных и торфяно-минеральных почв, наоборот, увеличились по всем областям и в среднем по республике. Для связносупесчаных почв изменение площадей по областям колеблется от +7,3 % до -4,01 %, для связнопесчаных – от +1,75 % до -1,18 %.

Что касается отдельных областей, то наибольшие изменения произошли в Витебской области, где площадь легкосуглинистых почв уменьшилась на 9,84 %, а связносупесчаных увеличилась на 7,30 % и рыхлосупесчаных – на 4,84 %. В Минской области площадь легкосуглинистых почв также уменьшилась на 4,86 %, а связносупесчаных увеличилась на 4,16 %. В Гомельской области увеличилась площадь рыхлосупесчаных почв на 5,38 %, а уменьшилась – связносупесчаных на 3,16 %. В Гродненской области также увеличилась площадь рыхлосупесчаных почв на 4,67 %, а связносупесчаных уменьшилась на 4,01 %. В Брестской области в составе минеральных почв не произошло существенных изменений гранулометрического состава (от +1,75 % до -1,41 %), однако площадь торфяных почв уменьшилась на 2,28 %. Наибольшее увеличение площадей торфяно-минеральных почв отмечено в Гомельской (на 0,93 %) и Минской областях (на 0,98 %).

В Могилевской области самые небольшие изменения гранулометрического состава почв (от +1,26 % до –1,18 %).

Изменение гранулометрического состава почв объясняется рядом субъективных и объективных причин, которые можно объединить в следующие основные группы:

1. Новое почвенное обследование или корректировка материалов почвенного обследования; некоторые изменения и уточнения методик и инструкций по картографированию, методов анализа почв; уточнение классификационной принадлежности почв.

Так, согласно имеющимся данным, между вторым и третьим турами почвенных обследований за период с 1979 по 2001 г. произошли значительные изменения в компонентном составе почв пахотных земель республики: снизился удельный вес дерново-карбонатных (–0,2 %), дерново-подзолистых (–13,4 %), аллювиальных дерновых и дерновых заболоченных (–0,7 %) и торфяных (–0,8 %) почв и увеличился удельный вес дерново-подзолистых заболоченных (+12,6 %), дерновых заболоченных (+1,0 %) и антропогенно-преобразованных почв (+1,5 %). За этот же временной интервал снизился удельный вес пахотных почв средне- и легкосуглинистого гранулометрического состава (–16,1 %) и увеличился удельный вес глинистых и тяжелосуглинистых (+0,8 %), супесчаных (+8,1 %) и песчаных (+7,2 %) почв пахотных земель. Такая же тенденция наблюдается и в изменении площадей пахотных дерново-подзолистых почв республики различного гранулометрического состава: снизился удельный вес глинистых и суглинистых почв (–20,5 %) и увеличился, в свою очередь, супесчаных (+9,6 %) и песчаных (+10,9 %) почв.

Аналогичная тенденция отмечается и согласно данным динамики площадей почв пахотных земель различного гранулометрического состава (по данным туров кадастровой оценки) (табл. 4). Так, в целом по республике произошло снижение удельного веса почв глинистого и тяжелосуглинистого гранулометрического состава (–0,14 %), средне- и легкосуглинистого (–0,39 и –4,05 % соответственно), рыхлопесчаного (–0,32 %) и торфяных почв (–0,59 %) и увеличились площади связно- и рыхлосупесчаных (+0,94 и + 3,26 % соответственно), связнопесчаных (+0,75 %) и торфяно-минеральных (+0,56 %) почв.

2. Оптимизация земель: перераспределение земель по видам и категориям, перевод одних видов земель в другие, вывод из состава пахотных земель низкоплодородных участков; изъятие из состава сельскохозяйственных земель участков для нужд строительства, транспорта и др.

Необходимость проведения оптимизации землепользования в Беларуси была определена Постановлением Совета Министров РБ от 20 января 2000 г. № 79 «О мерах по эффективному использованию земель сельскохозяйственного назначения» и от 13 ноября 2001 г. № 1653 «О дополнительных мерах по реализации программы совершенствования агропромышленного комплекса РБ на 2001–2005 гг., одобренных указом Президента РБ от 14 мая 2001 г. № 256».

Одной из задач оптимизации землепользования являлось рациональное размещение сельскохозяйственных культур в агроландшафтах в соответствии с их агроэкологическими требованиями. Вывод из активного оборота (из пахотных земель) низкокачественных малопродуктивных участков в республике по результатам I тура кадастровой оценки составил около 750 тыс. га. Преобла-

дающее направление дальнейшего использования этих земель – улучшенные сенокосы и пастбища, а 205 тыс. га из общей площади сельскохозяйственных земель было переведено в неиспользуемые земли – под залесение. Это были преимущественно дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные почвы рыхлопесчаного гранулометрического состава.

3. Несоблюдение технологических регламентов обработки почв: припахивание нижележащего элювиального горизонта другого гранулометрического состава, чаще всего более легкого.

При вспашке с оборотом пласта различные по свойствам генетические горизонты и подгоризонты срезаются на глубину вспашки и перемешиваются, в результате чего создается пахотный горизонт с припашками элювиального горизонта. При наличии в почвенном профиле дерново-подзолистых и дерново-подзолистых заболоченных почв преимущественно средне- и легкосуглинистого и связносупесчаного гранулометрического состава рыхлосупесчаных или связнопесчаных прослоек, а также залегания подстилающей породы такого же гранулометрического состава на глубине 0,3–0,5 м, при систематической обработке почв к пахотному горизонту припахиваются элювиальные и иллювиальные горизонты легкого гранулометрического состава с последующим снижением в нем содержания физической глины и увеличения фракций мелкого песка и крупной пыли. Это приводит к процессу облегчения гранулометрического состава пахотных горизонтов почв (рис. 2).



*Рис. 2.* Припашка элювиального горизонта рыхлопесчаного гранулометрического состава на поверхности связносупесчаного пахотного горизонта (Минский район, 2016 г.)

Например, в почвенном покрове пахотных земель Пуховичского района, интенсивно используемом в сельскохозяйственном производстве, легкосуглинистые разновидности перешли в градацию пылевато-песчанистых супесей. По результатам второго тура почвенного обследования суглинистые почвы в составе пахотных земель района занимали 36,8 %, а третьего тура – 13,8 % (рис. 3).

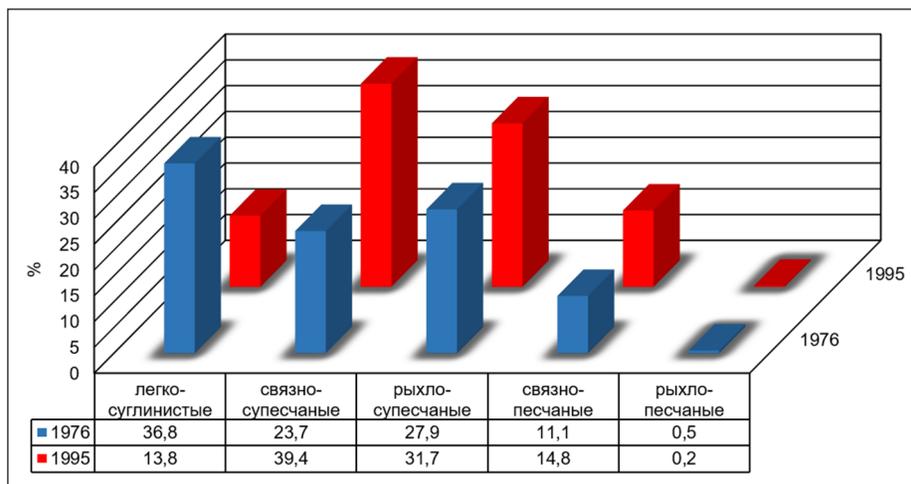


Рис. 3. Изменение гранулометрического состава дерново-подзолистых почв пахотных земель Пуховичского района (по материалам подсчета площадей почв II и III туров обследования)

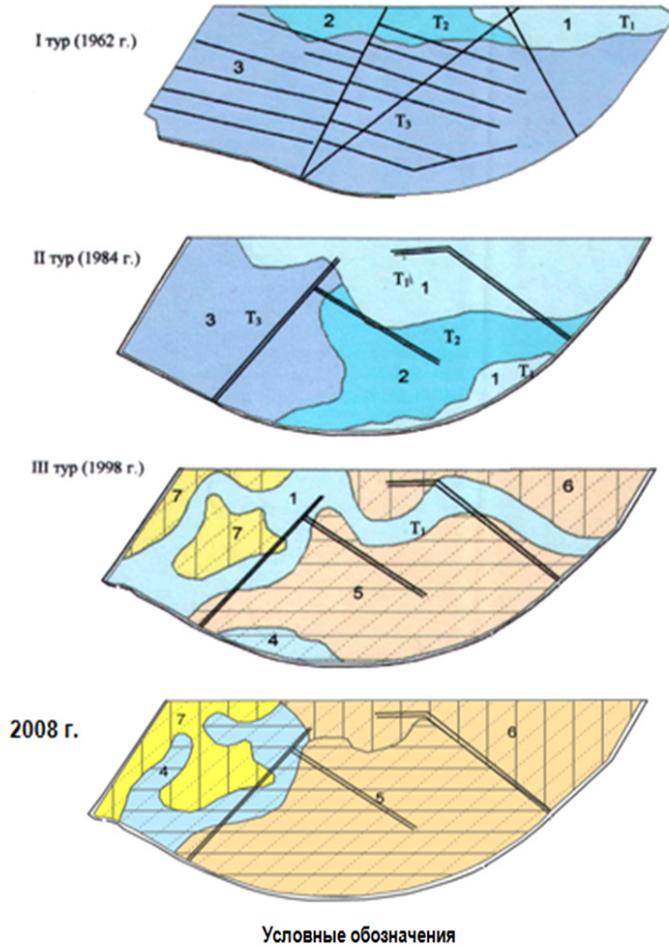
4. Интенсивное использование торфяных маломощных почв ведет к потерям органического вещества, его минерализации, формированию деградированных почв рыхлосупесчаного и связнопесчаного гранулометрического состава (рис. 4).

Данные сравнительного анализа показывают, что если при первом туре почвенного картографирования вся территория рабочего участка была представлена торфяно-болотными почвами с различной мощностью торфяной залежи (8,7 % – торфянисто-глеевые, 9,1 % – торфяно-глеевые и 82,2 % – торфяные маломощные иногда среднемощные), то при повторном обследовании через 22 года торфяные мало- и среднемощные почвы занимали всего около 35 % площади, 65 % приходилось на торфянисто- и торфяно-глеевые. Третий тур почвенных обследований показал, что данный объект только на 30% представлен торфянисто-глеевыми почвами, а 70 % территории занимают почвы, образовавшиеся в результате сработки торфа: деградированные (торфяно-минеральные с содержанием органического вещества (ОВ) 50–20,1 %, минеральные остаточные торфяные с содержанием ОВ 20–5,1 % и минеральные постторфяные с содержанием ОВ менее 5 %).

Результаты почвенного картографирования 2008 г. показали, что данная территория на 100% состоит из деградированных почв с различным содержанием ОВ.

Агроторфяной горизонт торфяной маломощной почвы характеризуется четкой обособленностью от остальной части торфяной залежи, темноокрашен, имеет непрочную комковатую структуру. В результате антропогенной трансформации образовавшийся агроторфяно-минеральный горизонт деградированных почв, представляет собой преимущественно смесь органического вещества и рыхлых песчаных отложений. В силу преобразования песчаных зерен водными потоками, возможностей для механического закрепления органических частиц на их поверхности нет, и в деградированных почвах поверхностный агроторфяно-минеральный горизонт представляет собой механическую смесь обособленных органических и минеральных частиц, не связанных друг с другом и легко отделяющихся друг от друга. Деградированные минеральные остаточные-торфяные и минеральные пост-

торфяные почвы относятся преимущественно к связнопесчаному и рыхлопесчаному гранулометрическому составу. В республике отмечается тенденция к увеличению площадей таких низкоплодородных почв в составе сельскохозяйственных земель, особенно в Южной провинции [30].



1. Торфянисто-глиевые почвы, подстилаемые с глубины 0,2-0,3 м рыхлыми песками ( $T_3$ ).
2. Торфяно-глиевые почвы, подстилаемые с глубины 0,3-0,5 м рыхлыми песками, ( $T_2$ ).
3. Торфяные маломощные почвы на осоково-тростниковых торфах, подстилаемые с глубины 0,5-1,0 м рыхлыми песками ( $T_3$ ).
4. Деградированные торфяно-минеральные (с содержанием  $OB$  50,0-20,1%) почвы, подстилаемые с глубины 0,3-0,4 м рыхлыми песками.
5. Деградированные минеральные остаточно-торфяные (с содержанием  $OB$  20,0-5,1%) рыхлосупесчаные почвы, подстилаемые с глубины 0,2-0,3 м рыхлыми песками.
6. Деградированные минеральные постторфяные (с содержанием  $OB \leq 5,0\%$ ), рыхлосупесчаные почвы, подстилаемые с глубины 0,2-0,3 м рыхлыми песками.
7. Деградированные минеральные постторфяные связнопесчаные (с содержанием  $OB \leq 5,0\%$ ) связнопесчаные почвы, сменяемые с глубины 0,2-0,3 м рыхлыми песками.

*Рис. 4.* Трансформация компонентного состава почвенного покрова осушенных торфяных почв (фрагмент почвенной карты КСУП «Оборона страны» Речицкого района Гомельской области по данным I, II, III туров обследования и корректировки)

5. Вовлечение почв в длительное сельскохозяйственное использование вызывает изменения наиболее ценной составляющей гранулометрического состава, определяющей их плодородие – количественного содержания фракций физической глины (средней и мелкой пыли, и ила) и их соотношения [17, 18].

С использованием метода баланса установлено распределение данных фракций относительно их содержания в почвообразующей породе (С) для дерново-палево-подзолистых почв легкосуглинистого гранулометрического состава, занимающих 14 % пахотных земель Беларуси и являющихся одними из самых плодородных (балл бонитета составляет 72,3) и наиболее интенсивно используемых в сельскохозяйственном производстве [14, 16]. Выявлено, что по содержанию физической глины наблюдается отрицательный баланс по всему профилю с наибольшими потерями частиц в горизонте  $A_2$  –  $-29,5$  % и уменьшением отрицательных значений с глубиной до минимальных в горизонте  $B_{2t}$  –  $-11,8$  %, где содержание данных фракций наибольшее. По содержанию средней и мелкой пыли отмечаются разнонаправленные изменения: положительный баланс характерен для верхней части профиля с наибольшим накоплением в горизонте  $A_n$  –  $+29,6$  % и отрицательный в нижней части профиля с наибольшими потерями в горизонте  $B_{2t}$  –  $-15,7$  %, причем с увеличением глубины потери пыли снижаются (табл. 5).

Таблица 5

**Баланс фракций физической глины пахотных дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв, %**

Генетический горизонт	Глубина отбора образца, см	< 0,01мм	0,01–0,001 мм	< 0,001 мм
$A_n$ ( $n = 70$ )	5–25	–22,9	+29,6	–54,7
$A_2$ ( $n = 24$ )	30–40	–29,5	+17,6	–58,0
$A_2B_1$ ( $n = 16$ )	45–55	–22,2	+6,5	–39,8
$B_{2t}$ ( $n = 61$ )	60–85	–11,8	–15,7	–10,5
$B_3C$ ( $n = 46$ )	95–110	–20,1	–13,9	–24,3

Среди фракций гранулометрического состава наиболее важное значение для плодородия почв имеет илистая, отвечающая за содержание органического вещества. Согласно имеющимся данным [17, 18], при вовлечении дерново-подзолистых почв в сельскохозяйственное производство усиливается процесс обезыливания пахотных горизонтов. Именно илистые частицы неустойчивы и наиболее миграционно способны, а интенсивная антропогенная нагрузка на почву активизирует их миграцию из пахотного горизонта в нижележащие иллювиальные, что находит отражение в перераспределении ила по профилю почвы и, таким образом, приводит к процессу «облегчения» гранулометрического состава. Согласно результатам исследований В. В. Канева [31], глубокая вспашка дерново-подзолистой почвы (на глубину 30–40 см) способствует активизации элювиальных процессов в пахотном и нижележащем слоях почвы, а также смещению горизонта накопления ила вниз по профилю – на глубину 70–110 см.

Из таблицы 5 видно, что в пахотных дерново-палево-подзолистых почвах наблюдается отрицательный баланс ила во всей метровой толще с максимумом на глубине 30–40 см ( $-58,0$  %) и постепенным уменьшением отрицательных значе-

ний с глубиной и некоторым возрастанием в горизонте В<sub>3</sub>С. Необходимо отметить, что в верхнем 0–40 см слое значения баланса ила практически равны, колебания не превышают 4 %, т. е. для пахотных почв характерно отсутствие дифференциации профиля по илу и увеличение элювиальной части профиля, в данном случае, вплоть до метровой глубины.

Таким образом, имеющиеся научные данные свидетельствуют о преобразовании такой характеристики почв, как гранулометрический состав, который в условиях нашей страны является одним из главнейших факторов, определяющих почвенное плодородие. Исследования по изучению гранулометрического состава относятся к числу наиболее важных и труднорегулируемых и являются актуальными, так как данные по гранулометрическому составу почв используются для характеристики почвенного покрова республики, агропроизводственной группировки почв по степени пригодности под культуры, оценки сельскохозяйственных земель, при решении вопросов повышения производительной способности почв и эффективного использования удобрений.

## ВЫВОДЫ

1. Гранулометрический состав почв в условиях Беларуси является одним из основных факторов, определяющих плодородие почв. Поэтому, согласно существующим методикам, в республике при проведении крупномасштабных почвенных обследований на почвенных картах с достаточной полнотой отражается гранулометрический состав почвообразующих и подстилающих пород, их строение, определяются площади почв различного гранулометрического состава, обобщаются и анализируются, а при проведении землеоценочных работ гранулометрический состав тщательно учитывается в оценочных шкалах. Всего в республике проведено четыре этапа крупномасштабного картографирования почв (I тур, II тур, III тур (корректировка материалов II тура), корректировка осушенных земель) и пять туров оценки (три тура бонитировки и качественной оценки и два тура кадастровой оценки).

2. В настоящее время в составе пахотных земель республики суглинистые и глинистые почвы занимают 17,8 %, супесчаные – 54,2 %, песчаные – 22,3 %, торфяные – 4,3 % и торфяно-минеральные – 1,4 %. На протяжении всего периода крупномасштабных почвенных обследований в Беларуси наблюдается тенденция постепенного уменьшения площадей суглинистых и торфяных почв и увеличения площадей супесчаных, песчаных и торфяно-минеральных почв.

3. Основными причинами изменения гранулометрического состава почв являются: уточнение компонентного состава почв в результате повторного обследования и корректировок почвенных материалов; оптимизация земель; несоблюдение технологических регламентов обработки почв; интенсивное использование торфяных маломощных почв с последующим формированием дегроторфяных почв связнопесчаного и рыхлопесчаного гранулометрического состава; перераспределение фракций гранулометрического состава в почвах.

В результате анализа этих причин установлено, что за период с 1979 по 2001 г. (II и III туры почвенного обследования) произошли значительные изменения в компонентном составе почв пахотных земель республики: снизился удель-

ный вес дерново-карбонатных (–0,2 %), дерново-подзолистых (–13,4 %), аллювиальных дерновых и дерновых заболоченных (–0,7 %) и торфяных почв (–0,8 %) и увеличился удельный вес дерново-подзолистых заболоченных (+12,6 %), дерновых заболоченных (+1,0 %) и антропогенно-преобразованных почв (+1,5 %). За этот же временной интервал снизился удельный вес пахотных почв средне- и легкосуглинистого гранулометрического состава (–16,1 %) и увеличился удельный вес глинистых и тяжелосуглинистых (+0,8 %), супесчаных (+8,1 %) и песчаных (+7,2 %) почв. Такая же тенденция наблюдается и в изменении площадей пахотных дерново-подзолистых почв: снизился удельный вес глинистых и суглинистых (–20,5 %) и увеличился, в свою очередь, супесчаных (+9,6 %) и песчаных (+10,9 %) почв. Аналогичная тенденция отмечается и согласно данным динамики площадей почв пахотных земель различного гранулометрического состава (II и III туры кадастровой оценки): в целом по республике произошло снижение удельного веса почв глинистого и суглинистого гранулометрического состава (–4,58 %), рыхлопесчаного (–0,32 %) и торфяных почв (–0,59 %) и увеличились площади супесчаных (+4,20 %), связнопесчаных (+0,75 %) и торфяно-минеральных (+0,56 %) почв.

В результате работ по оптимизации земель из активного оборота выведено 750 тыс. га низкокачественных малопродуктивных участков пахотных земель преимущественно дерново-подзолистых и дерново-подзолистых заболоченных почв рыхлопесчаного гранулометрического состава для использования этих земель в качестве улучшенных сенокосов и пастбищ и под залесение.

Несоблюдение технологических регламентов обработки почв средне- и легкосуглинистого и связносупесчаного гранулометрического состава способствует припашке к пахотному горизонту элювиальных и иллювиальных горизонтов легкого гранулометрического состава (рыхлосупесчаных или связнопесчаных) с последующим снижением в нем содержания физической глины (и особенно ила) и увеличением фракций мелкого песка и крупной пыли, что способствует перераспределению фракций по профилю почвы и, таким образом, приводит к процессу «облегчения» гранулометрического состава пахотных горизонтов почв.

Трансформация торфяных маломощных почв в результате их длительного сельскохозяйственного использования деградированные минеральные остаточноторфяные (с содержанием ОВ 20,0–5,1 %) и деградированные поссторфяные почвы способствует увеличению площадей почв рыхлосупесчаного, связнопесчаного гранулометрического состава.

Методом баланса установлено, что в результате длительного сельскохозяйственного использования пахотных дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв наблюдается усиление процесса перераспределения илистой фракции из пахотного горизонта в нижележащие иллювиальные горизонты, способствуя увеличению элювиальной части профиля вплоть до метровой глубины и «облегчению» гранулометрического состава почв.

4. Данные по гранулометрическому составу почв используются для характеристики почвенного покрова республики, агропроизводственной группировки почв по степени пригодности под культуры, оценки сельскохозяйственных земель, при решении вопросов повышения производительной способности почв и эффективного использования удобрений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сибирцев, Н. М.* Избранные сочинения / Н. М. Сибирцев; под ред. и с предисловием С. С. Соболева. – М.: Сельхозгиз, 1951. – Т. 1: Почвоведение. – 472 с.
2. *Качинский, Н. А.* Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения / Н. А. Качинский. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 191 с.
3. *Качинский, Н. А.* Физика почв / Н. А. Качинский. – М.: Высш. шк., 1965. – Ч. 1. – 323 с.
4. *Смеян, Н. И.* Почвы и структура посевных площадей / Н. И. Смеян. – Минск: Ураджай, 1990. – 150 с.
5. *Шибут Л. И.* Теоретические основы внутривладельческой бонитировки почв Белорусской ССР по их пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур: автореферат дис. ...канд с.-х. наук: 06.01.03 / Л. И. Шибут. – Минск, 1991. – 18 с.
6. *Смеян, Н. И.* Зависимость урожая сельскохозяйственных культур от типовых различий почв и их гранулометрического состава / Н. И. Смеян, Л. И. Шибут // Почвоведение и агрохимия: сб. науч. тр. / Белорус. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 1993. – Вып. 28. – С. 39–44.
7. Гранулометрический состав пахотных почв Беларуси и его влияние на их качественную оценку / Н. И. Смеян [и др.] // Почвоведение и агрохимия: сб. науч. тр. / Белорус. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2002. – Вып. 32. – С. 10–18.
8. *Смеян, Н. И.* Роль степени увлажнения и гранулометрического состава в плодородии дерново-подзолистых заболоченных почв / Н. И. Смеян, Л. И. Шибут // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 1(36). – С. 85–89.
9. *Шибут, Л. И.* Роль различных факторов в оценке плодородия пахотных земель Беларуси // Л. И. Шибут, Н. В. Радченко // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 47–54.
10. *Медведев, А. Г.* Руководство по почвенному исследованию земель колхозов и совхозов БССР / А. Г. Медведев, Н. П. Булгаков, Ю. И. Гавриленко; под ред. И. С. Лупиновича. – Минск, 1960. – 176 с.
11. Методические указания по почвенно-геоботаническим и агрохимическим крупномасштабным исследованиям в БССР / под ред. Н. И. Смеяна, И. Н. Соловей. – Минск: Ураджай, 1973. – 299 с.
12. Полевое исследование и картографирование почв БССР: метод. указания / под ред. Н. И. Смеяна, Т. Н. Пучкаревой, Г. А. Ржеутской. – Минск: Ураджай, 1990. – 219 с.
13. Примерный номенклатурный список почв Республики Беларусь (для целей крупномасштабного картографирования и кадастровой оценки сельскохозяйственных земель) / Г. С. Цытрон [и др.]. – Минск, 2013. – 63 с.
14. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смеяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.
15. Совершенствование шкалы оценочных баллов почв для очередного тура кадастровой оценки земель в Беларуси / Л. И. Шибут [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 2(41). – С. 17–24.
16. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств. Содержание и технология

работ. ТКП 302-2011 (03150) / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. – Минск, 2011. – 137 с.

17. Агрогенная трансформация гранулометрического состава агродерново-подзолистых почв / С. В. Шульгина [и др.] // Антропогенная трансформация природной среды: сб. ст. Междунар. конф; [отв. ред. С. А. Кулакова] / Пермс. гос. ун-т. – Пермь, 2010. – Т. 1. – Ч. 2. – С. 322–329.

18. К проблеме облегчения гранулометрического состава дерново-подзолистых почв пахотных земель Беларуси / С. В. Шульгина [и др.] // Почва – удобрение – урожай: материалы Междунар. науч.-практ. конф.; редкол.: И. Р. Вильдфлуш (отв. ред.) [и др.]. – Горки: БГСХА, 2017. – С. 238–240.

19. Указания по обобщению материалов второго тура почвенно-геоботанических обследований земель колхозов и госхозов и почвенно-агрохимических обследований земель Гослесфонда БССР. Составление таблиц площадей почв / Г. М. Мороз [и др.]; Белгипрозем, БелНИИПА, Западный отдел ГИЗР. – Минск, 1986. – 40 с.

20. Временные указания по корректировке материалов крупномасштабных почвенных обследований / И. И. Бубен [и др.]; Белгипрозем, БелНИИПА, Западный отдел ГИЗР. – Минск, 1987. – 27 с.

21. Методические указания по составлению районных почвенных карт и подсчету площадей почв (по данным корректировки почвенных материалов) / Ин-т почвоведения и агрохимии; Проектный ин-т Белгипрозем. – Минск, 1999. – 34 с.

22. Методические указания по корректировке почвенных материалов осушенных и прилегающих к ним земель в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь / Ин-т почвоведения и агрохимии; Проектный ин-т Белгипрозем. – Минск, 2005. – 17 с.

23. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика / Г. М. Мороз [и др.]; под ред. Г. М. Мороза, В. В. Лапы. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 208 с.

24. Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава: ГОСТ 12536–2014. – Введ. 05.12.2014. – М: Стандартинформ, 2019. – 23 с.

25. *Розанов, Б. Г.* Генетическая морфология почв / Б. Г. Розанов. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1975. – 293 с.

26. *Вадюнина А. Ф.* Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

27. *Смеян, М. І.* Грануламетрычны састаў глебаў. М 1:3000000 / М. І. Смеян, Г. С. Цытрон, Л. І. Шыбут // Нацыянальны атлас Беларусі. – Мінск, 2002. – С. 103.

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

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

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

31. Канев, В. В. Трансформация свойств подзолистых почв подзоны средней тайги при освоении и окультуривании / В. В. Канев, В. В. Мокиев // Почвоведение. – 2008. – № 3. – С. 349–359.

## **DYNAMICS OF THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF SOILS IN BELARUS (ACCORDING TO LARGE-SCALE SOIL SURVEYS AND LAND ASSESSMENT WORKS OF AGRICULTURAL LAND)**

**T. N. Azarenok, L. I. Shibut, S. V. Dydyshka,  
O. V. Matychenkova, E. D. Ananka**

### **Summary**

The article presents the characteristics of the granulometric composition of soils of arable lands in Belarus as one of the main factors of soil fertility, shows the relative fertility of soils of different granulometric composition according to the modern scale of soil assessment points, analyzes the dynamics of the granulometric composition of soils based on the materials of various rounds of large-scale soil survey (I–III round) and cadastral assessment (I–II round), both in the context of regions, and in the country as a whole, and identified trends and reasons for its change.

*Поступила 20.10.21*

УДК 579.67:632.15

## **СКРИНИНГ ЗОНАЛЬНЫХ ИЗОЛЯТОВ *PSEUDOMONAS* SP. ПО УСТОЙЧИВОСТИ К ГЛИФОСАТУ И ЕГО УТИЛИЗАЦИИ КАК ИСТОЧНИКА УГЛЕРОДА И ФОСФОРА**

**Н. А. Михайловская, Т. Б. Барашенко, Т. В. Погирницкая, С. В. Дюсова**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Основную группу фосфатрастворяющих бактерий составляют представители родов *Pseudomonas*, *Bacillus* и *Rhizobium* [1–3, 6]. Бактерии *Pseudomonas* sp. считаются наиболее эффективными [1, 2], основной фактор их действия на растворимость почвенных фосфатов – образование кислых метаболитов [1, 3, 7, 9]. Как правило, основная цель применения фосфатрастворяющих инокулянтов – это увеличение подвижности труднорастворимых почвенных фосфатов. Фосфор – второй по значимости элемент питания растений, регулирующий формирование урожая и его качество [4, 5], а доступные для питания растений формы фосфора составляют 1–5 % от его общего содержания в почве [2].

Ценным свойством представителей рода *Pseudomonas* sp. является их высокая антагонистическая активность по отношению к корневым фитопатогенам. Инокулянты на основе *Pseudomonas* sp. действуют как эффективные биофунгици-

ды и оказывают значимое фунгистатическое действие на корневые гнили [10–12, 16]. Механизмы биологического контроля *Pseudomonas* sp. хорошо исследованы, идентифицированы основные антибиотики, ответственные за их антагонистическое действие [10–15].

Представители рода *Pseudomonas* оказывают гормональный эффект на растения. Применение зональных изолятов в качестве инокулянтов способствует увеличению объема корней на 14–30 %, массы корней – на 11–32 %, надземной части растения – на 6–19 % на ранних этапах онтогенеза [7, 8, 9].

Благодаря сочетанию перечисленных полезных свойств и разностороннему действию на состояние растений, фосфатрастворяющие ризобактерии *Pseudomonas* sp. востребованы как микробные инокулянты. Коммерческие микробные инокулянты, содержащие фосфатрастворяющие *Pseudomonas* sp., применяются в ряде стран Европы и Азии [1–3, 6].

Принимая во внимание богатый метаболический потенциал ризобактерий *Pseudomonas* sp., актуально изучение их взаимодействия с гербицидами. Глифосат (N-фосфонометилглицин) представляет особый интерес из-за глобального применения под разными коммерческими названиями, что привело к практически повсеместному присутствию его остатков в окружающей среде [18, 19, 29].

Известно, что химические и физические способы детоксикации недостаточно эффективны из-за высокой устойчивости ковалентной связи C–P в молекуле глифосата. Анализ научной литературы свидетельствует, что наиболее перспективны микробные методы детоксикации, которые могут обеспечить разложение глифосата до безопасных соединений [18, 20, 22–24, 26–29, 35]. Биологическая ремедиация экологически приемлема, эффективна и не требует высоких экономических затрат.

К настоящему времени наибольшее число глифосат-утилизирующих микроорганизмов обнаружено среди представителей бактерий следующих родов: *Pseudomonas* [21, 22, 27, 29, 35], *Arthrobacter* [20, 26, 29], *Bacillus* sp. [18, 29], *Achromobacter* sp. [18, 29], *Flavobacterium* sp. [29], *Rhizobium* sp. [23, 24, 29] и некоторых других. При этом существуют значительные различия по эффективности утилизации глифосата в зависимости от родовой принадлежности бактерий. Установлено также, что среди представителей одного рода высокую активность в отношении биодegradации глифосата проявляют лишь отдельные штаммы. Эффективность процесса детоксикации будет существенно зависеть от способности бактерий использовать глифосат в качестве источника основных элементов питания – углерода, фосфора или азота для осуществления собственного метаболизма.

Актуальны поиски деструкторов глифосата среди ризосферных бактерий, применяемых в качестве микробных инокулянтов. Основное внимание целесообразно уделять зональным ризобактериям, приспособленным к местным экологическим условиям. В этом отношении интерес для скрининга представляет наша коллекция зональных ризобактерий, содержащая ряд изолятов фосфатрастворяющих *Pseudomonas* sp., потенциал которых недостаточно исследован.

**Цель исследований** – скрининг зональных изолятов фосфатрастворяющих ризобактерий *Pseudomonas* sp. по устойчивости к глифосату и способности метаболизировать этот гербицид как источник углерода или фосфора.

**ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Объектами скрининга являются зональные изоляты фосфатрастворяющих ризобактерий *Pseudomonas* sp. собственной коллекции.

Исследования способности зональных ризобактерий метаболизировать гликофосат проведены путем постановки *in vitro* экспериментов на твердых средах (Муромцева, КА, DN) и в жидкой питательной среде Дворкина-Фостера [25].

Состав среды Муромцева (г/л): глюкоза – 10,0; аспарагин – 1,0;  $K_2SO_4$  – 0,2;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  – 0,4; дрожжевой автолизат – 0,5; агар – 17,0; вода дистиллированная – до 1 л с добавлением  $Ca_3(PO_4)_2$  непосредственно перед использованием.

Картофельный агар (КА): 200 г очищенного картофеля варят в 1 л дистиллированной воды 30 мин. Отвар охлаждают и фильтруют через ватный фильтр, (оптимальный уровень pH фильтрата – 6,8), вносят агар 20,0 г/л и стерилизуют в автоклаве при температуре 121 °С в течение 20 мин (давление 1 атм).

Состав среды DN (г/л):  $KH_2PO_4$  – 0,4;  $K_2HPO_4$  – 0,1;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  – 0,2; NaCl – 0,1;  $CaCl_2 \cdot 6H_2O$  – 0,02;  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  – 0,01;  $Na_2MoO_4 \cdot H_2O$  – 0,002; яблочная кислота – 3,6; дрожжевой экстракт – 0,05; спиртовой р-р бромтимолового синего (0,5 %) – 5,0 мл; агар – 20,0; 1000 мл воды; NaOH – для доведения pH до оптимального уровня 6,8–7,0.

Состав среды Дворкина-Фостера (г/л): глюкоза – 1,0 г/л;  $(NH_4)_2SO_4$  – 0,375;  $MgSO_4$  – 0,075;  $CaCO_3$  – 0,03;  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  – 0,001;  $H_3BO_3$  – 0,000001;  $MnSO_4$  – 0,000001;  $NaHPO_4$  – 6,0;  $K_2HPO_4$  – 2,0; дрожжевой экстракт – 0,0053 (121 °С, 1,5 атм., 15 мин). При изучении гликофосата в качестве источника углерода состав среды Дворкина-Фостера следующий (г/л):  $(NH_4)_2SO_4$  – 0,375;  $MgSO_4$  – 0,075;  $CaCO_3$  – 0,03;  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  – 0,001;  $H_3BO_3$  – 0,000001;  $MnSO_4$  – 0,000001;  $NaHPO_4$  – 6,0;  $K_2HPO_4$  – 2,0.

В микробиологических *in vitro* экспериментах использован гербицид Торнадо-500: в.р., 500 г/л гликофосата кислоты (изопропиламинная соль). Изготовитель: АО Фирма «Август», Россия (Ф-л «Вурнарский завод смесевых препаратов») ТУ 20.20.12-071-18015953-2017 г.

Для стерилизации химических реактивов и посуды используются стерилизатор паровой ГК-100-3 (Тюменский завод медицинского оборудования и инструментов, № 669, 2004 г.), стерилизатор паровой ГК-10-1 (Тюмень-медико, № 1089) и облучатели ультрафиолетовые УГД-2, УГД-3.

Для культивирования бактерий применяются: Экрос (№ 6410), шейкер орбитальный KS-501 digital IKA WERKE (GmbH & Co.KG), перемешивающее устройство ЛАБ-ПУ-01 (2007 г.), термостат ТПС-1. Учет микроорганизмов проводится с помощью прибора для счета бактерий ПСБ (№ 33, 1991 г.). Оптическую плотность (OD) бактериальных суспензий определяли на фотоэлектроколориметре КФК-2-УХЛ-4,2.

**Тестирование устойчивости ризобактерий к гербициду гликофосат (N-фосфонометилглицин) на твердых питательных средах.** Для первичного тестирования толерантности к гликофосату использованы двухсуточные культуры коллекционных фосфатрастворяющих ризобактерий, выращенные на картофельном агаре (28 °С). При соблюдении правил асептики в конические колбы (объем 300 мл) вносили стерильный (110 °С, 20 мин) раствор гербицида Торнадо-500 различных концентраций, затем приливали по 100 мл расплавленной питательной

среды (КА, DN, Муромцева), тщательно перемешивали и разливали в чашки Петри (20 мл в каждую). Концентрации глифосата в питательных средах составили (мг/мл): 0, 0,25 (С<sub>1</sub>), 0,50 (С<sub>2</sub>), 0,75 (С<sub>3</sub>), 1,0 (С<sub>4</sub>), 2,0 (С<sub>5</sub>) и 3,0 (С<sub>6</sub>). После застывания питательной среды чашки Петри подсушивали. Культуры бактерий высевали методом штриха и инкубировали в термостате (28 °С). Периодичность визуального мониторинга активности роста ризобактерий – каждые 2–3 суток. Повторность в опытах пятикратная.

**Скрининг способности ризобактерий *Pseudomonas* sp., развиваться на питательных средах с разными источниками углерода.** Первый этап скрининга выполнен на твердой питательной среде DN, в состав которой входили разные источники углерода (глифосат, глифосат + яблочная кислота, яблочная кислота). Исследования проведены при содержании глифосата в среде 3,0 мг/мл.

Следующий этап скрининга был проведен в жидкой минеральной среде (MSM) Дворкина-Фостера [25]. В ходе экспериментов в конические колбы объемом 1000 мл, содержащие 450 мл жидкой питательной среды Дворкина-Фостера (без источника углерода), вносили 5 мл инокулюма исследуемой двухсуточной бактериальной культуры. Начальные титры бактериальных суспензий определяли по оптической плотности на фотоэлектроколориметре КФК-2-УХЛ-4,2 ( $\lambda = 590$  нм, кювета 10 мм, контроль – питательная среда) в соответствии с калибровочными графиками, построенными для бактерий разных таксонов.

Стерильный 50%-й раствор гербицида Торнадо (110 °С, 20 мин.) и стерильный 10%-й раствор глюкозы (110 °С, 1,0 атм) готовили отдельно для использования в качестве источников углерода. Бактериальные культуры тестировали по следующей схеме:

- 1) среда Дворкина-Фостера с глюкозой (ГЛ)
- 2) среда с глифосатом (ГФ)
- 3) среда с глифосатом и глюкозой (ГЛ + ГФ).

При соблюдении правил асептики в 9 конических колб вносили по 50 мл инокулированной питательной среды (без источника углерода). Затем в три опытные колбы (повторность в опыте трехкратная) вносили стерильную глюкозу (стандартная среда – ГЛ) из расчета конечной концентрации 1,0 г/л, в следующие три колбы вносили стерильный раствор глифосата (среда ГФ) до конечной концентрации 3,0 мг/мл, в остальные опытные колбы вносили последовательно глюкозу и глифосат (среда ГЛ+ГФ) и тщательно перемешивали. Колбы помещали в термостат при температуре 28 °С. Проводили периодическое перемешивание с помощью устройства ЛАБ-ПУ (90 об/мин).

Для мониторинга роста ризобактерий из каждой опытной колбы отбирали аликвоты по 5 мл с интервалом 8 часов при первом измерении и через каждые 24 часа – при последующих определениях. Критерием активности роста ризобактерий служили показатели оптической плотности бактериальной суспензии ( $\lambda = 590$  нм, кювета 10 мм, контроль – питательная среда). Плотность популяции определяли по калибровочным графикам для р. *Pseudomonas*. Получены экспериментальные кривые роста для протестированных бактерий, характеризующие зависимость плотности популяции от источника углерода в питательной среде и длительности эксперимента.

**Скрининг способности ризобактерий *Pseudomonas* sp., развиваться на питательных средах с разными источниками фосфора.** Для оценки актив-

ности роста двухсуточные культуры зональных изолятов фосфатрастворяющих бактерий *Pseudomonas* sp. культивировали на твердой питательной среде с разными источниками фосфора. В первом блоке *in vitro* экспериментов оценка роста проведена на питательной среде Муромцева, содержащей  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  (контроль) и ортофосфат кальция в сочетании с глифосатом в концентрациях 0,25, 0,50, 0,75 мг/мл. По аналогичной схеме проведен скрининг изолятов бактерий на среде Муромцева без ортофосфата кальция (контроль) и с разными концентрациями глифосата в качестве источника фосфора.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Первичное тестирование устойчивости изолятов ризобактерий *Pseudomonas* sp. к глифосату на твердых питательных средах.** Начальные этапы тестирования предполагают качественную оценку показателей роста бактерий на твердых питательных средах с возрастающими концентрациями глифосата. Для надежной оценки устойчивости ризобактерий использовали повышенные концентрации глифосата в питательных средах.

При *in vitro* тестировании на картофельном агаре с возрастающими концентрациями глифосата было отмечено, что многие представители фосфатрастворяющих бактерий способны развиваться в присутствии гербицида. Наиболее высокую активность при всех опытных концентрациях глифосата в картофельном агаре показали четыре изолята *Pseudomonas* sp. – P-6, P-12, P-16 и P-42. Их рост практически не замедлялся при увеличении концентрации глифосата до максимальной в эксперименте. Активность роста изолятов *Pseudomonas* sp. P-9, P-19, P-21, P-25 и P-28 можно охарактеризовать как среднюю. Для других протестированных изолятов отмечена меньшая активность роста в условиях *in vitro* эксперимента. По активности роста оставшиеся изоляты фосфатрастворяющих бактерий можно расположить в следующий убывающий ряд: *Pseudomonas* sp. P-1, P-15, P-10, P-11 и P-54.

По результатам первичного тестирования на картофельном агаре наиболее перспективными объектами для продолжения исследований можно считать девять зональных изолятов фосфатрастворяющих ризобактерий *Pseudomonas* sp. P-6, P-9, P-12, P-16, P-19, P-21, P-25, P-28 и P-42 (табл. 1).

Таблица 1

**Показатели роста фосфатрастворяющих ризобактерий *Pseudomonas* sp. в зависимости от содержания глифосата в картофельном агаре (*in vitro*, 2021)**

Изолят	Концентрация глифосата в питательной среде						
	0 (К)	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
<i>Pseudomonas</i> sp. P-1	+++	+++	+++	+	+	+	–
<i>Pseudomonas</i> sp. P-2	+++	+	+	+	–	–	–
<i>Pseudomonas</i> sp. P-6	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	+++	+++	+++	+	+	–	–
<i>Pseudomonas</i> sp. P-9	+++	+++	+++	+	+	+	–
P-10	+++	+++	+++	+	+	+	–
<i>Pseudomonas</i> sp. P-11	+++	+++	+++	–	–	–	–
<i>Pseudomonas</i> sp. P-12	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++

Изолят	Концентрация глифосата в питательной среде						
	0 (К)	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
<i>Pseudomonas</i> sp. P-15	+++	+++	+++	++	+	+	-
<i>Pseudomonas</i> sp. P-16	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
P-19	+++	+++	+++	++	++	++	+
P-21	+++	+++	+++	+++	++	++	+
P-25	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++
P-28	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
<i>Pseudomonas</i> sp. P-42	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Pseudomonas</i> sp. P-54	+++	+	+	+	+	-	-

Примечание. +++ хороший рост; ++ средний рост; + слабый рост; - отсутствие роста; К - контроль.

Тестирование устойчивости фосфатрастворяющих ризобактерий *Pseudomonas* sp. к глифосату было продолжено на плотной питательной среде DN с возрастающими концентрациями глифосата. Экспериментальные данные подтвердили адекватность выбора перспективных изолятов, сделанного в предыдущем *in vitro* эксперименте. На обеих питательных средах, КА и DN, наиболее активный рост в присутствии глифосата наблюдали для следующих зональных изолятов фосфатрастворяющих бактерий *Pseudomonas* sp. P-6, P-9, P-12, P-16, P-19, P-21, P-25, P-28 и P-42 (табл. 2).

Таблица 2

**Показатели роста ризобактерий *Pseudomonas* sp. в зависимости от содержания глифосата в плотной питательной среде DN (*in vitro*, 2021)**

Изолят	Концентрация глифосата в питательной среде						
	0 (К)	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
<i>Pseudomonas</i> sp. P-1	+++	++	+	+	+	-	-
<i>Pseudomonas</i> sp. P-2	+++	+	-	-	-	-	-
<i>Pseudomonas</i> sp. P-6	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	+++	+	+	+	+	+	+
<i>Pseudomonas</i> sp. P-9	+++	+	+	+	+	+	+
P-10	+++	+	+	+	+	+	+
<i>Pseudomonas</i> sp. P-11	+++	+	+	+	+	+	-
<i>Pseudomonas</i> sp. P-12	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Pseudomonas</i> sp. P-15	+++	++	+	+	+	-	-
<i>Pseudomonas</i> sp. P-16	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
P-19	+++	+++	++	++	++	++	++
P-21	+++	+++	++	++	++	++	++
P-25	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++
P-28	+++	+++	++	++	++	++	++
<i>Pseudomonas</i> sp. P-42	+++	+++	+++	+++	+++	++	+
<i>Pseudomonas</i> sp. P-54	+++	+	-	-	-	-	-

Примечание. +++ хороший рост; ++ средний рост; + слабый рост; - отсутствие роста; К - контроль.

**Скрининг изолятов ризобактерий *Pseudomonas* по способности использовать глифосат в качестве источника углерода для метаболизма.** Скрининг включал несколько этапов. На первом этапе оценку роста ризобактерий проводили на твердой питательной среде DN, в которой источником углерода служили яблочная кислота, глифосат и яблочная кислота + глифосат. Для большинства зональных изолятов *Pseudomonas* sp. отмечено слабое развитие на среде DN, содержащей в качестве источника углерода яблочную кислоту в сочетании с глифосатом. На питательной среде DN с глифосатом в качестве единственного источника углерода рост бактерий был очень слабым или практически отсутствовал. Результаты скрининга показали, что фосфатрастворяющие бактерии нашей коллекции практически не способны использовать глифосат как единственный источник углерода для метаболизма.

Заключительный этап скрининга был проведен с использованием жидкой минеральной среды Дворкина-Фостера [25]. Сравнивали активность роста бактериальных культур в жидких средах с глюкозой (ГЛ), с глифосатом (ГФ) и с двумя источниками углерода – глюкозой и глифосатом (ГЛ + ГФ) на протяжении 9 суток. Для мониторинга роста каждые 24 часа определяли показатели оптической плотности бактериальной суспензии с последующей оценкой плотности популяции по калибровочному графику. Результаты скрининга и показатели мониторинга активности роста приведены в таблице 3. Экспериментальные данные показывают, что зональные изоляты *Pseudomonas* sp. относительно хорошо развиваются в стандартной жидкой среде Дворкина-Фостера с глюкозой (ГЛ) в качестве источника углерода. При наличии в питательной среде глифосата титры бактерий, как правило, резко снижаются. При замене стандартного источника углерода глифосатом ризобактерии *Pseudomonas* sp. практически не развиваются.

Таблица 3

**Зависимость плотности популяции *Pseudomonas* sp. от источника углерода в жидкой среде Дворкина-Фостера (*in vitro*, 2021)**

Изолят	Вариант	Титр · 10 <sup>6</sup> КОЕ/мл						
		исх.	0,3 сут	1 сут	2 сут	3 сут	4 сут	7 сут
P <sub>6</sub>	ГФ	0,33	0,36	0,39	0,79	0,72	1,09	1,17
	ГФ + ГЛ		0,54	4,24	4,54	9,54	13,2	13,2
	ГЛ		5,8	16,0	24,0	24,0	40,0	38,5
P <sub>7</sub>	ГФ	2,89	2,68	2,79	3,01	3,23	3,10	3,70
	ГФ + ГЛ		0,90	3,96	3,65	4,95	5,1	5,6
	ГЛ		2,13	4,2	24	66	100	130
P <sub>9</sub>	ГФ	0,75	0,75	0,70	0,88	0,88	1,00	0,90
	ГФ + ГЛ		0,75	0,75	0,98	0,99	1,29	1,96
	ГЛ		5,4	9,1	9,4	9,6	12,6	13,3
P <sub>10</sub>	ГФ	0,49	0,52	0,53	0,58	0,70	0,70	0,73
	ГФ + ГЛ		0,86	0,92	0,98	1,00	1,30	1,22
	ГЛ		1,85	6,0	7,5	12,0	15,0	19,9
P <sub>11</sub>	ГФ	0,41	0,48	0,66	0,90	0,98	1,03	1,09
	ГФ + ГЛ		0,53	0,96	1,0	2,0	2,3	2,06
	ГЛ		2,4	18	39	30	59	80

Изолят	Вариант	Титр · 10 <sup>6</sup> КОЕ/мл						
		исх.	0,3 сут	1 сут	2 сут	3 сут	4 сут	7 сут
P <sub>12</sub>	ГФ	0,63	0,99	1,32	2,49	2,7	2,69	2,77
	ГФ + ГЛ		1,31	8,9	9,6	22,7	34,6	54,9
	ГЛ		8,92	22,2	34,6	77,3	109,2	105,3
P <sub>16</sub>	ГФ	0,79	0,79	0,79	1,2	2,5	2,2	2,5
	ГФ + ГЛ		4,6	8,1	10,5	21,0	28,0	28,0
	ГЛ		12,0	26,4	52,0	62,0	65,0	67,0
P <sub>19</sub>	ГФ	1,15	1,16	1,40	2,29	3,50	3,77	4,25
	ГФ + ГЛ		1,06	3,0	4,92	5,05	3,88	4,15
	ГЛ		13,3	52	62,5	74,5	74,0	84,0
P <sub>21</sub>	ГФ	0,86	1,00	4,9	9,4	8,6	10,4	11,3
	ГФ + ГЛ		0,99	19	24	66	69	73
	ГЛ		18	36	99	123	420	400
P <sub>25</sub>	ГФ	0,66	0,76	0,98	2,15	3,36	3,22	3,88
	ГФ + ГЛ		4,8	9,08	9,15	13,83	15,2	15,5
	ГЛ		9,2	28	36	51	60,6	63
P <sub>28</sub>	ГФ	3,78	3,92	5,33	5,0	8,1	10,3	10,9
	ГФ + ГЛ		3,8	4,9	4,8	10,2	13	13,5
	ГЛ		17	30	40,6	82	81,5	96
P <sub>42</sub>	ГФ	0,13	0,12	0,12	0,15	0,15	0,18	0,18
	ГФ + ГЛ		0,12	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13
	ГЛ		0,13	0,19	5,3	5,3	5,8	6,8
P <sub>54</sub>	ГФ	0,16	0,12	0,18	0,23	0,25	0,22	0,22
	ГФ + ГЛ		0,21	0,23	0,26	0,34	0,53	0,68
	ГЛ		0,33	0,54	3,38	3,99	4,3	4,2

По результатам экспериментов получены кривые роста, характеризующие зависимость плотности популяции микроорганизмов от источника углерода в жидкой питательной среде и длительности эксперимента. Для иллюстрации приведены кривые роста двух изолятов *Pseudomonas* sp. P-12 и P-16, которые показали лучший рост на твердой среде DN с двумя источниками углерода (глюкоза + глифосат) на фоне общего слабого развития бактерий в условиях испытаний. Характер кривых роста наглядно показывает, что зональные изоляты *Pseudomonas* sp. P-12 и P-16 хорошо развиваются только в стандартной жидкой среде Дворкина-Фостера с глюкозой (ГЛ) в качестве источника углерода. Активность роста изолятов при наличии в питательной среде глифосата в сочетании с глюкозой (ГЛ+ГФ) значительно ниже. Полная замена глюкозы на глифосат в жидкой питательной среде (ГФ) приводит к еще более существенному снижению титров ризобактерий (рис. 1).

Таким образом, результаты скрининга позволяют заключить, что большинство зональных изолятов *Pseudomonas* sp. практически не способны использовать глифосат как единственный источник углерода для метаболизма. Активность роста изолятов *Pseudomonas* sp. P-12 и P-16 в жидкой среде с глифосатом в качестве единственного источника углерода практического интереса не представляет (табл. 3, рис. 1).

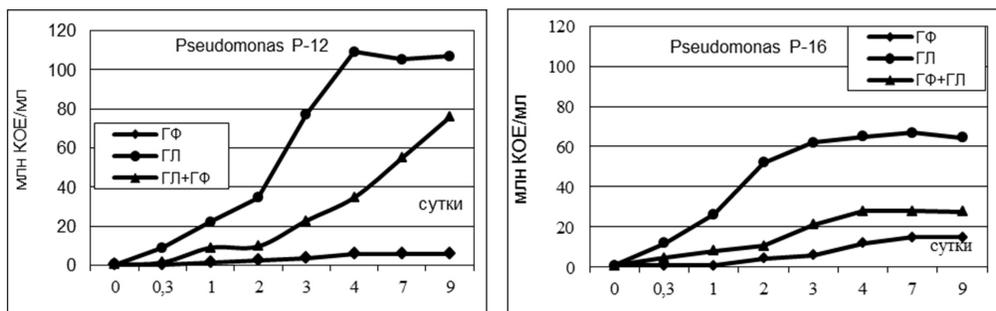


Рис. 1. Плотность популяций изолятов *Pseudomonas* sp. P-12 и P-16 в зависимости от источника углерода (глюкоза – ГЛ, глифосат – ГФ, глюкоза + глифосат – ГЛ + ГФ) в жидкой среде Дворкина-Фостера (*in vitro*, 2021)

**Скрининг способности зональных ризобактерий *Pseudomonas* sp. использовать глифосат в качестве источника фосфора для метаболизма.** В задачи исследований входила сравнительная оценка активности роста зональных изолятов ризобактерий рода *Pseudomonas* в зависимости от источника фосфора в питательной среде. Для этого ризобактерии культивировали на твердой питательной среде Муромцева, содержащей два источника фосфора ( $Ca_3(PO_4)_2$  + глифосат), а также содержащей глифосат в качестве единственного источника фосфора.

В первом блоке экспериментов на питательной среде Муромцева, где бактерии культивировали в присутствии двух источников фосфора – глифосата и  $Ca_3(PO_4)_2$ , выявлены наименее устойчивые к глифосату изоляты, которые слабо развивались в этих условиях – *Pseudomonas* sp. P-1, P-7, P-11, P-15, P-54 (табл. 4).

Во втором блоке *in vitro* экспериментов на питательной среде Муромцева, где единственным источником фосфора для *Pseudomonas* sp. служил гербицид глифосат, определены изоляты, способные метаболизировать гербицид – *Pseudomonas* sp. P-6, *Pseudomonas* sp. P-9, *Pseudomonas* sp. P-12, *Pseudomonas* sp. P-16, P-19, P-21, *Pseudomonas* sp. P-25, P-28 и *Pseudomonas* sp. P-42, которые на текущем этапе выделены как перспективные для следующих этапов скрининга (табл. 4).

Таблица 4

**Влияние источника фосфора на рост изолятов бактерий *Pseudomonas* sp. на твердой среде Муромцева (*in vitro*, 2021)**

Изолят	Концентрация глифосата в питательной среде							
	с $Ca_3(PO_4)_2$				без $Ca_3(PO_4)_2$			
	0 (К)	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	0 (К)	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
<i>Pseudomonas</i> sp. P-1	+++	++	+	-	-	-	-	-
<i>Pseudomonas</i> sp. P-6	+++	+++	+++	+++	+	++	++	-
<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	+++	++	+	+	+	-	-	-
<i>Pseudomonas</i> sp. P-9	+++	+++	+++	+++	+	++	++	-
P-10	+++	+++	+++	+++	++	-	-	-
<i>Pseudomonas</i> sp. P-11	+++	++	+	+	-	-	-	-
<i>Pseudomonas</i> sp. P-12	+++	+++	+++	+++	+	++	++	+
<i>Pseudomonas</i> sp. P-15	+++	++	+	+	-	-	-	-

Изолят	Концентрация глифосата в питательной среде							
	с $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$				без $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$			
	0 (К)	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	0 (К)	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
<i>Pseudomonas</i> sp. P-16	+++	+++	+++	+++	+	++	++	+
P-19	+++	+++	+++	+++	+	+	+	-
P-21	+++	+++	+++	+++	+	+	+	-
<i>Pseudomonas</i> sp. P-25	+++	+++	+++	+++	++	++	+	-
P-28	+++	+++	+++	+++	+	++	+	-
<i>Pseudomonas</i> sp. P-42	+++	+++	+++	+++	++	+	+	-
<i>Pseudomonas</i> sp. P-54	+++	+	+	+	-	-	-	-

Примечание. +++ хороший рост; ++ средний рост; + слабый рост; - отсутствие роста; К - контроль.

В эту группу вошли зональные фосфатрастворяющие ризобактерии, которые могут развиваться и наращивать биомассу в отсутствии стандартных источников фосфора. Факт роста на среде с глифосатом, без традиционных источников фосфора, свидетельствует о способности отобранных зональных изолятов *Pseudomonas* sp. использовать этот гербицид для собственного метаболизма.

Таким образом, по результатам скрининга в условиях культивирования на твердой питательной среде Муромцева, содержащей глифосат как единственный источник фосфора, определены перспективные целевые объекты среди зональных фосфатмобилизирующих ризобактерий: *Pseudomonas* sp. P-6, *Pseudomonas* sp. P-9, *Pseudomonas* sp. P-12, *Pseudomonas* sp. P-16, P-19 и P-21, *Pseudomonas* sp. P-25, P-28 и P-42), способные метаболизировать гербицид глифосат.

Как и следовало ожидать, показатели роста фосфатмобилизирующих ризобактерий в минеральной питательной среде, содержащей глифосат как единственный источник фосфора, ниже, чем в условиях роста на неорганических фосфатах, традиционно входящих в состав питательных сред. Замедление роста бактерий на минеральных средах с глифосатом согласуется с литературными данными. Внесение глифосата представляет химический стресс для микроорганизмов.

Негативное влияние глифосата на состав и активность почвенных микроорганизмов связано с принципом его действия на клеточный метаболизм. Глифосат – единственный гербицид, который ингибирует клеточный биосинтез ароматических аминокислот (тирозин, триптофан, фенилаланин) по шикиматному пути [17]. В пределах одного рода ризобактерий лишь отдельные штаммы являются устойчивыми к действию глифосата и способны его метаболизировать. По литературным данным даже для устойчивых к глифосату бактерий отмечается замедленный рост и наличие определенного латентного периода [35, 37].

Важной физиологической особенностью процесса деградации фосфонатов, и глифосата в частности, является необходимость периода адаптации микробных клеток к этому гербициду [35]. Уже на начальных этапах исследований по биодеградации ГФ было установлено замедление роста и наличие определенного латентного периода, прежде чем бактерия начинает метаболизировать глифосат [37].

Современная научная литература свидетельствует о негативном действии глифосата на состав и свойства почвенных микроорганизмов. Под действием глифосата элиминируется число культурных бактерий и грибов на загрязненных

пестицидом почвах [29, 30, 31]. В исследованиях Moneke et al. [32], Quinn et al. [33], Sannino et al. [34] установлено заметное снижение разнообразия бактерий при культивировании на твердых средах с глифосатом.

Как уже было отмечено, высокая активность растворения фосфатов представителями *Pseudomonas* sp. связана, как правило, с биосинтезом кислых метаболитов и значительным снижением уровня pH среды [1, 3, 7, 9]. При изучении свойств зональных *Pseudomonas* sp. было установлено, что для отобранных перспективных изолятов ризобактерий отмечается наиболее значительное подкисление среды: для изолята *Pseudomonas* sp. P-16 – до 2,67, для изолята *Pseudomonas* sp. P-25 – до 3,13, для *Pseudomonas* sp. P-12 – до 3,94 [7]. Наибольшее снижение уровня pH, до 2,67, было отмечено при культивировании изолята *Pseudomonas* sp. P-16. Для изолятов *Pseudomonas* sp. P-15, P-21 и P-28 отмечали менее существенное подкисление среды. Возможно, существует определенная корреляция между активностью растворения фосфатов и биodeградацией глифосата под действием представителей *Pseudomonas* sp. (табл. 5).

Таблица 5

**Фосфатрастворяющая активность зональных изолятов *Pseudomonas* sp. (in vitro, 2011 г.)**

Изолят	Содержание P, мг/л	pH среды
<i>Pseudomonas</i> sp. P-1	72	3,79
<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	73	5,78
<i>Pseudomonas</i> sp. P-12	505	3,94
<i>Pseudomonas</i> sp. P-15	406	4,23
<i>Pseudomonas</i> sp. P-16	257	2,67
P-21	65	4,90
<i>Pseudomonas</i> sp. P-25	620	3,13
P-28	67	5,66
HCP <sub>05</sub>	22	

В то же время изоляты P-21 и P-28, показавшие хорошие показатели роста на питательной среде с глифосатом и отобранные в качестве перспективных объектов для дальнейших исследований, незначительно подкисляли среду. Можно предположить наличие разнообразных и специфических механизмов биodeградации гербицида под действием зональных фосфатрастворяющих бактерий.

В настоящее время известно несколько путей биodeградации глифосата под действием представителей *Pseudomonas* sp. В принципе, биodeградация глифосата до безопасных соединений должна включать расщепление ковалентной C–P связи с образованием саркозина, который далее метаболизируется ферментом саркозиноксидазой в глицин и формальдегид [21, 23, 27, 35]. Известно, что сложный ферментный комплекс C–P лиаза, расщепляющий эту связь, не является широко распространенным у микроорганизмов Cook et al. [36]. По данным Kishore and Jacob, 1987 [27], Pipke et al., [20, 26] и Balthazor and Hallas [28] разрыв ковалентной C–P связи не обязательно является первой стадией катаболизма.

По литературным данным более распространен у микроорганизмов фермент глифосатоксидоредуктаза, в результате действия которого глифосат трансформируется в аминометилфосфоновую кислоту (АМФК) и глиоксилат [29, 36]. Аминометилфосфоновая кислота – основной метаболит глифосата, который по-прежнему

содержит фосфоновую С–Р связь, сильно адсорбируется почвенными компонентами, медленно разлагается в большинстве почв, накапливается и не проявляет гербицидных свойств [19, 29, 36]. Для биodeградации АМФК до безопасных соединений также требуется действие ферментного комплекса С–Р лиазы.

## ВЫВОДЫ

Представлены результаты исследования зональных изолятов фосфатрастворяющих ризобактерий *Pseudomonas* sp. по оценке устойчивости к глифосату на твердых питательных средах (КА, DN), поэтапного скрининга изолятов бактерий на твердой среде DN и в жидкой среде Дворкина-Фостера, содержащих разные источники углерода (глифосат, яблочная кислота, глифосат+яблочная кислота и глифосат, глюкоза, глифосат+глюкоза), а также на твердой среде Муромцева с разными источниками фосфора (глифосат, ортофосфат кальция, глифосат+ортофосфат кальция). По результатам скрининга среди зональных изолятов *Pseudomonas* sp. отобраны перспективные целевые объекты, способные метаболизировать гербицид глифосат как источник фосфора для роста. Установлено, что коллекционные фосфатрастворяющие бактерии *Pseudomonas* sp. практически не способны использовать глифосат как единственный источник углерода для метаболизма.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khan, M. S. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture / M. S. Khan, A. Zaidi, P. A. Wani // *Agron. Sustain. Dev.* – 2007. – Vol. 27. – P. 29–43.
2. Novel approaches for analysis of biodiversity of phosphate-solubilizing bacteria / M.-H. Ramirez-Bahena [et al.] // *Phosphate Solubilizing Microbes for Crop Improvement* // Nova Science Publishers / eds. M. S. Khan, A. Zaidi. – 2009. – P. 15–40.
3. Gaur, A. C. Phosphate solubilizing microorganisms as biofertilizers / A. C. Gaur // New Delhi: Omega Sci. Publishers. – 1990. – 283 p.
4. Богдевич, И. М. Фосфорные удобрения в сельском хозяйстве важны и незаменимы / И. М. Богдевич, В. В. Лапа // *Земляробства і ахова раслін.* – 2004. – № 2. – С. 24–25.
5. Синягин, И. И. Превращения фосфорных и калийных удобрений в почве и повышение их усвояемости / И. И. Синягин. – М.: МСХ СССР, ВНИИТИ. – 1969. – С. 6–24.
6. Rodriguez, H. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion / H. Rodriguez, R. Fraga // *Biotechnol. Adv.* – 1999. – Vol. 17. – P. 319–339.
7. Свойства фосфатмобилизующих бактерий и их влияние на урожайность зерновых культур на дерново-подзолистых супесчаных почвах / Н. А. Михайловская [и др.] // *Почвоведение и агрохимия.* – 2011. – № 2(47). – С. 120–129.
8. Влияние фосфатмобилизующих бактерий на ростовые процессы, урожайность и фитосанитарное состояние посевов зерновых культур на дерново-подзолистых супесчаных почвах / Н. А. Михайловская [и др.] // *Почвоведение и агрохимия.* – 2012. – № 1(48). – С. 136–149.
9. Mikanová, O. Phosphorus Solubilizing Microorganisms and their Role in Plant Growth Promotion / O. Mikanová, J. Kubát // *Microbial Biotechnology in Agriculture*

and Aquaculture (ISBN: 1-57808-443-1) / Science Publishers // eds. R. C. Ray. – New Hampshire, USA. – 2006. – Vol. II. – P. 111–145.

10. Van Loon, L. C. Systematic resistance induced by rhizosphere bacteria / L. C. van Loon, P.A.H.M., Bakker, C. M. J. Pieterse // Annu. Rev. Phytopathol. – 1998. – Vol. 36. – P. 452–483.

11. Viscozinamide, a new cyclic depsipeptide with surfactant and antifungal properties produced by *Pseudomonas fluorescens* DR54. J / T. H. Nielsen [et al.] // Appl. Microbiol. – 1999. – Vol. 87. – P. 80–90.

12. Structure, production characteristics and fungal antagonism of tensin – a new cyclic lipopeptide from *Pseudomonas fluorescens* strain 96.578. J. / T. H. Nielsen [et al.] // Appl. Microbiol. – 2000. – Vol. 89. – P. 992–1001.

13. Characterization of the pyolutcorin biosynthetic gene cluster of *Pseudomonas fluorescens* Pf5. J. / B. Nowak-Thompson [et al.] // Bacteriol. – 1999. – Vol. 181. – P. 2166–2174.

14. Banger, M. G. Identification and characterization of a gene cluster for synthesis of the polyketide antibiotic 2,4-diacetylphloroglucinol from *Pseudomonas fluorescens* Q2-87. J. / M. G. Banger, I. S. Thomashow // Bacteriol. – 1999. – Vol. 181. – P. 3155–3163.

15. Duffy, B. Environmental factors modulating antibiotic and siderophore biosynthesis by *Pseudomonas fluorescens* biocontrol strain / B. Duffy, G. Defago // Appl. Environ. Microbiol. – 1999. – Vol. 65. – P. 2429–2438.

16. Михайловская, Н. А. Влияние ризобактерий на фитопатологическое состояние посевов яровой пшеницы / Н. А. Михайловская, Е. Г. Тарасюк, С. В. Тарасюк // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 34. – С. 259–262.

17. Haslam, E. The shikimate pathway: biosynthesis of natural products series. Elsevier, New York. 2014. Hui Zhan, Yanmei Feng, Xinghui Fan, Shaohua Chen. Recent advances in glyphosate biodegradation / E. Haslam // Applied Microbiol. Biotech. – 2018. – Vol. 102. – P. 5033–5043.

18. Microbial degradation of glyphosate herbicides (review) / A.V. Sviridov [et al.] // Appl Biochem Microbiol. – 2015. – Vol. 51(2). – P. 188–195.

19. Bai, S. H. Glyphosate: environmental contamination, toxicity and potential risks to human health via food contamination / S. H. Bai, S. M. Ogbourne // Environ Sci Pollut Res. – 2016. – Vol. 23(19). – P. 18988–19001.

20. Pipke, R. Degradation of the Phosphonate Herbicide Glyphosate by *Arthrobacter atrocyaneus* ATCC 13752 / R. Pipke, N. Amrhein // Appl. Environ. Microbiol. – 1988. – P. 1293–1296.

21. Kishore, G. M. Degradation of glyphosate by *Pseudomonas* sp. PG2982 via a sarcosine intermediate / G. M. Kishore, G. S. Jacob // J. Biol. Chem. – 1987. – Vol. 262(25). – P. 2164–2168.

22. Zboinska, E. Organophosphonate Utilization by the Wild-Type Strain of *Pseudomonas fluorescens* / E. Zboinska, B. Lejczak, P. Kafarski // Appl. Environ. Microbiol. – 1992. – Vol. 58(9). – P. 2993–2998.

23. Degradation of the Herbicide Glyphosate by Members of the Family *Rhizobiaceae* / C. M. Liu [et al.] // Appl. Environ. Microbiol. – 1991. – Vol. 57. – P. 1799–1800.

24. Zablutowicz, R. M. Impact of Glyphosate on the *Bradyrhizobium japonicum* Symbiosis with Glyphosate-Resistant Transgenic Soybean / R. M. Zablutowicz, K. N. Reddy // A. Minireview. J. Environ. Qual. – 2004. – Vol. 33. – P. 825–831.

25. *Dworkin, M.* Experiments with some microorganisms which utilized methane and hydrogen / M. Dworkin, J. W. Foster // J. Bacteriol. – 1958. – Vol. 75. – P. 592–603.
26. *Pipke, R.* Uptake of Glyphosate by an *Arthrobacter* sp. / R. Pipke, A. Schulz., N. Amrhein // Appl. Environ. Microbiol. – 1987. – P. 974–978.
27. *Kishore, G. M.* Degradation of glyphosate by *Pseudomonas* sp. PG2982 via a sarcosine intermediate / G. M. Kishore, G. S. Jacob // J. Biol. Chem. – 1987. – Vol. 262(25). – P. 2164–2168.
28. *Balthazor, T. M.* Glyphosat-degrading microorganisms from industrial activated sludge / T. M. Balthazor, L. E. Hallas // Appl. Environ. Microbiol. – 1986. – Vol. 51. – P. 432–434.
29. *Hui, Zhan.* Recent advances in glyphosate biodegradation / Zhan Hui // Applied Microbiol. Biotech. – 2018. – Vol. – 102. – P. 5033–5043.
30. *Ratcliff, A. W.* Changes in microbial community structure following herbicide (glyphosate) additions to forests soils / A. W. Ratcliff, M. Busse, C. J. Shestak // Appl. Soil Ecol. – 2006. – Vol. 34 – P. 114–124.
31. *Busse, M.* Glyphosate toxicity and the effects of long term vegetation control on soil microbial communities / M. Busse [et al.] // Soil Biol. Biochem. – 2001. – Vol. 33. – P. 1777–1789.
32. *Moneke, A. N.* Biodegradation of glyphosate herbicide in vitro using bacterial isolates from four rice fields / A. N. Moneke, G. N. Okpala, C. U. Anyanwu // Afr. J. Biotechnol. – 2010. – Vol. 9(26). – P. 4067–4074.
33. *Quinn, J. P.* Glyphosat tolerance and utilization by the microflora of soils treated with the herbicide / J. P. Quinn, J. M. M. Peden, R. E. Dick // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 1988. – Vol. 29. – P. 511–516.
34. *Sannino, F.* Pesticide influence on soil enzymatic activities (J) / F. Sannino, Gianfreda, L. Chemosphere. – 2001. – Vol. 45. – P. 417–445.
35. *Кононова, С. В.* Фосфонаты и их деградация микроорганизмами / С. В. Кононова, М. А. Несмеянова // Биохимия. – 2002. – Т. 67. – Вып. 2. – С. 220–233.
36. *Cook, A. M.* Phosphonate utilization by bacteria / A. M. Cook, C. K. Daughton, M. Alexander // J. Bact. – 1978. – Vol. 133. – P. 85–89.
37. *Quinn, J. P.* Carbon-phosphorus bond cleavage by Gram-positive and Gram-negative soil bacteria / J. P. Quinn, J. M. Peden, R. E. Dick // Appl Microbiol Biotechnol. – 1989. – Vol. 31(3). – P. 283–287

## SCREENING OF ZONAL ISOLATES *PSEUDOMONAS* SP. TOLERANCE TO GLYPHOSATE AND ITS UTILIZATION AS A SOURCE OF CARBON AND PHOSPHORUS

N. A. Mikhailouskaya, T. B. Barashenko, T. V. Pogirnikskaya, S. V. Dyusova

### Summary

Screening of zonal isolates *Pseudomonas* sp. by cultivation on solid and liquid nutrient media with different sources of carbon and phosphorus at background of increasing concentrations of glyphosate resulted in the determination of perspective target objects, which are capable of metabolization herbicide glyphosate as a sole P-source. Screening showed that phosphorus solubilizing rhizobacteria *Pseudomonas* sp. virtually not capable of glyphosate utilization as sole carbon source for metabolism.

Поступила 29.10.21

## 2. ПЛОДРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.86

### ПОВЫШЕНИЕ ЗАПАСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Т. М. Серая, И. М. Богдевич, Е. Н. Богатырева, И. С. Станилевич

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

Одним из главных показателей, определяющих плодородие дерново-подзолистых почв, является содержание органического вещества почвы. Гумус – главный компонент органического вещества почвы, представляет собой совокупность специфических (или гумусовых) и неспецифических органических веществ, потерявших свое анатомическое строение, является основой регулирования их агрофизических и биологических свойств. В почве постоянно происходят процессы образования и разрушения гумуса. В зависимости от того, какой процесс преобладает, содержание гумуса в почве увеличивается или уменьшается [1–4].

По влиянию на урожайность положительная роль гумуса в различных системах земледелия не одинакова. Наиболее полно его роль проявляется в органическом земледелии (экстенсивном) при полном отсутствии минеральных удобрений. В интенсивном земледелии обеспечение растений элементами минерального питания за счет гумуса уменьшается, а возрастает его экологическая роль. Оптимальные параметры содержания гумуса, при которых обеспечиваются высокие уровни урожаев сельскохозяйственных культур, зависят от гранулометрического состава дерново-подзолистых почв: для глинистых – 2,8–3,2 %, средне- и легкосуглинистых – 2,6–3,0 %, связносупесчаных – 2,4–2,8 %, рыхло-супесчаных – 2,2–2,6 %, песчаных – 2,0–2,4 %; для минеральных почв луговых земель – 3,5–4,0 % [5].

Содержание гумуса в дерново-подзолистых почвах всегда было невысоким, поэтому важно не только сохранить, но и повысить его запасы. Пути решения проблемы повышения запасов органического вещества в почвах пахотных земель следующие:

- увеличение объемов применения органических удобрений;
- регулирование соотношения пропашных культур и многолетних трав в структуре посевных площадей;
- возделывание промежуточных культур (пожнивных, поукосных);
- применение почвозащитных агроприемов, уменьшающих минерализацию гумуса и потери его с водной эрозией и дефляцией.

Кроме этого, для предотвращения угрозы дегумификации почв пахотных земель необходим поиск альтернативных мало затратных и эффективных источни-

ков пополнения органического вещества почвы. Запашка соломы в значительной степени оптимизирует физические свойства почвы, обеспечивает возврат в почву биофильных элементов [6–8]. При оценке соломы как органического удобрения важное значение имеет влияние ее на гумусовое состояние почв, обусловленное высоким содержанием в ней органического вещества, которое служит источником формирования различных гумусовых веществ [9].

**Динамика органического вещества в почвах.** За период с 1970 по 2018 гг., благодаря поддержанию положительного баланса гумуса в почвах, его средневзвешенное содержание в почвах пахотных земель увеличилось с 1,77 (1970 г.) до 2,24 % (2018 г.). За период между двумя последними турами крупномасштабного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных земель содержание гумуса в пахотных почвах увеличилось от 2,23 до 2,24 % (рис. 1).

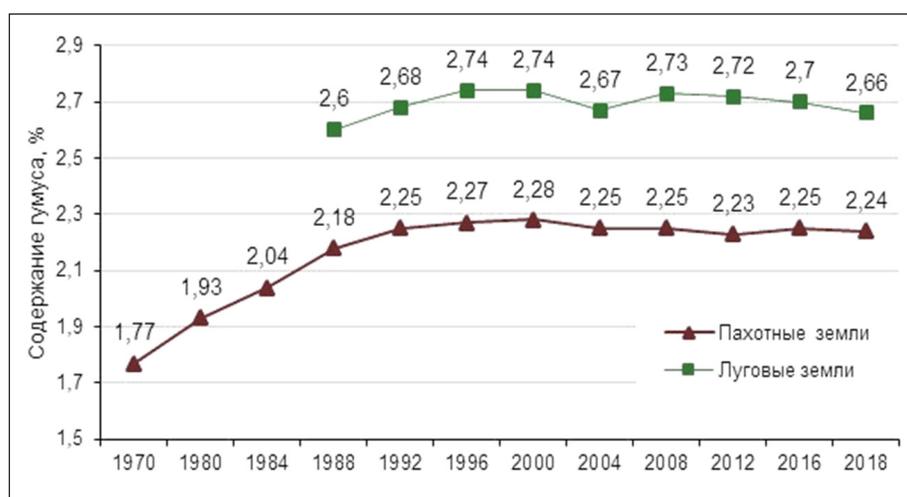


Рис. 1. Динамика содержания гумуса в почвах пахотных и луговых земель Беларуси

На содержание гумуса в пахотных почвах существенное влияние в период с 1970 по 1990 г. оказало применение высоких объемов органических удобрений – до 85–90 млн т, в составе которых использовалось до 50 млн т торфа. В среднем на почвах пахотных земель в 1986–1990 гг. вносилось 14,4 т/га органических удобрений. В этот же период в структуре пахотных земель на 1 га пропашных культур приходилось 2,0–2,7 га многолетних трав, что также благоприятно сказалось на содержании гумуса.

Распределение почв пахотных и луговых земель по группам содержания гумуса, по последним данным крупномасштабного агрохимического обследования почв (2015–2018 гг.), приведено в таблице 1. Почвы улучшенных луговых земель (сенокосов и пастбищ) характеризуются сравнительно более высоким содержанием органического вещества. Средневзвешенные показатели содержания гумуса различаются по областям: от 2,29 % в Могилевской области до 2,84 % в Брестской.

В 2020 г. завершился 14-й тур обследования и данные по агрохимической характеристике почв будучи скорректированы.

Таблица 1

**Распределение пахотных и луговых земель по группам содержания гумуса по результатам обследования 2015–2018 гг.**

Область	Площади почв по группам содержания гумуса, %						Средневзвешенное содержание, %	
	< 1,0	1,01–1,50	1,51–2,00	2,01–2,50	2,51–3,00	> 3,00	2018 г.	± к 2000 г.
<b>Пахотные земли</b>								
Брестская	1,4	10,1	26,0	23,4	13,0	26,1	2,32	–0,26
Витебская	0,1	2,8	19,3	28,9	22,3	26,6	2,49	0,14
Гомельская	0,1	4,5	24,0	29,5	17,5	24,4	2,39	–0,08
Гродненская	2,3	26,4	39,9	20,0	7,0	4,4	1,84	–0,06
Минская	–	3,2	23,0	36,9	25,1	11,8	2,35	–0,07
Могилевская	0,4	16,4	41,7	26,1	9,7	5,7	1,98	–0,04
<b>Беларусь</b>	<b>0,7</b>	<b>10,2</b>	<b>28,5</b>	<b>27,8</b>	<b>16,1</b>	<b>16,7</b>	<b>2,24</b>	<b>–0,04</b>
<b>Луговые земли</b>								
Брестская	0,3	3,2	8,7	12,1	11,8	63,9	2,84	–0,12
Витебская	0,1	2,0	14,2	27,6	24,2	31,9	2,59	0,09
Гомельская	0,1	1,8	8,6	14,4	13,7	61,4	2,78	0,02
Гродненская	1,1	10,1	18,3	16,8	10,9	42,8	2,51	–0,25
Минская	–	1,5	11,2	22,4	21,0	43,9	2,71	–0,05
Могилевская	0,4	10,2	28,0	24,9	13,6	22,9	2,29	–0,28
<b>Беларусь</b>	<b>0,3</b>	<b>4,0</b>	<b>13,5</b>	<b>19,6</b>	<b>16,6</b>	<b>46,1</b>	<b>2,66</b>	<b>–0,08</b>

**Оптимизация соотношения пропашных культур и многолетних трав в структуре посевных площадей.** По количеству органического вещества, поступающего в почву в виде послеуборочных растительных остатков, сельскохозяйственные культуры делятся на 3 группы:

- многолетние бобовые, бобово-злаковые и злаковые травы;
- однолетние культуры сплошного сева – зерновые, зернобобовые, рапс, гречиха, лен;
- однолетние пропашные культуры – картофель, свекла, кукуруза, овощи.

Пропашные культуры характеризуются высоким выносом элементов питания с урожаем, но оставляют в почве небольшое количество послеуборочных растительных остатков. Культуры сплошного сева по количеству оставляемых растительных остатков занимают промежуточное положение между многолетними травами и пропашными культурами. Многолетние травы, оставляя в почве наибольшее количество растительных остатков, обогащают почву органическим веществом. Особенно высокий положительный эффект характерен для многолетних бобовых трав, благодаря их способности фиксировать атмосферный азот и вовлекать его в биологический круговорот.

За период с 1995 по 2012 гг. доля многолетних трав в структуре посевных площадей снизилась с 24,2 до 12,7 %, а доля пропашных культур за счет расширения площадей под кукурузой и сахарной свеклой увеличилась с 8,5 до 23,8 %. Так, если в 1996 г. на 1 га пропашных культур приходилось 2,8 га

многолетних трав, то к 2012 г. это соотношение в среднем по республике снизилось до 0,5 га.

С 2013 г. наметилась обратная тенденция – площади под пропашными культурами начали несколько снижаться, а под многолетними травами – увеличиваться. В 2019 г. на 1 га пропашных культур приходилось 0,7 га многолетних трав (табл. 2).

Таблица 2

**Удельный вес многолетних трав и пропашных культур в структуре посевных площадей по областям**

Область	Год											
	1995			2012			2018			2019		
	Пропашные, %	Многолетние травы, %	Многолетние травы / пропашные	Пропашные, %	Многолетние травы, %	Многолетние травы / пропашные	Пропашные, %	Многолетние травы, %	Многолетние травы / пропашные	Пропашные, %	Многолетние травы, %	Многолетние травы / пропашные
Брестская	13,0	17,6	1,4	28,0	11,5	0,4	25,2	14	0,6	26,6	14,0	0,5
Витебская	2,7	32,7	12,1	12,3	13,8	1,1	9,0	26,6	3,0	10,5	21,2	2,0
Гомельская	11,9	19,2	1,6	34,4	8,5	0,3	33,4	11,0	0,3	36,5	11,7	0,3
Гродненская	10,3	19,6	1,9	23,5	15,0	0,6	20,7	19,1	0,9	22,4	18,4	0,8
Минская	9,9	23,6	2,4	23,2	13,4	0,6	20,0	20,4	1,0	22,8	19,5	0,9
Могилевская	5,1	29,1	5,7	19,9	14,9	0,8	15,6	20,1	1,3	19,1	19,9	1,0
<b>Беларусь</b>	<b>8,5</b>	<b>24,2</b>	<b>2,8</b>	<b>23,8</b>	<b>12,7</b>	<b>0,5</b>	<b>21</b>	<b>18,4</b>	<b>0,9</b>	<b>23,4</b>	<b>17,4</b>	<b>0,7</b>

В сельскохозяйственных организациях и районах, где наблюдается снижение содержания гумуса в почвах пахотных земель, для обеспечения его бездефицитного баланса необходимо оптимизировать структуру посевных площадей с насыщением севооборотов многолетними бобовыми и бобово-злаковыми травами.

В таблице 3 приведен рекомендуемый удельный вес многолетних трав в структуре посевов на пашне и соотношение их с пропашными культурами по группам административных районов в зависимости от величины снижения содержания гумуса в почвах.

В 14 районах I группы, в которых содержание гумуса за 2 тура агрохимического обследования (2001–2018 гг.) снизилось на 0,21–0,41 %, а в структуре посевов на 1 га пропашных культур приходилось 0,6 га многолетних трав, для восстановления потерь органических веществ в почвах необходимо внедрение почвозащитных севооборотов с долей многолетних трав 25 % и более от площади пашни и соотношение площади многолетние травы / пропашные – 2,5 и выше.

В группе из 28 административных районов, где потери гумуса составили 0,11–0,20 %, рекомендуется в структуре посевов удельный вес многолетних бобовых и бобово-злаковых трав – 23–25 % и соотношение их к пропашным культурам – 1,8–2,0.

Таблица 3

**Рекомендуемый удельный вес многолетних трав в структуре посевов на пашне и соотношение их с пропашными культурами по группам районов в зависимости от величины снижения содержания гумуса в почвах пахотных земель**

Группа районов	Районы	Доля многолетних трав на пашне, %	Соотношение многолетних трав / пропашные культуры
I	Березовский, Брестский, Жабинковский, Ивановский, Ивацевичский, Кобринский, Ельский, Дзержинский, Минский, Бобруйский, Глусский, Могилевский, Осиповичский, Светлогорский	25 и более	2,5
II	Дрогичинский, Ганцевичский, Каменецкий, Ляховичский, Пинский, Пружанский, Гомельский, Добрушский, Жлобинский, Калинковичский, Лельчицкий, Наровлянский, Петриковский, Рогачевский, Берестовицкий, Гродненский, Кореличский, Лидский, Островецкий, Ошмянский, Свислочский, Воложинский, Копыльский, Слуцкий, Солигорский, Столбцовский, Кировский, Славгородский	23–25	1,8–2,0
III	Районы, в которых не наблюдается снижения гумуса в почвах пахотных земель	20–21	1,5–1,6

В районах, в которых не наблюдалось снижения содержания гумуса, рекомендуется сбалансированная структура посевов с долей многолетних трав на уровне 20 % от площади пашни и соотношение многолетние травы/пропашные культуры – 1,5–1,6.

**Определение потребности в органических удобрениях для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель.** В общем объеме поступающего в почву органического вещества доля растительных остатков составляет в среднем по республике 55 %, а доля органических удобрений – 45 %.

Максимальные объемы применения органических удобрений в республике были достигнуты в 1986–1990 гг., когда в среднем вносили 14,4 т/га пашни. С 1991 по 2006 г. наблюдалось сокращение объемов их внесения, а с 2007 г. наметилась тенденция увеличения доз внесения органических удобрений. В 2016–2019 гг. объемы их применения составили 47,8 млн т в год, или 9,6 т/га (табл. 4).

Таблица 4

**Динамика применения органических удобрений на пахотных землях в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь**

Годы	Внесено млн т в год	Внесено т/га в год	Доля торфа в органических удобрениях, %
1981–1985	75,2	13,3	47
1986–1990	81,4	14,4	37

Годы	Внесено млн т в год	Внесено т/га в год	Доля торфа в органических удобрениях, %
1991–1995	61,1	11,6	5
1996–2000	40,7	8,1	3
2001–2005	28,7	6,3	2
2006–2010	36,8	8,0	1
2011–2015	48,6	10,2	<1
2016–2019	47,8	9,6	<1

Потребность в органических удобрениях для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель определяется на основании соотношения между пропашными культурами и многолетними травами в структуре посевов: чем меньше многолетних трав приходится на 1 га пропашных культур, тем выше должны быть дозы применения органических удобрений. Дозы органических удобрений, необходимые для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почвах, рассчитываются по формуле:

$$D_{ou} = \frac{(S_1 \cdot 420 + S_2 \cdot 1200 - S_3 \cdot 200) : K}{S_{\text{мин.пашни}}},$$

где  $D_{ou}$  – доза органических удобрений, необходимая для поддержания бездефицитного баланса гумуса, т/га;  $S_1$  – площадь культур сплошного сева на минеральных почвах (зерновые, зернобобовые, лен, рапс, гречиха, однолетние смеси);  $S_2$  – площадь пропашных культур на минеральных почвах;  $S_3$  – площадь многолетних трав на минеральных почвах;  $S_{\text{мин.пашни}}$  – посевная площадь (на минеральных почвах); 420 кг/га гумуса необходимо восполнить за счет внесения органических удобрений для поддержания его бездефицитного баланса под культурами сплошного сева; 1200 кг/га гумуса необходимо восполнить за счет внесения органических удобрений для поддержания его бездефицитного баланса под пропашными культурами; 200 кг/га гумуса накапливается под многолетними травами;  $K$  – килограмм гумуса образуется из 1 т органических удобрений.

Для каждого конкретного хозяйства, района или области данный коэффициент рассчитывается следующим образом:

$$K = (S_{\text{сугл}} \cdot 50 + S_{\text{супесч}} \cdot 40 + S_{\text{песч}} \cdot 30) : (S_{\text{сугл}} + S_{\text{супесч}} + S_{\text{песч}}),$$

где  $S_{\text{сугл}}$ ,  $S_{\text{супесч}}$ ,  $S_{\text{песч}}$  – площади суглинистых, супесчаных и песчаных почв, занятых под сельскохозяйственными культурами; 50 кг гумуса образуется из 1 т условного навоза на суглинистых почвах, 40 кг – на супесчаных и 30 кг – на песчаных почвах. Для Брестской области  $K = 35$  кг, Витебской – 44, Гомельской – 34, Гродненской – 39, Минской – 41, Могилевской области – 43 кг, в среднем по республике  $K = 40$  кг.

С учетом сложившейся структуры посевных площадей для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель республики потребность в органических удобрениях составляет 61974,0 тыс. т в год. На 1 га пашни необходимо применять ежегодно в среднем 12,5 т органических удобрений с колебаниями по областям от 8,3 т/га в Витебской области до 18,3 т/га в Гомельской области (табл. 5).

Таблица 5

**Потребность в органических удобрениях для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель по областям республики**

Область	Требуется в год	
	тыс. т	т/га
Брестская	10670,5	15,5
Витебская	6497,5	8,3
Гомельская	14728,4	18,3
Гродненская	8913,1	12,4
Минская	13548,3	11,7
Могилевская	7616,2	10,4
<b>Беларусь</b>	<b>61974,0</b>	<b>12,5</b>

**Расчет возможных объемов производства органических удобрений и других источников для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель.** Из видов органических удобрений наибольший эффект на воспроизводство органического вещества почвы оказывают подстилочный навоз, подстилочный птичий помет и торфонавозные компосты. Жидкий навоз, навозные стоки и органические удобрения, получаемые на выходе биогазовых установок (эффлюент), близки к минеральным удобрениям. Поэтому при учете и внесении органических удобрений все их виды переводятся в условный навоз, используя соответствующие коэффициенты. Доза внесения различных видов навоза устанавливается по содержанию в нем азота через коэффициенты корректировки в подстилочный навоз (табл. 6).

Таблица 6

**Коэффициенты перевода различных видов органических удобрений в условный навоз при учете удобрений и их внесении**

Вид органических удобрений	Коэффициенты перевода органических удобрений в условный навоз	
	при учете удобрений	при расчете их доз
Все виды подстилочного навоза, торфонавозного компоста	1,0	1,0
Полужидкий навоз крупного рогатого скота	0,6	0,6
Полужидкий свиной навоз	0,6	0,8
Жидкий навоз крупного рогатого скота	0,2	0,35
Жидкий свиной навоз	0,2	0,45
Навозные стоки	0,06	0,1
Куриный помет	1,7	3,0
Подстилочный помет	2,0	4,0
Сапропелевые удобрения органического типа	0,5	0,8

Влияние органических удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур определяется в основном содержанием в них азота, в первую очередь в аммонийной форме. В подстилочном навозе доля аммонийного азота составляет 20–30 %, в жидком навозе – 50–70 %, в свиных навозных стоках – до 90 % от общего его содержания в удобрении. Эта форма азота хорошо усваивается растениями в первый год. Органически связанная часть азота в доступную для растений форму

превращается по мере минерализации органического вещества. В связи с этим жидкие органические удобрения по влиянию на урожайность более эффективны в год внесения, а для твердых органических удобрений характерно пролонгированное действие в течение 3–5 лет. Фосфор, содержащийся в жидком навозе, используется растениями лучше, чем фосфор минеральных удобрений. Калий в жидком навозе представлен растворимой формой и легко усваивается растениями.

В целом по Беларуси для расчета содержания элементов питания в условном навозе приняты средние величины содержания элементов питания из расчета на 1 т условного навоза: N – 3,5 кг, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 1,8 кг, K<sub>2</sub>O – 3,4 кг. В сельскохозяйственных организациях содержание элементов питания должно определяться в каждом конкретном виде навоза. На основании этих данных должны рассчитываться дозы внесения органических удобрений.

Нормативная прибавка от 1 т условного навоза для озимых зерновых составляет 25 кг зерна, картофеля – 105 кг клубней, сахарной свеклы – 125 кг корнеплодов, кормовых корнеплодов – 200 кг корней, кукурузы на силос – 190 кг зеленой массы, всех культур на пашне – 30 кормовых единиц.

Выход навоза зависит от вида животных, количества подстилки и продолжительности стойлового периода. Для расчета выхода экскрементов все поголовье скота переводится в условные головы по коэффициентам: коровы и быки – 1,0, прочий крупный рогатый скот – 0,6, свиньи – 0,3, овцы и козы – 0,1, лошади – 1,0, птица – 0,02. В сутки от одной условной головы выход экскрементов составляет 40 кг. В качестве годового норматива выхода экскрементов с учетом 15 % потерь при хранении принято 9,5 т на условную голову. К общему количеству экскрементов от всех видов животных прибавляется вес подстилки и определяется выход подстилочного навоза в целом по хозяйству. При расчете выхода жидкого навоза к количеству экскрементов добавляется количество воды, используемой для гидросмыва.

По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь на 01.01.2020 г., в сельскохозяйственных организациях насчитывалось 4201,7 тыс. голов крупного рогатого скота, 2544,8 тыс. голов свиней, 48190,8 тыс. голов птицы, 15,3 тыс. лошадей и 13,3 тыс. овец, что в пересчете составило 4838,4 тыс. условных голов скота. Расчеты показали, что с учетом имеющегося поголовья скота годовой выход экскрементов составляет 46,0 млн т. При сложившейся системе содержания животных в сельскохозяйственных организациях республики для подстилки необходимо 4,8 млн т соломы. В результате прогнозный выход органических удобрений составит **50,8 млн т в год** (табл. 7).

Таблица 7

**Возможные объемы заготовки органических удобрений  
в сельскохозяйственных организациях Беларуси**

Область	Поголовье скота на 01.01.2020 г., тыс. условных голов	Выход экскрементов, тыс. т	Требуется на подстилку соломы, тыс. т	Выход органических удобрений, тыс. т в год
Брестская	876,8	8329,4	869,8	9199,2
Витебская	647,3	6149,6	641,0	6790,6
Гомельская	693,2	6585,2	680,0	7265,2
Гродненская	786,9	7475,5	769,3	8244,8
Минская	1246,4	11840,6	1284,2	13124,8
Могилевская	587,8	5583,9	601,1	6185,0
<b>Беларусь</b>	<b>4838,4</b>	<b>45964,2</b>	<b>4845,4</b>	<b>50809,6</b>

Таким образом, расчеты показали, что, с учетом потребности для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель и прогнозных объемов заготовки органических удобрений, дефицит их составляет в целом по республике 11,2 млн т, или 2,3 т/га (табл. 8).

Таблица 8

**Баланс органических удобрений по областям республики**

Область	Потребность		Выход		Баланс, тыс. т
	тыс. т	т/га	тыс. т условного навоза	т/га	
Брестская	10670,5	15,5	9199,2	13,1	-1471,3
Витебская	6497,5	8,3	6790,6	8,6	293,1
Гомельская	14728,4	18,3	7265,2	8,9	-7463,2
Гродненская	8913,1	12,4	8244,8	11,2	-668,3
Минская	13548,3	11,7	13124,8	11,1	-423,5
Могилевская	7616,2	10,4	6185,0	8,3	-1431,2
<b>Беларусь</b>	<b>61974,0</b>	<b>12,5</b>	<b>50809,6</b>	<b>10,2</b>	<b>-11164,4</b>

Для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в почвах необходимо дополнительно использовать все возможные источники органического вещества, включая солому и сидераты. Ценность соломы как удобрения обусловлена высоким содержанием в ней органического вещества. По содержанию углерода солома в 3,5–4,0 раза превосходит подстилочный навоз. Из 1 т соломы может синтезироваться 105–200 кг гумуса, а из 1 т подстилочного навоза – 30–50 кг.

Общее количество соломы, которое может быть использовано в качестве удобрения (с заделкой в почву), рассчитывается по валовому сбору товарной продукции той или иной культуры с учетом коэффициента перевода зерна и семян в солому (приложение 3). Количество соломы для использования на удобрение определяется по результатам баланса, который необходимо проводить в каждом хозяйстве. Расчет баланса соломы проводится по следующим статьям:

– *общий выход соломы* ( $C_1$ ):

$$C_1 = V_1K_1 + V_2K_2 + V_3K_3 + \dots + V_nK_n,$$

где  $V$  – валовой сбор зерна или семян разных культур,  $K$  – коэффициенты пересчета в солому;

– *потребность в соломе на корм животным* ( $C_2$ ):

$$C_2 = P_c \cdot П \cdot 220 \cdot 1,25 \cdot 0,001,$$

где  $P_c$  – суточный рацион, кг;  $П$  – поголовье скота, условные головы (перевод в условные головы проводят по коэффициентам: коровы и быки – 1,0; прочий крупный рогатый скот – 0,6; свиньи – 0,3; овцы и козы – 0,1; лошади – 1,0; птица – 0,02); 220 – средний стойловый период, дней; 1,25 – коэффициент страхфонда; 0,001 – коэффициент пересчета в тонны;

– *солома для силосования* ( $C_3$ );

– *солома на подстилку* ( $C_4$ ):

$$C_4 = H_n \cdot П \cdot 270 \cdot 0,001,$$

где  $H$  – норма подстилки в сутки, кг;  $П$  – поголовье скота, условные головы; 270 – средняя продолжительность подстилочного периода, дней; 0,001 – коэффициент пересчета в тонны;

– солома для хозяйственных нужд населения ( $C_5$ ):

$$C_5 = X \cdot 1,5,$$

где  $X$  – количество работников, которым требуется солома для хозяйственных нужд; 1,5 – норма соломы на 1 работника, т;

– солома на удобрение (непосредственная заделка в почву) ( $C_6$ ):

$$C_6 = C_1 - (C_2 + C_3 + C_4 + C_5).$$

На основании фактической урожайности сельскохозяйственных культур за последние 5 лет и соответствующих нормативов (приложение 3) рассчитан примерный баланс соломы по областям республики. В среднем ежегодно возможно заделывать в почву около 3,2 млн т соломы зерновых культур, рапса и листостебельной массы кукурузы, убираемой на зерно, что в пересчете на условный навоз составляет **11,2 млн т** (табл. 9).

Таблица 9

**Баланс органических удобрений с учетом использования  
в качестве удобрений соломы**

Область	Потребность		Выход (в пересчете на условный навоз)				Баланс, млн т
	млн т	т/га	всего		в том числе за счет, млн т		
			млн т	т/га	навоза и компостов	соломы	
Брестская	10,7	15,5	11,6	16,2	9,2	2,4	+0,9
Витебская	6,5	8,3	8,0	10,4	6,8	1,2	+1,5
Гомельская	14,7	18,3	8,6	10,7	7,3	1,3	-6,1
Гродненская	8,9	12,4	10,4	14,0	8,2	2,2	+1,5
Минская	13,5	11,7	16,0	13,5	13,1	2,9	+2,5
Могилевская	7,6	10,4	7,4	9,7	6,2	1,2	-0,2
<b>Беларусь</b>	<b>62,0</b>	<b>12,5</b>	<b>62,0</b>	<b>12,2</b>	<b>50,8</b>	<b>11,2</b>	<b>0</b>

Общий объем применения органических удобрений составит **62,0 млн т**, в том числе за счет внесения навоза и компостов – 50,8 млн т, за счет запахивания соломы – 11,2 млн т. За счет этих источников возможно обеспечить их положительный баланс в Брестской, Витебской, Гродненской, Минской областях. В Могилевской и особенно в Гомельской областях отмечается недостаток органических удобрений для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в почвах. Поэтому в структуре посевных площадей рекомендуется вводить не менее 10 % промежуточных (познивных, поукосных) культур. Включение в севообороты промежуточных культур обеспечит также повышение использования агроклиматических ресурсов, улучшение биологической активности почвы, увеличение содержания в ней лабильного гумуса.

**Технологические аспекты повышения эффективности органических удобрений.** Повышения эффективности органических удобрений возможно достичь посредством совершенствования машинных технологий, соблюдения технологии приготовления компостов, правильного хранения и внесения в лучшие агротехнические сроки, быстрой заделки после внесения.

Снижение удобрительной ценности навоза происходит в результате потерь в процессе производства и хранения. Из 100 т соломистого навоза при хранении

в неуплотненных буртах, особенно при беспорядочном хранении, теряется до 200 кг азота. Одной из главных причин низкой эффективности органических удобрений является неравномерное внесение из-за плохих физико-механических свойств и несвоевременной заделки в почву. Неравномерность их внесения не только уменьшает урожайность, но и влияет на качество урожая, приводит к усилению пестроты почвенного плодородия и загрязнению окружающей среды.

Эффективность органических удобрений снижается также из-за того, что в самой массе удобрения элементы питания распределены неравномерно. Для повышения эффективности применения компостов необходимо перемешивание компостной смеси в период закладки и компостирования. Готовые компосты должны иметь мелкокомковатую сыпучую структуру. В компостах должны отсутствовать яйца и личинки гельминтов, патогенная микрофлора в опасных концентрациях, жизнеспособные семена сорняков.

Технологический процесс производства компостов включает выполнение следующих основных операций: подготовку площадки; формирование влагопоглощающей подушки; формирование бурта; 1–2 перебивки бурта; погрузку и транспортирование к месту внесения. Место для компостирования следует выбирать исходя из наименьших затрат на погрузку и перевозку используемых компонентов, а также на погрузку и транспортировку приготовленного компоста на поля. Готовить компосты следует на специально оборудованных площадках, имеющих бетонное или упрощенное грунтовое покрытие, у ферм или на краю поля.

В процессе компостирования органические соединения навоза превращаются в легкоусвояемую для растений форму, уничтожаются патогенная микрофлора, яйца и личинки гельминтов, семена сорных растений, разлагаются антибиотики. Скорость разложения органического вещества зависит от условий увлажнения, температуры и аэрации навоза. Наиболее интенсивно навоз разлагается при влажности 55–75 %. При снижении влажности скорость разложения резко замедляется. Особенно сильно влияет на темпы разложения аэрация. Чем больше кислорода воздуха поступает в штабель навоза, тем интенсивнее и при более высокой температуре идет этот процесс. Аэрация и температура при разложении навоза зависят от объема штабеля и степени его уплотнения и увлажнения.

Сроки компостирования подстилочного навоза и компостов зависят от температуры воздуха. Лучшие термические условия создаются при весенне-летнем сроке компостирования. Уничтожение семян сорных растений и дегельминтизация наиболее активно протекают при температуре в бурте выше 50 °С (термофильный режим). При достижении в смеси температуры 55 °С, полная дегельминтизация наступает через четверо суток. Из-за неодинаковой температуры по сечению бурта в реальных условиях период дегельминтизации увеличивается до 1 месяца при положительной температуре наружного воздуха. При более низких температурах компост обезвреживается только через 4 месяца, при этом семена сорняков могут оставаться всхожими. Потеря всхожести сорняков наблюдается при температуре 40 °С через 4 недели, при 43 °С – через 3 недели, при 50 °С – через неделю, при 55 °С – через двое суток.

При устойчивых отрицательных температурах потери тепла из штабеля превышают выделение тепла в результате микробиологических процессов. Процесс

компостирования затухает и прекращается, смесь замерзает и консервируется. Для прохождения процесса компостирования в зимнее время бурты необходимо укрывать слоем торфа или соломы толщиной не менее 20–30 см, что невыгодно экономически и технически. Поэтому наиболее рациональным приемом при работе в зимнее время является накопление смеси в одном сплошном штабеле максимально возможной высоты. С наступлением положительных температур, после оттаивания, смесь зимнего приготовления перебивается и рыхло укладывается в бурты для прохождения биотермического процесса. В результате компостирования навоза органическая масса становится более однородной, в результате чего улучшается качество распределения удобрений по поверхности поля.

В зависимости от стадии разложения навоз, приготовленный на соломенной подстилке, подразделяют на свежий, полуперепревший, перепревший и перегной. Свежий навоз представляет собой слаборазложившуюся массу, солома в которой незначительно изменяет цвет и прочность. Полуперепревший навоз – солома приобретает темно-коричневый цвет, теряет прочность и легко разрывается. В этой стадии разложения навоз теряет 10–30 % первоначальной массы и такое же количество органического вещества. Перепревший навоз представляет собой однородную массу. Солома разлагается настолько, что нельзя обнаружить отдельные соломины. При доведении до такой степени разложения убыль массы навоза и потери сухого органического вещества достигают 50 %. Перегной – рыхлая темная масса. В этой стадии разложения навоз теряет до 75 % массы и сухого органического вещества.

На дерново-подзолистых почвах наиболее эффективно действие полуперепревшего навоза, полученного при плотном (холодном) способе хранения. Не следует доводить навоз до перепревшего или перегнойного состояния. При длительном хранении навоза содержание органического вещества уменьшается в 2–3 раза, при этом теряется значительное количество азота. Не рекомендуется вносить и свежий навоз, так как в нем содержится большое количество семян сорных растений и возбудителей болезней.

В свежем курином помете, как правило, нет аммиачных форм азота, но при хранении в кучах помет сильно разогревается, и вследствие превращения мочевой кислоты в аммиачные соединения азот улетучивается. Потери азота при таком хранении за 1,5–2 месяца могут достигать 30–60 %. Эти потери можно устранить, если свежий помет компостировать с торфом, соломой или опилками. Куриный помет по своим удобрительным качествам превосходит навоз, а по скорости действия не уступает минеральным удобрениям.

Оптимальный срок внесения подстилочного навоза и компостов на всех почвах, за исключением избыточно увлажненных песчаных, – осенью под зябь. По данным исследований, на связных дерново-подзолистых почвах агрономическая эффективность осеннего и весеннего внесения навоза примерно одинаковая. Однако осеннее внесение навоза имеет организационное преимущество. Традиционно сложившаяся практика использования основного количества органических удобрений в период посева яровых культур создает большое напряжение в весенне-полевых работах, отрицательно сказывается на качестве распределения по полю и заделке удобрений, приводит к переуплотнению почвы и затягиванию сроков сева. Переуплотнение почв ходовыми системами мобильных машин нарушает условия роста и развития растений, снижает урожайность

сельскохозяйственных культур по следу колесных машин на 15–25 %, повышает удельное сопротивление почв при последующей обработке в 1,5–1,9 раза, ухудшает рельеф поверхности полей.

Для обеззараживания жидкого навоза его следует хранить 6 месяцев. При хранении он расслаивается на твердую и жидкую части, которые имеют различную удобрительную ценность. Для равномерного внесения жидкого навоза по полю, а также для более надежной работы насосов цистерн-разбрасывателей нельзя допускать расслоение навоза, его следует перемешивать в хранилищах с помощью специальных устройств.

Для эффективного использования бесподстилочного навоза в качестве удобрения необходимо соблюдать следующие требования. Доза внесения определяется по потребности растений в азоте на планируемую урожайность с учетом содержания его в навозе, коэффициента использования, степени окультуренности почвы и наличия удобрений в хозяйстве. Применять жидкий навоз рекомендуется на тех полях, где его можно быстро заделать в почву. В осеннее время бесподстилочный навоз рекомендуется вносить в первую очередь на полях с высокой емкостью поглощения. Следует избегать внесения навоза в зимний период на затопляемых весной участках, а также на склонах, где возможен смыв удобрений талыми водами. На склонах можно применять жидкий навоз только при условии своевременной заделки в почву.

Твердые виды органических удобрений наиболее эффективны при внесении под пропашные и озимые зерновые культуры, т. е. культуры с длительным периодом вегетации. Жидкий навоз следует вносить под культуры, усваивающие большое количество элементов питания уже с самого начала вегетации: кукуруза, кормовые корнеплоды, однолетние и многолетние травы. При условии равномерного распределения по полю жидкий навоз дает хорошие результаты при внесении под яровые зерновые культуры.

**Воспроизводство органического вещества на отдаленных от ферм участках.** В связи с высокой стоимостью транспортировки органических удобрений вблизи животноводческих комплексов и ферм целесообразно размещать севообороты с насыщением пропашными культурами, характеризующимися большой потребностью в органических удобрениях. Воспроизводство гумуса в почвах в таких севооборотах осуществляется преимущественно за счет традиционных органических удобрений. На удаленных от комплексов и ферм полях следует размещать зернотравяные и травяно-зерновые севообороты. В этих севооборотах воспроизводство плодородия почв можно обеспечить за счет послеуборочных остатков многолетних трав и зерновых культур, включая использование на удобрение соломы, а также сидератов.

Солома является одним из самых дешевых и доступных источников органического вещества. Измельчение соломы зерновых, зернобобовых, рапса, гречихи и кукурузы осуществляется во время уборки комбайнами, оборудованными измельчителями. От длины резки соломы зависит скорость разложения ее в почве: чем короче солома, тем быстрее она минерализуется. Измельченную солому необходимо максимально равномерно распределять по полю во избежание увеличения пестроты почвенного плодородия.

Не следует оставлять солому на полях, где планируется обработка глифосат-содержащими гербицидами, так как эффективность обработки будет снижаться

из-за неполного покрытия препаратом всходов сорняков. Не следует измельчать солому на полях, где планируется посев озимого рапса, так как солома будет препятствовать качественному севу и равномерным всходам.

На полях, куда не вносится навоз, отмечается низкая биологическая активность почвы. Заделка соломы без компенсирующих доз азота на таких участках приводит к угнетению растений последующей культуры. Поэтому для ускорения минерализации соломы и снижения негативного эффекта на таких почвах обязательным агроприемом является внесение компенсирующих доз азота в виде КАС, карбамида или жидкого навоза по измельченной соломе в дозе 30–50 т/га. Солома с жидким навозом по своему действию на содержание гумуса и урожайность сельскохозяйственных культур не уступает подстилочному навозу. После внесения компенсирующих доз азота по соломе в максимально сжатые сроки проводят лущение на глубину 10–12 см. Через 3–4 недели после прорастания сорных растений и падалицы предшествующей культуры проводят вспашку.

В Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь, внесено микробиологическое удобрение Жыцень, предназначенное для ускорения разложения растительных остатков и подавления патогенной микрофлоры. Данный микробный препарат активизирует биологическую активность почвы, ускоряет разложение соломы и снижает ее негативное влияние на рост и развитие последующей культуры. Жыцень рекомендуется применять по соломе в дозе 3 л/га с последующей заделкой в почву.

Эффективным приемом улучшения гумусового состояния и биологической активности почвы является совместное использование соломы и сидератов. После заделки сидерата зеленая масса быстро минерализуется, высвобождая элементы питания, что приводит к их непроизводительным потерям на почвах легкого гранулометрического состава. Так, отношение углерода к азоту в зеленой массе люпина составляет 12 : 1, а при совместном использовании зеленого удобрения и соломы разложение органического вещества протекает при отношении C : N в пределах 20–30 : 1, т. е. этот показатель приближается к оптимальному.

В качестве промежуточной культуры, высеваемой по измельченной соломе, рекомендуется горчица белая, редька масличная, люпин сидеральный. Посев пожнивной культуры производится не позднее 3-й декады июля – 1-й декады августа. После измельчения соломы вносят азотные удобрения из расчета 60 кг/га действующего вещества или 30–50 т/га жидкого навоза, сразу проводят дискование на глубину 10–12 см и посев промежуточной культуры.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлова, Н. Е. Современные процессы гумусообразования в окультуренных дерново-подзолистых почвах северо-запада России / Н. Е. Орлова, Л. Г. Бакина // Агрохимия. – 2002. – № 11. – С. 5–12.

2. Тарасенко, С. А. Изменение плодородия дерново-подзолистых почв при применении органно-минеральных систем удобрения / С. А. Тарасенко // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 1. – С. 124–131.

3. *Андреева, И. М.* О процессах взаимодействия новообразованных гумусовых кислот с минеральной частью почвы / И. М. Андреева // Записки ЛСХИ. – 1970. – Т. 137. – С. 12–16.

4. *Завьялова, Н. Е.* Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на трансформацию органического вещества дерново-подзолистой почвы окультуренности / Н. Е. Завьялова, А. И. Косолапова, В. Р. Ямалтдинова // Агрохимия. – 2005. – № 6. – С. 5–10.

5. Методика крупномасштабного агрохимического и радиационного обследования почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 45 с.

6. Рекомендации по применению различных видов органических удобрений под сельскохозяйственные культуры / В.В. Лапа [и др.] / Ин-т почвоведения и агрохимии; под ред. В. В. Лапы. – Минск, 2010. – 40 с.

7. Параметры высвобождения элементов питания при заделке соломы в дерново-подзолистые почвы в зависимости от видового состава и удобрения азотом / Т. М. Серая [и др.] // Агрохимия. – 2013. – № 3. – С. 70–77.

8. Влияние заделки побочной продукции и минеральных удобрений на продуктивность звена севооборота и агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы / Т. М. Серая [и др.] // Агрохимия. – 2015. – № 11. – С. 30–36.

9. *Богатырева, Е. Н.* Влияние севооборотов и систем удобрения на показатели гумусного состояния дерново-подзолистых суглинистых почв разной степени эродированности / Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая, О. М. Бирюкова // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1 (№ 58). – С. 85–94.

## **INCREASING THE STOCK OF ORGANIC SUBSTANCE IN SOILS AGRICULTURAL LANDS OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

**T. M. Seraya, I. M. Bogdevich, E. N. Bahatyrova, I. S. Stanilevich**

### **Summary**

The article presents an analysis of the dynamics of organic matter in soils and the distribution of soils of arable and meadow lands by humus content groups according to the latest data of the large-scale agrochemical survey of soils of the republic (2015–2018). In order to increase the reserves of organic matter, optimal ratios of row crops and perennial grasses in the structure of sown areas are proposed, the need for organic fertilizers is determined and the calculation of possible volumes of production of organic fertilizers and other sources to ensure a deficiency-free balance of humus in the soils of arable lands is given. In the process of applying organic fertilizers, technological aspects of increasing the efficiency of their use are presented.

*Поступила 06.12.21*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЫРОМОЛОТОГО ДОЛОМИТА В ДЕЙСТВИИ И ПОСЛЕДЕЙСТВИИ НА ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ И ЛЕГКОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ**

**Г. В. Пироговская<sup>1</sup>, В. И. Сороко<sup>1</sup>, С. С. Хмелевский<sup>1</sup>,  
А. С. Максимчук<sup>1</sup>, И. Е. Ермолович<sup>1</sup>, К. В. Даниленко<sup>1</sup>, В. Б. Леонтьев<sup>2</sup>,  
И. А. Кривко<sup>2</sup>, О. Н. Коваленко<sup>2</sup>, А. С. Гапечкина<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Институт почвоведения и агрохимии,*

*г. Минск, Беларусь*

*<sup>2</sup>Витебская ОПИСХ,*

*г. Витебск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В современной земледелии за счет минеральных удобрений получают до 60 % прибавок урожаев сельскохозяйственных культур. Высокая отдача от удобрений возможна только при оптимизации реакции почвенного раствора, достигаемой внесением известковых мелиорантов [1, 2, 3]. Интенсивность и скорость действия извести на свойства почвы в значительной степени зависит от дозы, тонины размола, формы, повторности применения, степени кислотности, гранулометрического состава почв и других факторов [4–12].

В настоящее время в технологии известкования кислых почв в Республике Беларусь в качестве основного мелиоранта используется известняковая доломитовая мука производства ОАО «Доломит». Эффективность доломитовой муки в качестве известкового материала оценена в многочисленных исследованиях: изучено ее влияние на состояние почвенного поглощающего комплекса, эффективность минеральных удобрений, подвижность микроэлементов и т. д. Определена периодичность повторного известкования пахотных почв и перезалужаемых земель, агрохимического обследования почв [13]. Изучается опыт применения и других известковых материалов для повышения эффективности химической мелиорации [14].

Стоимость комплекса работ по известкованию почв достаточно высокая и значительная часть затрат приходится на применяемые мелиоранты. Известкование сыромолотым доломитом значительно дешевле стандартной доломитовой муки. В настоящее время на ОАО «Доломит» производится усовершенствование технологии производства доломитовых удобрений, в частности получение сыромолотого доломита, который производится по тому же ГОСТ, что и доломитовая мука, отличается маркой, классом и группой. Получают его при размоле доломита, исключается стадия сушки и помола, идет только стадия дробления и сортировки. Дробленный доломит, пропущенный через сито 5 мм, в дальнейшем называют сыромолотым доломитом.

Что касается эффективности сыромолотого доломита, то таких исследований недостаточно. Поисковые работы в данном направлении проводились в Россий-

ской Федерации. Однако какой-либо закономерности динамики изменения величины рН от его внесения за 6 лет проведения опытов установить исследованиями не удалось. Это, вероятно, связано с неравномерным гранулометрическим составом частиц доломитовых фракций [15]. В Германии также известкование в большей мере проводится известковыми мелиорантами из твердых горных пород в сыромолотом виде. Показана их высокая агрономическая и экономическая эффективность под сельскохозяйственные культуры [16].

В Республике Беларусь проводились исследования по оценке эффективности отдельных фракций сыромолотого доломита на урожайность многолетних и однолетних трав, зерновых культур и картофеля на легких и легкосуглинистых почвах в краткосрочных опытах [3, 17, 18]. Сыромолотый доломит признан эффективным мелиорантом для поддерживающего известкования почв сельскохозяйственных угодий. Он обеспечивает большую длительность и постепенность взаимодействия с почвой по сравнению со стандартной доломитовой мукой, является перспективным мелиорантом, эффективность его сопоставима со стандартными мелиорантами. Использование сыромолотого доломита может в значительной степени снизить материальные затраты на комплекс мероприятий при проведении известкования сельскохозяйственных угодий в республике. Нерешенными остаются вопросы рационального его использования в сельскохозяйственном производстве, не установлена периодичность внесения на почвах различного гранулометрического состава, не подобран комплекс машин для внесения, обеспечивающих равномерность внесения его по площади поля. Эти исследования приобретают особую актуальность и имеют большое народнохозяйственное значение, так как уже с 2021–2023 гг. на ОАО «Доломит» предполагается выпуск и широкое внедрение сыромолотого доломита в практику сельскохозяйственного производства.

Имеется ряд поручений Совета Министров Республики Беларусь относительно проведения исследований о возможности использования сыромолотого доломита в сельском хозяйстве. В поручении № 04/44пр от 4 октября 2018 г. Минстройархитектуре, Минсельхозпроду, РУП «Институт почвоведения и агрохимии» ставится задача провести сравнительную оценку преимущества использования сыромолотого доломита в качестве удобрения для раскисления почв по сравнению с доломитовой мукой. Принято решение в порядке эксперимента провести производственные испытания по изучению влияния сыромолотого доломита на раскисление почв в следующих районах Витебской области: Витебском, Лиозненском, Городокском и Шумилинском районах (производственные опыты заложены в 2019 г.). В протоколе поручений Премьер-министра Республики Беларусь Румаса С. Н. № 02/2пр (приложение 2, пункт 5) от 7 марта 2019 г. рекомендуется Минсельхозпроду совместно с облисполкомами обеспечить завершение конкурсов на проведение в 2020 г. работ по раскислению почв. В Поручении № 04/200-481/6719р от 12 июня 2019 г. (приложение 3) провести необходимые технологические исследования, определить приоритетное направление известкования почв (с учетом эффективности использования раскисляющих материалов, стоимости их доставки и внесения, а также наличия необходимой транспортной, складской инфраструктуры и средств механизации) и на основании предполагаемого финансирования представить в Правительство Республики Беларусь и Минскстройархитектуры реальную потребность сельского хозяйс-

тва республики в сыромолом доломите и пылевидной доломитовой муке на 2021–2025 гг.

В связи с вышеизложенным считаем, что научно-исследовательские работы, направленные на изучение эффективности сыромолого доломита производства ОАО «Доломит» в действии и последствии при поддерживающем известковании кислых пахотных земель, установление его влияния на сдвиг почвенной кислотности, урожайность, качество продукции, плодородие почвы, необходимы для подготовки рекомендаций по его применению в сельскохозяйственном производстве, что и определило цель и задачи наших исследований.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Объекты исследований** – известковые мелиоранты (доломитовая мука, сыромолотый доломит), почвы – дерново-подзолистые рыхлосупесчаные (Минская область), связносупесчаные и легкосуглинистые (Витебская область).

**Предмет исследований** – доломитовая мука и сыромолотый доломит – по ГОСТ 14050-93, смесь стандартных удобрений.

**Место проведения исследований:** полевые опыты в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области, производственные опыты в Витебском, Лиозненском, Городокском и Шумилинском районах Витебской области.

Сельскохозяйственные культуры (2019–2021 гг.):

- просо (2019 г.) – овес (2020 г.) – ячмень (2021 г.) – звено севооборота на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского Узденского района Минской области);

- горох (2019 г.) – яровая пшеница (2020 г.) – ячмень (2021 г.) – звено севооборота в Витебском районе (ф/л «Рудаково») и пшеница яровая (2019 г.) – горохо-овсяная смесь (2020 г.) – ячмень (2021 г.) – звено севооборота в Лиозненском районе (ОАО «Адаменки») на пахотных дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах;

- многолетние бобово-злаковые травосмеси (2019–2021 гг.) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в Городокском районе (УП «Северный») и многолетние злаковые травосмеси в Шумилинском районе (КУСХП «Сиротинский») на дерново-подзолистой связносупесчаной почве.

Площадь делянок в полевых опытах на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве – 24 м<sup>2</sup>, повторность – 4-кратная.

Площадь и количество элементарных участков в производственных опытах: в Витебском районе (6 элементарных участков с рН от 4,99 до 5,40, площадь – 19,4 га), Лиозненском (8 элементарных участков с рН от 4,92 до 5,56, площадь 21,9 га), в Городокском (6 элементарных участков с рН от 4,33 до 5,11, площадь – 18,1 га), в Шумилинском (6 элементарных участков с рН<sub>KCl</sub> от 5,18 до 5,48, площадь – 18,1 га).

Удобрения и мелиоранты в полевых опытах вносили вручную, равномерно по всей площади делянки, в производственных – машинами для внесения известковых мелиорантов (МТТ-4У, РУ-7000, МБУ-6).

Важнейшим условием получения достоверных результатов при проведении полевых и производственных опытов является высокая качественность и одновременность выполнения всех агротехнических работ на всех вариантах и повторениях. Все работы по обработке почвы, севу, уходу за посевами выполняли в оптимальные сроки (с учетом метеорологических условий) и в течение одного дня.

Агротехника возделываемых культур общепринятая для Республики Беларусь [19–21].

Уход за посевами (обработка посевов против сорняков, вредителей и болезней) проводилась разрешенными препаратами, которые внесены в «Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь» [22]. Исследования проводили согласно существующим методикам по закладке полевых и производственных опытов [23].

Почвенные образцы отбирали в полевых опытах из пахотного горизонта почвы, в которых определялись изучаемые показатели следующими методами:

- гумус – по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-84);
- обменная кислотность рН (КСІ) – потенциметрический (ГОСТ 26483-85);
- содержание подвижного фосфора – по Кирсанову на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 26207-84);
- содержание подвижного калия – по Кирсанову на пламенном фотометре (ГОСТ 280207-84);
- кальций и магний на атомно-абсорбционном спектрофотометре;
- отбор проб – ГОСТ 26483-85.

Отбор растительных образцов (основной и побочной продукции) и их анализ проводили, согласно существующих ГОСТ и ОСТ:

- отбор проб – ГОСТ 18691-83;
- определение азота, фосфора, калия, кальция, магния, серы после мокрого озоления (смесью серной кислоты и перекиси водорода) общепринятыми методами: азот – ГОСТ 13496.4-93 п. 2; фосфор – спектрофотометрически; калий – на пламенном фотометре; кальций – ГОСТ 26570-95; магний ГОСТ 30502-97 – на атомно-адсорбционном спектрофотометре сера – фотоколориметрическим методом;
- сухое вещество – весовым методом;

Гидротермический коэффициент (ГТК) определялся по формуле Г. Т. Селянинова:

$$\text{ГТК} = (\sum X \cdot 10) / \sum T,$$

где  $\sum X$  – сумма осадков за период;  $\sum T$  – сумма положительных температур воздуха за тот же период.

Статистическая обработка результатов исследований проведена по Б. А. Доспехову с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на персональном компьютере, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы Excel [23].

Температура воздуха и осадки приведены по данным наблюдений в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» (Узденский район Минской области), а по Витебской области – по данным метеостанции г. Витебска.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условия (температура воздуха, количество выпавших атмосферных осадков и гидротермический коэффициент с апреля по август 2019–2021 гг.) при возделывании проса, овса и ячменя в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области и по Витебской области приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Метеорологические условия проведения исследований  
(ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района,  
Минской области и Витебская область)**

Год	Показатель	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	За 4–8 месяц	За 5–8 месяц
ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» (Минская область)								
2019 г.	Осадки, мм	0,0	48,9	40,8	65,4	89,5	244,6	244,6
	$t^{\circ}\text{C}$	8,1	14,2	17,4	19,7	17,0	15,28	17,08
	Сумма $t > 5-10^{\circ}\text{C}$	243	440,2	522	610,7	527,0	2342,9	2099,9
	ГТК	–	1,11	0,78	1,07	1,70	1,04	1,16
2020 г.	Осадки, мм	7,7	51,0	70,0	157,5	54,7	340,9	333,2
	$t^{\circ}\text{C}$	6,7	11,1	19,4	17,8	18,2	14,6	16,6
	Сумма $t > 5-10^{\circ}\text{C}$	201,0	344,1	582,0	551,8	564,2	2243,1	2042,1
	ГТК	–	1,48	1,20	2,85	0,97	–	1,63
2021 г.	Осадки, мм	31,0	136,2	81,6	54,8	75,0	378,6	347,6
	$t^{\circ}\text{C}$	6,3	12,0	19,8	22,5	17,4	15,6	17,9
	Сумма $t > 5-10^{\circ}\text{C}$	189,0	372,0	594,0	697,5	538,4	2391,6	2202,7
	ГТК	–	3,66	1,37	0,79	1,39	–	1,58
Средне- голетнее	Осадки, мм	48,0	61,0	81,0	90,0	83,0	363,0	315,0
	$t^{\circ}\text{C}$	5,3	12,4	16,1	17,6	16,3	13,54	15,6
	Сумма $t > 5-10^{\circ}\text{C}$	159,0	384,4	483,0	545,6	505,3	2077,3	1918,3
	ГТК	–	1,59	1,68	1,65	1,64	–	1,64
г. Витебск								
2019 г.	Осадки, мм	1,0	85,0	38,0	183,0	93,0	400,0	399,0
	$t^{\circ}\text{C}$	8,2	14,4	20,8	16,1	16,9	15,3	17,1
	Сумма $t > 5-10^{\circ}\text{C}$	246,0	446,4	624,0	499,1	523,9	2339,4	2093,4
	ГТК	–	1,90	0,61	3,67	1,78	–	1,91
2020 г.	Осадки, мм	29,0	43,0	87,0	142,0	43,0	344,0	315,0
	$t^{\circ}\text{C}$	6,0	11,1	19,8	17,8	17,7	14,5	16,6
	Сумма $t > 5-10^{\circ}\text{C}$	180,0	344,1	594,0	551,8	548,7	2218,9	2038,9
	ГТК	–	1,25	1,46	2,57	0,78	–	1,54
2021 г.	Осадки, мм	34,0	91,0	29,0	21,0	98,0	273,0	239,0
	$t^{\circ}\text{C}$	6,6	12,7	20,3	23,1	17,9	16,1	18,5
	Сумма $t > 5-10^{\circ}\text{C}$	198,0	393,7	609,0	716,1	554,9	2471,7	2273,7
	ГТК	–	2,31	0,48	0,29	1,77	–	1,05
Средне- голетнее за 1961–1990 гг.	Осадки, мм	39,0	52,0	79,0	92,0	73,0	335,0	296,0
	$t^{\circ}\text{C}$	5,5	12,7	16,0	17,1	15,9	13,4	15,4
	Сумма $t > 5-10^{\circ}\text{C}$	165,0	393,7	480,0	530,1	492,9	2061,7	1896,7
	ГТК	–	1,32	1,64	1,73	1,48	–	1,56

Выпадение осадков в течение вегетационных периодов при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях 2019–2021 гг. в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве было неравномерным и отличалось от среднемноголетних значений. За вегетационный период (4–8 месяц) в 2019 г. выпало 244,6 мм, в 2020 г. – 340,9 мм и за 2021 г. – 378,6 мм, при среднемноголетнем за 1961–1990 гг. – 363,0 мм. Гидротермический коэффициент (ГТК) в период от мая по август (апрель не учитывался, так как температура воздуха была меньше 10 °С) составил: в 2019 г. – 1,16, 2020 г. – 1,63 и 2021 г. – 1,58, при среднемноголетнем за 1961–1990 гг. – 1,64, что дает основание считать вегетационный период в 2019 г. – как слабозасушливый, 2020 г. – влажный и 2021 г. – оптимальный.

В Витебской области за вегетационный период (4–8 месяц) в 2019 г. выпало 400,0 мм, в 2020 г. – 344,0 мм и за 2021 г. – 273 мм, при среднемноголетнем за 1961–1990 гг. – 335,0 мм. Гидротермический коэффициент (ГТК) в период от мая по август составил: в 2019 г. – 1,91, 2020 г. – 1,54 и 2021 г. – 1,05, при среднемноголетнем за 1961–1990 гг. – 1,56. Вегетационный период в 2019 г. считается как влажный, 2020 г. – оптимальный и 2021 г. – слабозасушливый.

Данные агрохимических показателей в Апах горизонтах дерново-подзолистых легкосуглинистых и связносупесчаных почв (Витебская область) на элементарных участках в производственных опытах (перед внесением известковых мелиорантов) сбыли следующие:

- *Витебский район*: рН – 4,99–5,40; содержание органического вещества – 2,23–2,94 %;  $P_2O_5$  – 42–73 мг/кг почвы;  $K_2O$  – 127–240 мг/кг почвы; содержание  $CaO$  – 1370–1680 мг/кг почвы и  $MgO$  – более 451 мг/кг почвы; содержание микроэлементов: В – 0,37–0,45 мг/кг почвы;  $Cu$  – 2,20–2,90 мг/кг почвы;  $Zn$  – 2,70–5,70 мг/кг почвы;

- *Люзненский район*: рН – 4,92–5,56; содержание органического вещества – 1,99–2,23 %;  $P_2O_5$  – 135–171 мг/кг почвы;  $K_2O$  – 207–315 мг/кг почвы; содержание  $CaO$  – 1115–1179 мг/кг почвы и  $MgO$  – более 172–191 мг/кг почвы; В – 0,40–0,57 мг/кг почвы;  $Cu$  – 1,9–2,0 мг/кг почвы;  $Zn$  – 2,4–3,6 мг/кг почвы;

- *Городокский район*: рН – 4,33–5,11; содержание органического вещества – 3,17–3,20 %;  $P_2O_5$  – 49–66 мг/кг почвы;  $K_2O$  – 136–224 мг/кг почвы; содержание  $CaO$  – 1352 и  $MgO$  – 254 мг/кг почвы; В – 0,42–0,50 мг/кг почвы;  $Cu$  – 1,5–1,6 мг/кг почвы;  $Zn$  – 2,6–3,4 мг/кг почвы;

- *Шумилинский район*: рН – 5,18–5,48; содержание органического вещества – 3,20–3,73 %;  $P_2O_5$  – 250–297 мг/кг почвы;  $K_2O$  – 99–314 мг/кг почвы; содержание кальция – 1353–1815 и магния – 285–374 мг/кг почвы; В – 0,80–0,82 мг/кг почвы;  $Cu$  – 2,2–2,3 мг/кг почвы;  $Zn$  – 3,1–3,4 мг/кг почвы.

Влияние известковых мелиорантов (доломитовой муки и сыромолотого доломита) на урожайность культур звена севооборота: просо (2019 г.) – овес (2020 г.) – ячмень (2021 г.) на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве представлено в таблице 2. Данные показывают, что применение известковых мелиорантов (доломитовой муки и сыромолотого доломита) на фоне NPK эффективно в год действия (внесения) и в 1–2-й год их последействия. При этом следует отметить, что в 2020 г. (при влажном вегетационном периоде) наблюдалась только тенденция повышения урожайности (прибавки зерна овса были

в пределах от 2,8 до 4,2 ц/га, т. е. ниже НСР). Продуктивность в сумме за три года была самая высокая при использовании сыромолотого доломита, прибавки были достоверны как от доломитовой муки, так и сыромолотого доломита. Разница в продуктивности между этими известковыми мелиорантами (4,1 ц/га) была недостоверна.

Таблица 2

**Влияние известковых мелиорантов на урожайность и продуктивность культуры звена севооборота на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (ПРУП им. Котовского Узденского района Минской области)**

Варианты	Урожайность при влажности 14 %, ц/га						Продуктивность, ц/га к. ед.	
	просо (2019 г.)	± к фону	овес (2020 г.)	± к фону	ячмень (2021 г.)	± к фону	за 2019–2021 гг.	± к фону
Контроль без удобрений	19,6	–	39,6	–	20,5	–	109,9	–
N <sub>100</sub> P <sub>60</sub> K <sub>110</sub> – (фон)*	27,1	–	52,3	–	27,5	–	147,4	–
Фон + доломитовая мука ОАО «Доломит» (3,0 т/га CaCO <sub>3</sub> )	30,4	3,3	55,1	2,8	31,0	3,5	160,9	13,5
Фон + сыромолотый доломит (3,0 т/га CaCO <sub>3</sub> )	30,7	3,6	56,5	4,2	32,2	4,7	165,0	17,6
НСР <sub>05</sub>	2,78	–	4,32	–	2,13	–	12,7	–

\* Доза N<sub>100</sub>P<sub>60</sub>K<sub>110</sub> под ячмень (2021 г.), под просо и овес – N<sub>60</sub>P<sub>40</sub>K<sub>90</sub>.

Существенных различий в содержании элементов питания в зерне проса, овса и ячменя при внесении различных форм известковых мелиорантов (доломитовая мука и сыромолотый доломит) не наблюдалось (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние удобрений на содержание элементов питания в основной продукции культур звена севооборота на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве**

Варианты	Содержание, % на сухое вещество				
	N общ.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Зерно проса (в год действия, 2019 г.)					
Контроль без удобрений	1,26	1,07	0,34	0,21	0,14
N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>90</sub> (основное внесение) – фон	1,39	1,22	0,42	0,21	0,13
Фон + доломитовая мука ОАО «Доломит» (3,0 т/га CaCO <sub>3</sub> )	1,46	1,17	0,41	0,24	0,14
Фон + сыромолотый доломит (3,0 т/га CaCO <sub>3</sub> )	1,45	1,23	0,40	0,23	0,13
НСР <sub>05</sub>	0,11	0,05	0,07	0,03	0,01
Зерно овса (1-й год последствия, 2020 г.)					
Контроль без удобрений	0,76	0,29	0,26	0,15	0,32

Варианты	Содержание, % на сухое вещество				
	N общ.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>90</sub> (основное внесение) + N <sub>30</sub> (подкормка) – фон	0,79	0,33	0,29	0,14	0,31
Фон + доломитовая мука ОАО «Доломит» (3,0 т/га CaCO <sub>3</sub> )	0,75	0,37	0,31	0,15	0,26
Фон + сыромолотый доломит (3,0 т/га CaCO <sub>3</sub> )	0,74	0,32	0,29	0,14	0,29
НСП <sub>05</sub>	0,13	0,08	0,23	0,06	0,04
Зерно ячменя (2-й год последействия, 2021 г.)					
Контроль без удобрений	1,57	0,38	0,23	0,09	0,06
N <sub>100</sub> P <sub>60</sub> K <sub>110</sub> (основное внесение) + N <sub>30</sub> (подкормка) – фон	1,64	0,43	0,24	0,08	0,07
Фон + доломитовая мука ОАО «Доломит» (3,0 т/га CaCO <sub>3</sub> )	1,82	0,47	0,29	0,08	0,08
Фон + сыромолотый доломит (3,0 т/га CaCO <sub>3</sub> )	1,86	0,45	0,28	0,10	0,09
НСП <sub>05</sub>	0,11	0,05	0,06	0,03	0,007

Содержание элементов питания в основной продукции в вариантах с доломитовой мукой на фоне NPK составило: в зерне проса азота – 1,46 %, фосфора – 1,17, калия – 0,41; кальция – 0,24 и магния – 0,14 %; соответственно при внесении сыромолотого доломита – азота – 1,45 %, фосфора – 1,23, калия – 0,40; кальция – 0,23 и магния – 0,13 %. Соответственно в зерне овса при внесении доломитовой муки и сыромолотого доломита – азота – 0,75 и 0,74 %, фосфора – 0,37 и 0,32 %, калия – 0,31 и 0,29 %; кальция – 0,15 и 0,14 и магния – 0,26 и 0,29 %; в зерне ячменя – азота – 1,82 и 1,86 %, фосфора – 0,47 и 0,45, калия – 0,29 и 0,28; кальция – 0,08 и 0,10 и магния – 0,08 и 0,09 % (табл. 3).

На дерново-подзолистых связносупесчаных и легкосуглинистых почвах в производственных опытах (Витебская область) в год действия и 1–2-й год последействия известковых мелиорантов не установлено также существенного различия в изменении элементов питания в продукции возделываемых культур при внесении доломитовой муки и сыромолотого доломита.

Сдвиг почвенной кислотности от 1 т CaCO<sub>3</sub> известковых мелиорантов при возделывании культур звена севооборота (просо-овес-ячмень) на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве составил: от доломитовой муки в год действия (просо) – 0,093, от сыромолотого доломита – 0,080 ед. рН, соответственно в 1-й год последействия (овес) – 0,020 и 0,016 ед. рН, во 2-й год последействия (ячмень) от доломитовой муки – 0,053 и сыромолотого доломита – 0,073 ед. рН (табл. 4).

Во 2-й год последействия известковых мелиорантов на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах в звене севооборота (просо, овес, ячмень) наблюдалась обратная закономерность: при использовании доломитовой муки сдвиг почвенной кислотности от 1 т CaCO<sub>3</sub> был ниже, чем от 1 т CaCO<sub>3</sub> сыромолотого доломита, в то время как в год действия и 1-й год последействия он был выше на доломитовой муке (табл. 4).

**Влияние известковых мелиорантов на сдвиг почвенной кислотности в год действия и в 1–2-й год последействия на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве при возделывании культур звена севооборота**

Варианты	рН				Сдвиг от 1 т CaCO <sub>3</sub>		
	весна, 2019 г. (исходное)	осень, 2019 г. (просо)	осень, 2020 г. (овес)	осень, 2021 г. (ячмень)	год действия, 2019 г. (просо)	1-й год последействия, 2020 г. (овес)	2-й год последействия, 2021 г. (ячмень)
Контроль без удобрений	5,38	5,39	5,35	<u>5,32</u> -0,06**	–	–	–
N <sub>100</sub> P <sub>60</sub> K <sub>110</sub> – фон*	5,49	5,47	5,45	<u>5,29</u> -0,20**	–	–	–
Фон + доломитовая мука (3,0 т/га CaCO <sub>3</sub> )	5,37	5,65	5,71	<u>5,87</u> 0,50**	0,093	0,020	0,053
Фон + сыромолотый доломит (3,0 т/га CaCO <sub>3</sub> )	5,29	5,53	5,58	<u>5,80</u> 0,51**	0,080	0,016	0,073

\* Доза N<sub>100</sub>P<sub>60</sub>K<sub>110</sub> под ячмень (2021 г.), под просо и овес – N<sub>60</sub>P<sub>40</sub>K<sub>90</sub>.

\*\* Увеличение или снижение кислотности к исходному.

Установлено, что 1-й год действия как доломитовой муки, так и сыромолотого доломита наблюдается положительное их влияние на снижение кислотности в пахотных дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах. При этом сдвиг почвенной кислотности от 1 т CaCO<sub>3</sub> д.в. доломитовой муки на элементарных участках в Витебском районе (ф/л Рудаково) был несколько выше 0,137, 0,097 и 0,067 ед. рН, а в среднем составил 0,100 ед. рН, чем у сыромолотого доломита, соответственно, 0,099, 0,097 и 0,060 ед. рН, а в среднем – 0,085 ед. рН. В Лиюзенском районе (ОАО «Адаменки») в среднем по элементарным участкам сдвиг почвенной кислотности в 2019 г. составил от доломитовой муки – 0,090 ед., от сыромолотого доломита – 0,065 ед. рН. На дерново-подзолистых легкосуглинистых пахотных почвах (Витебский и Лиюзенский районы) в 1-й год последействия наблюдалась аналогичная закономерность, как и в год действия мелиорантов. Во 2-й год последействия известковых мелиорантов наиболее эффективным был сыромолотый доломит – сдвиг почвенной кислотности от 1 т CaCO<sub>3</sub> (в среднем по Витебскому району составил 0,063, а от 1 т CaCO<sub>3</sub> доломитовой муки – 0,053, а по Лиюзенскому району 0,051 и 0,030 ед. рН (табл. 5).

Сдвиг почвенной кислотности от 1 т CaCO<sub>3</sub> на произвесткованных дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах на пастбище с бобово-злаковыми травосмесями (Городокский район) при внесении доломитовой муки составил: в 1-й год действия – 0,088 ед. рН, 1-й год последействия – 0,013 и 2-й год последействия – 0,073 ед. рН, соответственно от сыромолотого доломита – 0,081, 0,027 и 0,069 ед. рН. На дерново-подзолистых связносупесчаных почвах со злаковыми травосмесями (Шумилинский район) эти значения были следующие: по доломитовой муке – 0,051, 0,073 и 0,042 ед. рН, по сыромолотому доломиту – 0,038, 0,052 и 0,066 ед. рН (табл. 5).

Таблица 5

**Влияние известковых мелиорантов на сдвиг почвенной кислотности  
на дерново-подзолистых легкосуглинистых и связносупесчаных почвах**

Наименование района, хозяйства	Номер элементарных участков	Осень 2018 г. (исходное)	Доза мелиоранта, т/га д. в.	Сдвиг от 1 т СаСО <sub>3</sub> ед. рН		
				1-й год действия	1-й год последействия	2-й год последействия
ф/л Рудаково, Витебский район (пашня)	1 (1201) дм*	4,99	7,5	0,137	-0,76	0,061
	4 (1201) сд**	4,99	7,5	0,099	-0,32	0,088
	2 (1207) дм	5,15	7,0	0,097	-0,30	0,016
	5 (1207) сд	5,15	7,0	0,097	-0,24	0,017
	3 (1209) дм	5,40	6,0	0,067	-0,18	0,082
	6 (1209) сд	5,40	6,0	0,060	-0,002	0,083
В среднем по опыту	дм*	<b>5,18</b>	<b>6,83</b>	<b>0,100</b>	<b>-0,041</b>	<b>0,053</b>
	сд**	<b>5,18</b>	<b>6,83</b>	<b>0,085</b>	<b>-0,019</b>	<b>0,063</b>
ОАО «Адаменки», Лиозненский район (пашня)	13 (343) дм*	5,20	7,0	0,051	-0,030	0,067
	17 (343) сд**	5,20	7,0	0,036	-0,030	0,089
	14 (344) дм	4,92	7,5	0,084	-0,039	0,067
	18 (344) сд	4,92	7,5	0,089	0,013	0,048
	15 (345) дм	5,28	6,0	0,120	-0,017	-0,003
	19 (345) сд	5,28	6,0	0,073	-0,017	0,027
	16 (346) дм	5,56	5,0	0,106	0,104	-0,012
20 (346) сд	5,56	5,0	0,062	-0,048	0,040	
В среднем по опыту	дм*	<b>5,24</b>	<b>6,38</b>	<b>0,090</b>	<b>0,005</b>	<b>0,030</b>
	сд**	<b>5,24</b>	6,38	0,065	-0,020	0,051
УП «Северный», Городокский район (бобово-злаковые травосмеси)	7 (281) дм*	4,33	7,0	0,031	0,060	0,090
	10 (281) сд**	4,33	7,0	0,030	0,110	0,116
	8 (282) дм	4,75	6,5	0,143	-0,091	0,103
	11 (282) сд	4,75	6,5	0,125	0,012	0,012
	9 (284) дм	5,11	4,5	0,089	0,071	0,027
	12 (284) сд	5,11	4,5	0,087	-0,040	0,080
В среднем по опыту	дм	<b>4,73</b>	<b>6,0</b>	<b>0,088</b>	<b>0,013</b>	<b>0,073</b>
	сд	<b>4,73</b>	<b>6,0</b>	<b>0,081</b>	0,027	0,069
КУСХП «Сиротинский», Шумилинский район (злаковые травосмеси)	21 (751) дм*	5,48	4,5	0,093	-0,002	0,160
	24 (751) сд**	5,48	4,5	0,078	0,011	0,031
	22 (742) дм	5,43	4,5	0,036	0,127	-0,031
	25 (742) сд	5,43	4,5	0,016	0,076	0,149
	23 (743) дм	5,18	7,0	0,024	0,096	-0,001
	26 (743) сд	5,18	7,0	0,020	0,069	0,017
В среднем по опыту	дм*	<b>5,36</b>	<b>5,33</b>	<b>0,051</b>	<b>0,073</b>	<b>0,042</b>
	сд**	<b>5,36</b>	<b>5,33</b>	<b>0,038</b>	<b>0,052</b>	<b>0,066</b>

\* Доломитовая мука.

\*\* Сыромолотый доломит.

Влияние известковых мелиорантов на продуктивность культур звена севооборотов на произвесткованных дерново-подзолистых легкосуглинистых и связносупесчаных почвах

песчаных почвах показана на примере в Витебском, Городокском и Шумилинском районах (табл. 6).

Таблица 6

**Влияние известковых мелиорантов на продуктивность культур звена севооборота в производственных опытах на дерново-подзолистых легкосуглинистых и связноупесчаных почвах**

Наименование района, хозяйства	Номер элементарных участков	Продуктивность, ц/га к. ед. (на травах по сухому веществу по 2-му укосу)			
		2019 г.	2020 г.	2021 г.	в сумме за 2019–2021 гг.
Витебский район (горох усатый, 2019 г. – пшеница озимая, 2020 г. – ячмень, 2021)					
ф/л Рудаково	1 (1201) дм*	87,7	88,6	39,5	215,8
	4 (1201) сд**	75,6	90,3	46,9	212,8
	2 (1207) дм	52,2	83,1	47,4	182,7
	5 (1207) сд	47,7	102,9	49,0	199,6
	3 (1209) дм	50,7	123,1	43,3	217,1
	6 (1209) сд	45,4	98,4	52,3	196,1
	В среднем	63,5*/ 56,2**	98,3*/ 97,2**	43,4*/ 49,4**	205,2*/ 202,8**
Городокский район (бобово-злаковые травосмеси, 2019–2021 гг.)					
УП «Северный»	7 (281) дм*	30,3	31,1	18,5	79,9
	10 (281) сд**	28,2	27,5	27,6	83,3
	8 (282) дм	46,2	25,4	29,2	100,8
	11 (282) сд	44,2	20,0	29,9	94,1
	9 (284) дм	39,1	24,3	28,4	91,8
	12 (284) сд	37,5	22,9	27,8	88,2
	В среднем	38,5*/ 36,6**	26,9*/ 23,5**	25,4*/ 28,4**	90,8*/ 88,5**
Шумилинский район (злаковые травосмеси, 2019–2021 гг.)					
КУСХП «Сиротинский»	21 (751) дм*	58,5	25,3	20,7	104,5
	24 (751) сд**	63,6	26,4	21,6	111,6
	22 (742) дм	78,3	43,2	35,4	156,9
	25 (742) сд	63,4	41,9	30,6	135,9
	23 (743) дм	71,9	38,6	20,3	130,8
	26 (743) сд	69,8	34,6	30,0	134,4
	В среднем	69,6*/ 65,6**	35,7*/ 34,3**	25,5*/ 27,4**	130,7*/ 127,3**

\* Доломитовая мука.

\*\* Сыромолотый доломит.

Данные, приведенные в таблице 6 свидетельствуют, что продуктивность культур звена севооборотов как на пахотной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (Витебский район), так и на почвах улучшенных сенокосов и пастбищ в Городокском районе (дерново-подзолистая легкосуглинистая) и Шумилинском (дерново-подзолистая связноупесчаная) в 2019 и 2020 г. (в год действия и 1-й год последействия) была выше при внесении доломитовой муки на фоне NPK по сравнению с сыромолотым доломитом на том же фоне NPK. Во 2-й год пос-

ледействия продуктивность культур звена севооборотов выше на сыромоломом доломите. В сумме за три года она по двум вышеуказанным мелиорантам была близкой, хотя и прослеживалась тенденция ее снижения в варианте с сыромоломом доломитом.

Рассчитана экономическая эффективность применения известковых мелиорантов в звене трехпольного севооборота (посо, овес, ячмень) на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве. Продуктивность за звено севооборота составила на контроле без удобрений – 109,9 ц/га к. ед., в варианте без мелиорантов (NPK) – 147,4, на фоне доломитовой муки – 160,9, на фоне сыромоломого доломита – 165,0 ц/га к. ед. Прибавка от мелиорантов составила 13,5 и 17,6 ц/га к. ед. соответственно, стоимость прибавки урожая за звено севооборота – 106,7 и 139,0 USD/га (при стоимости 1 т к. ед. равной 79 USD/т), затраты на приобретение мелиорантов (стоимость 1 т доломитовой муки в физическом весе (ф. в.) составляла 43,96 белорусских рублей (с НДС), или 17,9 USD (при курсе 1 USD равном 2,45 бел. руб.), сыромоломого доломита – 19,88 руб./га или 8,1 USD (с НДС). Затраты на приобретение гектарной дозы доломитовой муки (3,0 т/га CaCO<sub>3</sub> ф. в. на 1 га) составили 53,8 USD/га, сыромоломого доломита – 27,1 USD/га (8,1 USD\*3,351 т/га, при средней его влажности равной 11,7 %), соответственно на внесение – 11,7 и 15,8 USD/га (на 35 % дороже, чем доломитовой муки), доработку дополнительной продукции (25 USD/1 т к. ед.) – 33,8 и 44,0 USD/га. В сумме затраты на 1 га составили 99,3 и 86,9 USD. Прибыль от применения доломитовой муки была на уровне 7,4 USD/га, рентабельность – 7,5 %, от сыромоломого доломита – 52,1 USD/га, при рентабельности – 59,9 % (табл. 7).

Таблица 7

**Экономическая эффективность применения известковых мелиорантов в звене севооборота (посо, овес, ячмень) на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (ПРУП им. Котовского Узденского района Минской области)**

Вариант	Продуктивность, ц/га к. ед. (2019–2021 гг.)	Стоимость прибавки урожая, за звено севооборота, USD/га	Затраты, USD/га				Прибыль, USD /га	Рентабельность, %
			стоимость мелиорантов (с НДС)	внесение	на уборку и доработку продукции	всего затрат		
Контроль без удобрений	109,9	–	–	–	–	–	–	–
NPK (фон)	147,4	–	–	–	–	–	–	–
Фон + доломитовая мука (3,0 т/га CaCO <sub>3</sub> )	160,9 13,5*	106,7	53,8	11,7**	33,8	99,3	7,4	7,5
Фон + сыромоломый доломит (3,0 т/га CaCO <sub>3</sub> )	165,0 17,6*	139,0	27,1	15,8***	44,0	86,9	52,1	59,9
HCP <sub>05</sub>	12,6	–	–	–	–	–	–	–

\* Прибавка продуктивности к фону (NPK).

\*\* затраты на внесение доломитовой муки.

\*\*\* Затраты на внесение сыромоломого доломита (по данным Витебской ОПИСХ).

## ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные данные по урожайности сельскохозяйственных культур и сдвигу почвенной кислотности в полевых и производственных опытах позволяют сделать следующие выводы.

1. Продуктивность культур звена севооборотов при внесении доломитовой муки в 1-й год действия и 1-й год последствия на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных (Минская область) и легкосуглинистых и связносупесчаных (Витебская область), а также сдвиг почвенной кислотности от 1 т CaCO<sub>3</sub> были выше, чем при использовании в эквивалентных дозах сыромолотого доломита.

2. Во 2-й год последствия известковых мелиорантов более высокая продуктивность культур звена севооборотов и сдвиг почвенной кислотности от 1 т CaCO<sub>3</sub> на исследуемых почвах получен при внесении сыромолотого доломита по сравнению с доломитовой мукой.

3. На исследуемых дерново-подзолистых рыхлосупесчаных, связносупесчаных и легкосуглинистых почвах (Минская и Витебская области) не установлено существенных различий в изменении содержания элементов питания в продукции возделываемых культур на фоне 2 форм известковых мелиорантов.

4. Прибыль от применения сыромолотого доломита на фоне NPK за звено трехпольного севооборота (посо-овес-ячмень) на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах составила 52,1 USD/га, рентабельность – 59,9 %, на доломитовой муке – 7,4 USD/га и рентабельность – 7,5 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапа, В. В. Основные мероприятия по повышению плодородия почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь на 2021–2025 гг. / В. В. Лапа [и др.]. // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 2(65). – С. 7-25.

2. Агрохимия / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 704 с.

3. Клебанович, Н. В. Известкование почв Беларуси / Н.В. Клебанович, Г. В. Василюк. – Минск: Изд-во БГУ, 2003. – 322 с.

4. Технология повышения производительной способности деградированных торфяных почв при возделывании сельскохозяйственных культур на основе оптимизации баланса калия, кальция и магния / Г. В. Пироговская [и др.]: Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2017. – 35 с.

5. Клебанович, Н. В. Динамика показателей кислотности почв при известковании / Н. В. Клебанович // Вест. БарГУ. Сер. биол. науки (общ. биология). Сельскохозяйств. науки (агрономия): науч.-практ. журнал. – 2015. – Вып. 3. – С. 99–105.

6. Царук, И. Эффективность известкования слабокислой дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы различными видами мелиорантов / И. Царук, Г. Сафронюк // Аграр. эконом. – 2013. – № 2. – С. 48–52.

7. Богдевич, И. М. Динамика степени кислотности, обеспеченности кальцием и магнием пахотных и луговых почв Беларуси в результате известкования / И. М. Богдевич, О. Л. Ломонос, О. М. Таврыкина // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1(52). – С. 159–172.

8. *Иовик, Л. Н.* Агрономическая эффективность известковых мелиорантов на дерново-подзолистой супесчаной почве / Л. Н. Иовик // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця / НАН Беларусі, Палескі аграр.-экал. інст. – Брэст: Альтэрнатыва, 2018. – Вып. 11. – С. 138–140.

9. *Клебанович, Н. В.* Повышение продуктивности кормовых угодий путем известкования / Н. В. Клебанович // Актуальные проблемы адаптивной интенсификации земледелия на рубеже столетий: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2000. – С. 405–408.

10. *Клебанович, Н. В.* Энергетическая эффективность известкования кислых почв Беларуси / Н. В. Клебанович, В. Н. Алексеев // Современные технологии сельскохозяйственного производства: XII междунар. науч.-практ. конф. / МСХ и П Республики Беларусь, УО ГГАУ. – Гродно, 2009. – С. 189–190.

11. *Василюк, Г. В.* Действие различных видов известковых удобрений на продуктивность культур и агрохимические показатели дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / Г. В. Василюк, Т. М. Германович // Почвоведение и агрохимия: сб. науч. тр. / НИРУП Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2004. – Вып.33. – С. 64–67

12. *Карпеня, Г. М.* Состояние кислотности почв и их известкование / Г. М. Карпеня // Наше сельское хозяйство. – 2013. – 21. – С. 40–46.

13. Инструкция по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2019. – 31 с.

14. Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mshp.gov.by/news/e06025630e62a193.htm>. – Дата доступа: 19.07.2019.

15. *Литвинович, А. В.* Мелиоративные свойства, удобрительная ценность и скорость растворения в почвах различных по размеру фракций отсева доломита, используемого для дорожного строительства/ А. В. Литвинович, О. Ю. Павлова, А. В. Лаврищев // Агрохимия. – 2016. – № 2. – С. 31–41.

16. *Galler, Y.* Troken oder feucht? / Y. Galler // Blick ins Land. – 2000. – № 9. – P. 28–29.

17. Технично-экономическое обоснование применения сыромолотого доломита при поддерживающем известковании кислых почв / Г. В. Василюк, И. М. Богдевич, Т. М. Германович. – Минск, 2003. – 12 с.

18. Известкование почв в севооборотах с кальциефобными культурами: рекомендации / РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси». – Минск, 2006. – 24 с.

19. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. мат. / РУП Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земл. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 448 с.

20. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч. практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию; рук. разраб.: Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф.И. Привалова. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 288 с.

21. Методические указания по проведению регистрационных испытаний макро-, микроудобрений и регуляторов роста растений в посевах сельскохозяйс-

твенных культур в Республике Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2008. – 36 с. 6.

22. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь. – Минск: Бизнесофсет, 2020. – 742 с.

23. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

## **EFFICIENCY OF RAW MILLED DOLOMIT IN ACTION AND AFTER EFFECT ON SOD-PODZOLIC LOAM SOILS, COHESIVE SANDY AND LIGHT LOAMY SOILS**

**H. V. Pirahouskaya, V. I. Saroka, S. S. Khmialeusky, A. S. Maksimchuk,  
I. E. Yermalovich, K. V. Danilenka, V. B. Liavontsyeu, I. A. Kryuko,  
O. N. Kavalenka, A. S. Hapchikina**

### **Summary**

The article presents the data on the effectiveness of dolomite meal and raw-ground dolomite used in the shift of crops (2019–2021) on sod-podzolic mellow Sandy loam soils (Minsk region), on tilth sod-podzolic light loam and on sandy loam soils and light loam soils used for pastures (Vitebsk region). The influence of limestone ameliorants on crop yields of crop rotations, their efficiency, the content of nutrients in the principal product, the shift of soil acidity from 1 ton of CaCO<sub>3</sub> in 1 year of action and in 1–2 years of their aftereffect is shown. The economic effectiveness (Fertilizer profit) of the use of dolomite meal and raw-ground dolomite in the crop rotation millet (2019)–ats (2020)–barley (2021) on sod-podzolic mellow sandy loam soil has been calculated.

*Поступила 17.11.21*

УДК 631.8:633.11

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА СРЕДНЕОКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ**

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

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

В структуре посевных площадей зерновые и зернобобовые культуры в среднем по республике занимают 42–43 %, на 22–23 % этих площадей размещаются посевы озимой пшеницы. За последние 5 лет урожайность зерна данной культуры в среднем составила 37,1 ц/га, при средних дозах удобрений в этот период:

органических – 5,7 т/га, азотных – 101 кг/га, фосфорных – 30 кг/га, калийных – 94 кг/га (NPK 225 кг/га, соотношение N:P:K 1:0,3:0,9) [1–5].

В современных условиях важно не только стремиться к повышению урожайности сельскохозяйственных культур, но и к снижению себестоимости, т. е. по возможности наращивать производство конкурентоспособной продукции. Для этого необходимо максимально задействовать малозатратные приемы в технологиях возделывания культур [6]. Снижения себестоимости продукции можно добиться используя излишки соломы на удобрение, т. е. при планировании доз удобрений учитывать содержание органического вещества и элементов питания, поступающих с соломой; усовершенствованием системы удобрения с учетом последних агрохимических исследований [7, 8].

Для удовлетворения разнообразного спроса населения республики в хлебо-булочных, кондитерских, макаронных и других изделиях требуется зерно определенного ассортимента и качества. Содержание белка определяет характер использования пшеницы: для хлебопечения необходимо зерно с содержанием белка 14–15 %, для макаронных изделий – 17–18 %. При оценке хлебопекарных свойств большое значение имеют количество и качество клейковины [9–11]. Результаты анализов зерна пшеницы, поступающего на заготовительные приемные пункты Беларуси в последние годы, свидетельствуют о том, что основная часть его не соответствует требованиям хлебопекарной промышленности. По этой причине на закупку продовольственного зерна государством ежегодно затрачиваются значительные средства, а зерно пшеницы собственного производства в больших объемах используется на фуражные цели для животноводства, в результате сельхозпроизводители теряют значительные суммы денег. На технологические свойства зерна пшеницы влияют режим температур, обеспеченность осадками, плодородие почв, степень их окультуренности, система удобрения и ряд других внешних факторов. Почвенно-климатические условия Республики Беларусь не позволяют получать высококачественное зерно на уровне сильной пшеницы, однако имеются вполне реальные возможности для повышения качества зерна мягкой пшеницы.

**Цель исследований** заключается в изучении эффективности систем удобрения озимой пшеницы на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опыт с озимой пшеницей сорт Августина проводили на опытном поле Института, расположенном в ПРУП «Э/б им. Котовского» Узденского района Минской области на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя 1-го поля: рН – 5,59, гумус – 2,18 %, содержание подвижных форм фосфора ( $P_2O_5$ ) – 157 мг/кг, калия ( $K_2O$ ) – 185 мг/кг, обменных форм кальция ( $CaO$ ) – 1046 мг/кг, магния ( $MgO$ ) – 151 мг/кг; 2-го поля: рН – 5,58, гумус – 1,98 %, содержание подвижных форм фосфора ( $P_2O_5$ ) – 161 мг/кг, калия ( $K_2O$ ) – 179 мг/кг, обменных форм кальция ( $CaO$ ) – 1002 мг/кг, магния ( $MgO$ ) – 164 мг/кг.

Опыт проводится в двух полях, первое поле открыто в 2019 г. Повторность вариантов четырехкратная, размер делянки – 31,2 м<sup>2</sup>, учетная – 24 м<sup>2</sup>.

Минеральные удобрения аммонизированный суперфосфат и хлористый калий внесены, согласно схеме опыта, осенью с последующей заделкой, один вариант по вспашке. Азотные удобрения внесены весной в три приема. Первую подкормку проводили КАС в фазу начало активной вегетации растений, последующие карбамидом в фазы 1-го узла и появления флаг листа. Солому предшественника (3 т/га) измельчали и распределяли равномерно по делянкам, в вариантах без соломы ее убирали с поля. По измельченной соломе, согласно схеме опыта, вносили микробное удобрение Жыцьень в дозе 3 л/га и КАС в дозе 20 кг д.в./га с последующей заделкой дисками. В качестве основной обработки почвы применяли вспашку на глубину 20 см.

Белок и клейковину в зерне определяли на спектрофотометре «Инфронео».

В первом поле озимая пшеница посеяна 16 сентября 2019 г. с нормой высева 248 кг/га (6,3 млн семян). В период осенней вегетации выполнен подсчет взошедших растений. В результате установлено, что взошло 5,5 млн растений пшеницы, соответственно полевая всхожесть составила 87 %. Теплая бесснежная зима способствовала 98 % перезимовке озимой пшеницы. При этом основной период формирования и налива зерна был в целом благоприятным для озимой пшеницы, что обеспечило высокую урожайность зерна в 2020 г.

Во втором поле озимая пшеница посеяна 14 сентября 2020 г. с нормой высева 250 кг/га (5,4 млн семян). В период осенней вегетации особенно сухим (ГТК 0,7) выдался сентябрь, что отрицательно сказалось на всходах озимой пшеницы – полевая всхожесть составила 78 %. Выпадение снега на слабозамерзшую почву (среднесуточная температура в декабре – –1,2 °С, обильные осадки в виде снега в январе – 109 мм (в 2,3 раза выше нормы) и длительное сохранение снежного покрова (до середины марта) способствовали сильному развитию снежной плесени на озимой пшенице. В результате перезимовало всего 66 % растений.

В 2020 г. в период ранневесенней подкормки (06.04) средняя влажность пахотного слоя составила 15,8 %, в период трубкувания (04.05) – 13,2 %, в фазу выхода флаг листа (25.05) – 8,9 %. В 2021 г. в период ранневесенней подкормки (09.04) средняя влажность пахотного слоя составила 18 %, в фазу выхода флаг листа (26.05) – 19 %, в период налива и созревания зерна растения пшеницы испытывали сильный дефицит влаги – влажность почвы была на уровне 7,22 % (12.07) и 7,68% (29.07), к уборке влажность почвы составила 12,61.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

За счет эффективного плодородия среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы урожайность зерна озимой пшеницы в среднем за 2 года составила 38,6 ц/га (табл. 1). Следует отметить, что погодные условия периода вегетации озимой пшеницы в 2019–2020 гг. способствовали формированию более высокой урожайности, чем 2020–2021 гг.: на контроле – на 32 %, в удобренных вариантах – на 24 %. Содержание сырого белка и клейковины в зерне наоборот более высоким было в 2021 г.

Таблица 1

**Влияние удобрений на урожайность озимой пшеницы**

Вариант	Урожайность зерна, ц/га			Прибавка к контролю, ц/га
	2020 г.	2021 г.	среднее	
Без удобрений (контроль)	43,9	33,2	38,6	–
N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	64,5	56,5	60,5	21,9
Адоб Профит 4-12-38, 4 кг/га + N <sub>70+40+40</sub>	64,4	60,4	62,4	23,8
ПН крупного рогатого скота, 40 т/га + N <sub>60+30+40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>35</sub>	68,3	58,9	63,6	25,0
Солома + ПН крупного рогатого скота, 30 т/га + N <sub>60+40+40</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	70,9	58,3	64,6	26,0
Солома + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	65,1	54,4	59,8	21,2
Солома + N <sub>70+40+40+10</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	68,2	53,7	61,0	22,4
Солома + Жыцьень, 3 л/га + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	69,9	54,4	62,2	23,6
Солома + N <sub>20(КАС)</sub> + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	74,9	53,3	64,1	25,5
Солома + N <sub>20(КАС)</sub> + N <sub>70до opt +40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	69,8	52,0	60,9	22,3
Солома + N <sub>20(КАС)</sub> + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub> (по вспашке)	66,5	54,0	60,3	21,7
Солома + N <sub>20(КАС)</sub> + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>55</sub> *K <sub>70</sub> *	72,2	52,9	62,6	24,0
НСР <sub>05</sub>	5,3	4,3	4,8	4,8

\* Дозы фосфорных и калийных удобрений рассчитаны с учетом поступления данных элементов с соломой.

Внесение N<sub>70+40+40</sub> P<sub>65</sub>K<sub>115</sub> обеспечило рост урожайности зерна в среднем за 2 года на 21,9 ц/га или 57 %. Кроме роста урожайности внесение удобрений способствовало увеличению содержания в зерне сырого белка с 9,04 % до 14,03 % (табл. 2) и клейковины – с 17,64 до 27,59 %, т. е. пшеница, выращенная без удобрений пригодна только на фураж, в то время как в удобренных вариантах зерно пшеницы соответствует требованиям, предъявляемым к продовольственному зерну пшеницы 2–3 класса (табл. 3).

Таблица 2

**Влияние различных систем удобрения на содержание сырого белка в зерне озимой пшеницы**

Вариант	Содержание сырого белка, %			
	2020 г.	2021 г.	среднее	прибавка
Без удобрений (контроль)	8,54	9,54	9,04	–
N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	13,56	14,49	14,03	4,99
Адоб Профит 4-12-38, 4 кг/га + N <sub>70+40+40</sub>	12,90	14,02	13,46	4,42
ПН крупного рогатого скота, 40 т/га + N <sub>60+30+40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>35</sub>	13,05	14,67	13,86	4,82
Солома + ПН крупного рогатого скота, 30 т/га + N <sub>60+40+40</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	13,02	14,96	13,99	4,95
Солома + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	13,48	14,98	14,23	5,19
Солома + N <sub>70+40+40+10</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	13,61	14,79	14,20	5,16
Солома + Жыцьень, 3 л/га + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	13,34	15,45	14,40	5,36
Солома + N <sub>20(КАС)</sub> + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	13,34	15,13	14,24	5,2

Вариант	Содержание сырого белка, %			
	2020 г.	2021 г.	среднее	прибавка
Солома + N <sub>20(КАС)</sub> + N <sub>70до опт +40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	13,55	15,21	14,38	5,34
Солома + N <sub>20(КАС)</sub> + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub> (по вспашке)	13,37	14,58	13,98	4,94
Солома + N <sub>20(КАС)</sub> + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>55</sub> *K <sub>70</sub> *	13,34	14,89	14,12	5,08
НСП <sub>05</sub>	0,72	0,49	0,62	0,62

\* Дозы фосфорных и калийных удобрений рассчитаны с учетом поступления данных элементов с соломой.

Таблица 3

**Влияние различных систем удобрения на содержание клейковины  
в зерне озимой пшеницы**

Вариант	Содержание клейковины, %			
	2020 г.	2021 г.	среднее	прибавка
Без удобрений (контроль)	17,68	17,60	17,64	–
N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	25,92	29,26	27,59	9,95
Адоб Профит 4-12-38, 4 кг/га + N <sub>70+40+40</sub>	25,63	28,04	26,84	9,20
ПН крупного рогатого скота, 40 т/га + N <sub>60+30+40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>35</sub>	25,27	30,16	27,72	10,08
Солома + ПН крупного рогатого скота, 30 т/га + N <sub>60+40+40</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	25,18	31,39	28,29	10,65
Солома + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	26,61	31,76	29,19	11,55
Солома + N <sub>70+40+40+10</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	26,64	30,93	28,79	11,15
Солома + Жыцень, 3 л/га + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	26,28	32,99	29,64	12,00
Солома + N <sub>20(КАС)</sub> + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	25,73	32,14	28,94	11,30
Солома + N <sub>20(КАС)</sub> + N <sub>70до опт +40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	27,11	32,21	29,66	12,02
Солома + N <sub>20(КАС)</sub> + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub> (по вспашке)	26,94	29,58	28,26	10,62
Солома + N <sub>20(КАС)</sub> + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>55</sub> *K <sub>70</sub> *	25,51	30,72	28,12	10,48
НСП <sub>05</sub>	1,37	1,47	1,42	1,42

\* Дозы фосфорных и калийных удобрений рассчитаны с учетом поступления данных элементов с соломой.

В варианте, где озимая пшеница посеяна без фосфорных и калийных удобрений, двукратная некорневая обработка комплексным удобрением Адоб Профит 4-12-38 в дозе по 2 кг/га: 1-я в фазу кущения осенью, 2-я в период начала активной вегетации весной, по действию на урожайность (62,4 ц/га) была аналогичной внесению P<sub>65</sub>K<sub>115</sub>. Снижение доз фосфорных и калийных удобрений на 25 и 80 кг д. в. соответственно и азотных удобрений на 20 кг/га на фоне внесения 40 т/га подстильного навоза крупного рогатого скота не оказало существенного влияния на урожайность зерна по сравнению с минеральной системой удобрения.

Запашка 3 т/га соломы, что в переводе в условный навоз составило 10,5 т/га, и снижение дозы подстильного навоза крупного рогатого скота с 40 до 30 т/га и внесение на этом фоне N<sub>60+40+40</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub> не повлияло на урожайность зерна по сравнению с внесением ПН крупного рогатого скота, 40 т/га + N<sub>60+30+40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>35</sub>.

Запашка соломы без компенсирующей дозы азота в варианте Солома +  $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$  в среднем за 2 года не оказала существенного влияния на урожайность зерна по сравнению с аналогичным вариантом без соломы. Дополнительная некорневая подкормка  $N_{10}$  в период колошение – налив зерна в годы проведения исследований была неэффективной как по влиянию на урожайность, так и на содержание белка и клейковины.

Обработка соломы микробным удобрением Жыцень в дозе 3 л/га обеспечила выраженную тенденцию роста урожайности зерна в 2020 г. (+4,8 ц/га) и не оказала влияния в 2021 г. Внесение компенсирующей дозы азота по соломе ( $N_{20}$ ) в виде КАС увеличило урожайность зерна на 9,8 ц/га в 2020 г. и не оказало существенного влияния в погодных условиях вегетации озимой пшеницы в 2020–2021 гг.

Ранневесенняя подкормка озимой пшеницы азотом в 2020 г. проведена в два срока: 18 марта, когда у растений появились белые корешки (вар. Солома +  $N_{20(КАС)} + N_{70 \text{ до опт}+40+40}P_{65}K_{115}$ ) и 6 апреля в остальных вариантах. После 18 марта по 6 апреля наблюдались аномально низкие температуры воздуха – среднесуточная температура за этот период составила 3,8 °С, поэтому, несмотря на появление белых корешков уже к 18 марта, оптимальным сроком подкормки считаем 6 апреля, при установлении среднесуточных температур выше 5 °С. В 2021 г. первая подкормка озимой пшеницы азотом проведена 31 марта, когда у растений начали появляться белые корешки (вар. Солома +  $N_{20(КАС)} + P_{65}K_{115} + N_{70 \text{ до опт}+40+40}$ ), однако со 2 по 9 апреля наблюдались ночные заморозки, а среднесуточная температура не превышала 3,9 °С, и 9 апреля, когда среднесуточная температура воздуха перешла +5 °С, поэтому, несмотря на появление белых корешков уже к 31 марта, оптимальным сроком подкормки считаем 9 апреля. Разница в урожайности между этими сроками подкормки в 2020 г. составила 5,1 ц/га, в 2021 г. – была не существенной.

Во всех вариантах фосфорные и калийные удобрения внесены под вспашку за исключением одного варианта, где они внесены по вспашке. В данном варианте в течение 2 лет не отмечено существенного влияния данного агроприема на урожайность и качество зерна пшеницы

Снижение доз фосфорных и калийных удобрений с учетом поступления данных элементов с соломой способствовало получению урожайности на уровне внесения полных доз этих удобрений с аналогичным содержанием белка и клейковины.

В интенсивном земледелии наряду с получением высоких урожаев с хорошими показателями качества важно создавать условия для расширенного воспроизводства плодородия почвы. Для оценки более эффективных систем применения удобрений выполнен химический анализ образцов зерна и соломы озимой пшеницы, рассчитаны хозяйственный и удельный вынос элементов питания с урожаем и коэффициенты их возмещения по вариантам опыта (табл. 4).

Установлено, что на среднеокультуренной супесчаной почве хозяйственный вынос минимальным был в неудобренном варианте: азота – 65 кг/га, фосфора – 37 кг/га, калия – 33 кг/га; в удобренных вариантах изменялся в пределах: азота – 140–157 кг/га, фосфора – 50–67 кг/га, калия – 59–73 кг/га. В настоящее время для расчета доз удобрений производству рекомендуются следующие усредненные нормативы удельного выноса элементов питания: азота – 28,2 кг/т,

фосфора – 10,8 кг/т, калия – 19,2 кг/т. В нашем опыте в среднем за 2 года в зависимости от системы удобрения удельный вынос азота изменялся от 21,8 до 25,1 кг/т, фосфора – от 8,4 до 10,5 кг/т, калия – от 9,6 до 11,5 кг/т.

Для расчета оптимальных доз внесения удобрений под планируемую урожайность используется метод коэффициентов возмещения выноса, т. е. компенсация выноса за счет удобрения с корректировкой на уровень содержания соответствующих элементов питания в почве. Установлено, что при возделывании озимой пшеницы на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве при урожайности зерна 59,8–64,1 ц/га в зависимости от системы применения удобрений коэффициенты возмещения удобрениями выноса азота составили 1,1–2,7, фосфора – 1,0–2,5, калия – 1,8–4,2 (табл. 4). Это значит, что применяемые системы удобрения наряду с повышением урожайности и качества зерна озимой пшеницы способствовали поддержанию и повышению почвенного плодородия. Максимальные коэффициенты возврата получены при органоминеральной системе удобрения с применением подстилочного навоза крупного рогатого скота.

Таблица 4

**Влияние систем удобрения на вынос и коэффициент возмещения элементов питания озимой пшеницей на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве, среднее за 2 года**

Вариант	Урожайность, ц/га	Вынос с урожаем, кг/га			Удельный вынос, кг/т			Коэффициент возмещения		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Без удобрений (контроль)	38,6	65	37	33	16,7	9,6	8,5	–	–	–
N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	60,5	140	62	62	23,1	10,2	10,3	1,1	1,0	1,9
Адоб Профит 4-12-38, 4 кг/га + N <sub>70+40+40</sub>	62,4	141	60	60	22,6	9,6	9,6	1,1	–	–
ПН крупного рогатого скота, 40 т/га + N <sub>60+30+40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>35</sub>	63,6	148	67	73	23,3	10,5	11,5	2,7	2,5	4,1
Солома + ПН крупного рогатого скота, 30 т/га + N <sub>60+40+40</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	64,6	149	66	70	23,0	10,2	10,8	2,4	2,3	4,2
Солома + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	59,8	147	59	64	24,6	9,9	10,7	1,2	1,2	2,5
Солома + N <sub>70+40+40+10</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	61,0	147	59	66	24,1	9,6	10,8	1,3	1,2	2,4
Солома + Жыцень, 3 л/га + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	62,2	147	65	67	23,7	10,4	10,8	1,2	1,1	2,4
Солома + N <sub>20(КАС)</sub> + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	64,1	140	62	64	21,8	9,7	10,0	1,4	1,2	2,5
Солома + N <sub>20(КАС)</sub> + N <sub>70до опт +40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub>	60,9	147	58	62	24,2	9,4	10,3	1,3	1,3	2,5
Солома + N <sub>20(КАС)</sub> + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>65</sub> K <sub>115</sub> (по вспашке)	60,3	143	50	59	23,7	8,4	9,7	1,4	1,4	2,7
Солома + N <sub>20(КАС)</sub> + N <sub>70+40+40</sub> P <sub>55</sub> *K <sub>70</sub> *	62,6	157	54	63	25,1	8,7	10,1	1,2	1,2	1,8

\* Дозы фосфорных и калийных удобрений рассчитаны с учетом поступления данных элементов с соломой.

Рациональность применения различных видов и доз удобрений в сельскохозяйственном производстве должна быть подтверждена не только агрономической, но и экономической эффективностью. Ее главным критерием в растениеводстве является получение максимальной урожайности при минимальных затратах. Расчет экономической эффективности позволяет установить научно-обоснованные дозы удобрений для получения стабильных урожаев с высоким качеством продукции. Экономическую эффективность применения удобрений оценивали такими показателями как чистый доход и рентабельность. Чистый доход на 1 гектар посевов рассчитывали как разность между стоимостью урожая, полученного за счет удобрений, и стоимостью затрат на удобрения и доработку урожая.

Стоимость зерна пшеницы фуражной в 2020 г. составляла 300,00 руб./т, (клейковина менее 18 %), продовольственная 4 класса (клейковина от 18 до 23 %) – 379,12 руб./т, и третьего класса с клейковиной выше 23 % – 432,70 руб./т. Пересчет в USD выполнен по курсу 2,6 [12].

Стоимость зерна пшеницы фуражной в 2021 г. составила 311,98 руб./т, продовольственная 4 класса – 394,28 руб./т, третьего класса – 450,00 руб./т и второго класса с клейковиной выше 28 % – 492,34 руб./т. Пересчет в USD выполнен по курсу 2,5 [13].

Установлено, что при условии реализации зерна озимой пшеницы как продовольственного, условный чистый доход от применения удобрений составит 401–499 USD/га при рентабельности 160–292 %; при использовании на фураж – 37–117 USD/га и 14–68 % соответственно (табл. 5). Наиболее экономически эффективной в среднем за 2 года была минеральная система удобрения с двумя некорневыми подкормками комплексным удобрением Адоб Профит 4-12-38 и корневыми азотными подкормками ( $N_{70+40+40}$ ), однако при данной системе удобрения складывается отрицательный баланс по фосфору и калию, что в дальнейшем приведет к снижению плодородия почвы и соответственно урожайности возделываемых культур. Высокой агроэкономической эффективностью характеризуются системы удобрения Солома +  $N_{20(КАС)} + N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$  и Солома + ПН крупного рогатого скота, 30 т/га +  $N_{60+40+40}P_{50}K_{50}$ , при этом при последней системе удобрения отмечаются высокие коэффициенты возмещения элементов питания: азота – 2,4, фосфора – 2,3, калия – 4,2, что особенно важно для почв с низким плодородием.

Таблица 5

**Влияние разных систем удобрения на показатели экономической эффективности при возделывании озимой пшеницы**

Вариант	Стоимость урожая за счет применения удобрений, при реализации на		Затраты на удобрения и доработку урожая, USD/га	Условный чистый доход, USD/га	Рентабельность, %	Условный чистый доход, USD/га		Рентабельность, %
	продовольствие	фураж				при реализации на		
						продовольствие	фураж	
USD/га								
$N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$	633	264	211	422	200	53	25	
Адоб Профит 4-12-38, 4 кг/га + $N_{70+40+40}$	670	288	171	499	292	117	68	

Вариант	Стоимость урожая за счет применения удобрений, при реализации на		Затраты на удобрения и доработку урожая, USD/га	Условный чистый доход, USD/га	Рентабельность, %	Условный чистый доход, USD/га	Рентабельность, %				
	продовольствие	фураж						при реализации на			
								USD/га		продовольствие	фураж
ПН крупного рогатого скота, 40 т/га + $N_{60+30+40}P_{40}K_{35}$	688	301	264	424	160	37	14				
Солома + ПН крупного рогатого скота, 30 т/га + $N_{60+40+40}P_{50}K_{50}$	704	312	261	442	169	51	20				
Солома + $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$	617	255	209	408	195	45	22				
Солома + $N_{70+40+40+10}P_{65}K_{115}$	636	268	212	424	200	56	26				
Солома + Жыцьень, 3 л/га + $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$	657	282	227	430	189	55	24				
Солома + $N_{20(КАС)} + N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$	688	304	233	455	195	71	31				
Солома + $N_{20(КАС)} + N_{70до опт +40+40}P_{65}K_{115}$	632	267	225	407	181	42	19				
Солома + $N_{20(КАС)} + N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$ (по вспашке)	625	260	223	401	180	37	17				
Солома + $N_{20(КАС)} + N_{70+40+40}P_{55}K_{70}^*$	661	286	216	445	206	70	33				

\* Дозы фосфорных и калийных удобрений рассчитаны с учетом поступления данных элементов с соломой.

## ВЫВОДЫ

1. Уровень урожайности зерна озимой пшеницы на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве зависел от применяемых систем удобрения и погодных условий вегетации. За счет эффективного плодородия почвы в среднем за 2 года получено 38,6 ц/га. Погодные условия периода вегетации озимой пшеницы 2019–2020 гг. были более благоприятны. Удобрения способствовали существенному снижению негативного влияния погодных условий: на контроле разница в урожае по годам составила 32 %, в удобренных вариантах – 24 %. Содержание сырого белка и клейковины в зерне более высоким было в 2021 г.

2. Применяемые системы удобрения обеспечили рост урожайности зерна в среднем за два года от 38,6 ц/га до 59,8–64,6 ц/га, т. е. на 55–67 %, содержания сырого белка от 9,04 до 13,46–14,38 %, клейковины – от 17,64 до 26,84–29,66 %.

Применение оптимальной для среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы системы удобрения, включающей внесение  $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$  на фоне соломы с компенсирующей дозой азота в виде КАС, в среднем за

2 года обеспечило формирование урожайности зерна озимой пшеницы 64,1 ц/га с содержанием сырого протеина 14,24 %, клейковины – 28,94 %, коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем: N – 1,4, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 1,2, K<sub>2</sub>O – 2,5, условный чистый доход при условии реализации зерна как продовольственного – 455 USD/га, рентабельность применения удобрений – 195 %, при использовании на фураж – 71 USD/га и 31 % соответственно.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистический ежегодник, 2016 / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2016. – С. 319–322.
2. Статистический ежегодник, 2017 / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2017. – С. 313–316.
3. Статистический ежегодник, 2018 / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2018. – С. – 308–311.
4. Статистический ежегодник, 2019 / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2019. – С. 255–258.
5. Статистический ежегодник, 2020 / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2020. – С. 222–228.
6. Яковчик, Н. С. Энергосбережение в сельском хозяйстве / Н. С. Яковчик, А. М. Лапотко. – Барановичи: Укруп. тип., 1999. – 380 с.
7. Влияние запашки побочной продукции и минеральных удобрений на продуктивность звена севооборота и агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы / Т. М. Серая [и др.] // Агрохимия. – 2015. – № 11 – С. 30–36.
8. Диагностика азотного питания яровой пшеницы на высококультурной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / О. Г. Кулеш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 60–72
9. Коптик, И. К. Обеспечение качественным зерном пшеницы Республики Беларусь – задача, решаемая / И. К. Коптик, Е. В. Лапутько // Наше сельское хозяйство. – 2008. – № 6. – С. 74.
10. Ненайденко, Г. Н. Удобрение и повышение качества зерна пшеницы в Верхневолжье / Г. Н. Ненайденко // Земледелие, агрохимия и почвоведение. – 2018. – № 2 (84). – С. 20–27.
11. Матыс, И. В. Влияние доз и сроков внесения азотных удобрений на показатели качества зерна озимой пшеницы / И. В. Матыс, В. И. Кочурко // Известия ТСХА. – 2005. – Вып. 1. – С. 30–33.
12. Об установлении предельных максимальных цен на сельскохозяйственную продукцию (растениеводства) урожая 2020 года, закупаемую для государственных нужд [Электронный ресурс]. – 2020. – URL [https://www.mshp.gov.by/prices/postanovlenie12\(2020\).pdf](https://www.mshp.gov.by/prices/postanovlenie12(2020).pdf) (дата обращения 01.10.2020).
13. Об установлении фиксированных цен на сельскохозяйственную продукцию (растениеводства) урожая 2021 года, закупаемую для государственных нужд [Электронный ресурс]. – 2020. – URL <https://mshp.gov.by/prices/postanovlenie17.pdf> (дата обращения 01.10.2021).

## THE EFFECTIVENESS OF WINTER WHEAT FERTILIZATION SYSTEMS ON MEDIUM-CULTIVATED SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL

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

### Summary

Agroeconomical efficiency of mineral and organomineral systems of winter wheat fertilization with the use of cattle manure and straw is analyzed in the field technological experience. The most optimal for winter wheat on medium-cultivated sod-podzolic sandy loam soil was a fertilizer system, including the application of  $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$  on straw with a compensating dose of nitrogen, which provided a grain yield of 64.1 c/ha with a crude protein content of 14,24 %, gluten – 28,94 %, coefficients of compensation for the removal of nutrients by harvest: N – 1,4,  $P_2O_5$  – 1,2,  $K_2O$  – 2,5, conditional net income provided grain is sold as food – 455 USD/ha, the profitability of the use of fertilizers – 195 %, when used for fodder – 71 USD/ha and 31 %, respectively.

*Поступила 02.12.21*

УДК 631.8:633.11:631.559:631.445.2

## ВЛИЯНИЕ МАКРО-, МИКРОУДОБРЕНИЙ И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА ПРОДУКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

И. Р. Вильдфлуш<sup>1</sup>, Г. В. Пироговская<sup>2</sup>, А. А. Кулешова<sup>1</sup>

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

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

### ВВЕДЕНИЕ

Яровая пшеница является одной из ведущих культур ярового сева. В республике в структуре зерновых культур ей уделяется большое внимание.

Беларусь имеет все необходимые условия для выращивания и обеспечения себя собственным продовольственным зерном. При урожайности 35–40 ц/га сельскохозяйственные организации республики могут ежегодно получать до 1,5–2,0 млн т пшеничного зерна и почти полностью удовлетворять потребности хлебопекарной промышленности. Все это говорит о больших потенциальных возможностях яровой пшеницы при совершенствовании технологии ее возделывания [1, 2].

Агрохимическая и физиологическая роль микроэлементов многогранна. Они улучшают обмен веществ в растениях, устраняют функциональные нарушения и содействуют нормальному течению физиолого-биохимических процессов, влияют на процессы синтеза хлорофилла и повышают интенсивность фотосинтеза. Известно, что отзывчивость растений на внесение микроэлементов зависит от содержания азота, фосфора и калия в почве. Эффективность микроэлементов увеличивается в случае обеспечения растений азотом, фосфором и калием [3].

Применение в системе удобрения комплексных минеральных удобрений, микроудобрений в хелатной форме, регуляторов роста и комплексных удобрений с регуляторами роста позволит оптимизировать питание растений и разработать высокоэффективную систему удобрения, позволяющую обеспечивать высокую, устойчивую продуктивность, уменьшить действие неблагоприятных метеорологических условий на формирование урожая.

Установлено, что урожай сухого вещества сельскохозяйственных культур на 80–90 % создается в результате фотосинтеза, который в первую очередь зависит от размеров ассимиляционной поверхности, высоты и густоты стояния растений и ряда других факторов [4].

Фотосинтез – основной процесс создания органического вещества в растении. Осуществляя его, растения проделывают огромную работу. Например, для формирования урожайности зерна 35–40 ц/га, что соответствует урожаю сухой биомассы около 100 ц, посев пшеницы должен усвоить около 20 т углекислого газа (что равно содержанию  $\text{CO}_2$  в слое воздуха высотой 4 км над гектарным участком), поглотить около 1 млрд ккал световой энергии, из которых примерно 40 млн ккал аккумулируется в урожае. Такая работа может быть выполнена только мощным и высокоактивным фотосинтетическим аппаратом, формирование которого зависит от условий выращивания и сортовых особенностей растения [5].

Среди показателей, важных для разработки теории и практики оптимизации формирования урожаев, есть целый ряд процессов и показателей фотосинтетической деятельности растений. Среди них основные и в то же время доступные для учетов: 1) ход роста площади листьев; 2) ход роста общей сухой биомассы урожая с расчленением ее на органы: листья, стебли, клубнеплоды; 3) показатели чистой продуктивности фотосинтеза; 4) показатели потенциала; 5) показатели коэффициента хозяйственной годности урожая [6].

В опытах Л. В. Карповой, Г. А. Карповой и А. В. Строгоновой, проводимых в 201–2020 гг. на опытном участке ФГБОУ ВО «Пензенский ГАУ», изучали эффективность макро- и микроудобрений в хелатной форме на яровой пшенице. Было установлено, что формирование листовой поверхности, накопление сухого веса растений, чистой продуктивности фотосинтеза и, как следствие, более высокой урожайности отмечены в варианте с бинарным использованием препаратов «Мегамикс-семена» и «МегамиксПрофи» при двукратной обработке растений в фазы кущения и колошения на фоне  $\text{N}_{16}\text{P}_{16}\text{K}_{16}$  [7].

Г. А. Карпова и М. Е. Миронова в 2005–2007 гг. на коллекционном участке ФГОУ ВПО «Пензенская ГСХА» изучали действие регуляторов роста мелафен, пирарфен и пектин на яровой мягкой пшенице сорта Нива 2 и яровом ячмене сорта Нутанс 642. Использование регуляторов роста способствовало увеличению ЧПФ

растений пшеницы на 12,2–14,0 %, ячменя – на 14,3–18,4 %. Показатели сухой биомассы превышали контрольные значения на 15,2–25,8 % и 27,5–36,2 % соответственно. Обработка семян регуляторами роста способствовала повышению урожайности в среднем за три года исследований на 7,1–14,6 % (абсолютная прибавка урожая 0,18–0,37 т/га) [8].

В Республике Беларусь в Институте почвоведения и агрохимии разработаны новые формы комплексных удобрений АФК с микроэлементами для основного внесения, а также различные марки микроудобрений МикроСтим для некорневой подкормки. Изучение влияния данных удобрений на урожайность и качество продукции позволит разработать ресурсосберегающую систему удобрения сельскохозяйственных культур.

Цель исследований – изучить влияние комплексных удобрений для допосевного внесения и некорневых подкормок, микроудобрений в хелатной форме, регуляторов роста и комплексных микроудобрений с регуляторами роста на динамику накопления биомассы, площадь листовой поверхности, фотосинтетическую деятельность и урожайность яровой пшеницы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2018–2020 гг. в УНЦ «Опытные поля УО БГСХА» со среднеспелым сортом яровой пшеницы Бомбона на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины 1 м моренным суглинком. Общая площадь делянки – 21 м<sup>2</sup>, учетная – 16,5 м<sup>2</sup>, повторность – 4-кратная.

Пахотный слой почвы характеризовался средним содержанием гумуса (1,5–1,6 %), слабокислой и близкой к нейтральной реакции почвенной среды (рН – 5,58–6,08), повышенным содержанием подвижного фосфора (208–244 мг/кг), средней и повышенной обеспеченностью подвижным калием (174–231 мг/кг), низким и средним содержанием подвижной меди (1,46–1,76 мг/кг), низким и средним содержанием подвижного цинка (2,75–3,43 мг/кг).

Предшественники в 2018 г. – горох, в 2019 и 2020 гг. – подсолнечник. Сеяли пшеницу сеялкой RAU в 2018 г. 3 мая, в 2019 г. – 19 апреля, в 2020 г. – 23 апреля. Норма высева – 5,5 млн всхожих семян.

В исследованиях применяли удобрения:

- карбамид (N – 46 %), аммонизированный суперфосфат (N – 9 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 30 %), хлористый калий (K<sub>2</sub>O – 60 %);
- польское микроудобрение Адоб Медь (Cu – 6,14 %, N – 2,6 %);
- комплексное, разработанное РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси», удобрение марки 16-12-20 с 0,20 % Cu и 0,10 % Mn для основного внесения.
- израильское удобрение для некорневых подкормок Нутривант плюс (N – 6 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 23 %, K<sub>2</sub>O – 5 %, MgO – 1 %, S – 1,5 %, B – 0,1 %, Mn – 0,2 %, Zn – 0,2 %);
- удобрения, произведенные в Нидерландах – Кристалон особый (N – 18 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 18 %, K<sub>2</sub>O – 18 %, MgO – 3 %, S – 2 %) и коричневый (N – 3 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 11 %, K<sub>2</sub>O – 38 %, MgO – 4 %, S – 11 %);

- польское комплексное удобрение Адоб Профит (N – 10 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 40 %, K<sub>2</sub>O – 8 %, MgO – 3 %, S – 2,3 %, B – 0,05 %, Mn – 0,1 %, Zn – 0,1 %, Cu – 0,1 %, Mo – 0,01 %, Fe – 0,05 %);

- белорусское микроудобрение с регулятором роста МикроСтим-Медь Л (N – 65 г/л; Cu – 78 г/л; гуминовые вещества – 0,6–5,0 г/л);

- регулятор роста Экосил (50 г/л тритерпеновых кислот).

Агротехника возделывания общепринятая для Беларуси.

Минеральные удобрения (карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) вносили до посева под культивацию.

Некорневые подкормки регуляторами роста, комплексными и микроудобрениями проводили согласно инструкции по применению и отраслевому регламенту [9].

Новое комплексное удобрение с Cu и Mn вносили до посева в дозе, эквивалентной по NPK (0,788 кг ф. в.) варианту 3 (N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>), где применяли карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий. Микроудобрение Адоб Медь и комплексное микроудобрение с регулятором роста МикроСтим-Медь Л применяли в фазу начала выхода в трубку в дозе 0,8 л/га и 0,7 л/га соответственно. Комплексным удобрением Нутривант плюс проводили 2 обработки в дозе 2 кг/га в фазу кущения и фазу начала выхода в трубку. Удобрение Кристалон особый в дозе 2 кг/га вносили в фазу кущения, Кристалон коричневый (2 кг/га) – в фазу начала выхода в трубку. Комплексное удобрение Адоб Профит также вносили дважды в фазу кущения и начала выхода в трубку по 2 кг/га. Обработку посевов регулятором роста Экосил (75 мл/га) проводили в фазу начала выхода в трубку.

Азотная подкормка яровой пшеницы проводилась в фазу начало выхода в трубку и фазу флагового листа.

Система защиты посевов яровой пшеницы от вредителей, болезней и сорняков включала в себя следующие мероприятия:

- в 2018 г. проводили обработку гербицидом Триммер (20 г/га) в фазу 2–3 настоящих листа и в фазу колошения инсектицидом Фаскорд (0,15 л/га), фунгицидом Колосаль Про (0,4 л/га).

- в 2019 г. в фазу 2–3 настоящих листа проводили обработку гербицидом Секатор Турбо (50 мл/га), в фазу кущения – фунгицидом Рекс Дуо (0,6 л/га), в фазу колошения – инсектицидом Фаскорд (0,15 л/га).

- в 2020 г. в фазу 2–3 настоящих листа проводили обработку гербицидом Секатор Турбо (50 мл/га), в фазу выхода в трубку – инсектицидом Фаскорд (0,1 л/га) и фунгицидом Импакт (0,5 л/га).

Уборку и учет урожая проводили селекционным комбайном «Wintersteiger Delta» поделяночно.

Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [10] и М. Ф. Дембицкому [11].

За период проведения исследований погодные условия для выращивания яровой пшеницы отличались как температурой, так и количеством выпавших осадков. Вегетационный период 2018 г. по гидротермическим условиям характеризовался как избыточно увлажненный (ГТК – 1,5), большее количество осадков пришлось на июль. Гидротермические условия 2019 г. были наиболее оптимальными для роста яровой пшеницы (ГТК – 1,1), что в дальнейшем

повлияло на урожайность зерна. Погодные условия вегетационного периода 2020 г. характеризовались избыточным количеством влаги (ГТК – 2,0). В целом для роста и развития яровых зерновых культур погодные условия были благоприятными.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что фотосинтетическая деятельность растений, определяющая в итоге размеры урожая, зависит от площади фотосинтетически активных листьев, быстроты их нарастания и продолжительности работы ассимиляционного аппарата [12].

В период исследований в фазу кущения яровой пшеницы площадь листовой поверхности существенно не отличалась по вариантам опыта, кроме контрольного варианта, где она была наименьшей и составила 17,1 тыс. м<sup>2</sup>/га (табл. 1).

В фазу выхода в трубку минимальная площадь листовой поверхности была отмечена также в варианте без удобрений – 23,1 тыс. м<sup>2</sup>/га. В вариантах с применением минеральных удобрений в дозах N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> и N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> площадь листовой поверхности по сравнению с контролем возросла на 5,6 и 7,2 тыс. м<sup>2</sup>/га. В вариантах, где применялись Нутривант плюс, Кристалон и Адоб Профит по сравнению с фоном 1 площадь листовой поверхности возросла на 1,4–2,4 тыс. м<sup>2</sup>/га, а в варианте с применением регулятора роста Экосил – на 1,6 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Некорневая подкормка посевов микроудобрениями Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л на фоне 1 способствовала увеличению площади листовой поверхности на 0,9–1,3 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Таблица 1

**Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на площадь листовой поверхности растений яровой пшеницы сорта Бомбона (среднее, 2018–2020 гг.)**

Вариант	Площадь листовой поверхности, тыс. м <sup>2</sup> /га		
	кущение	выход в трубку	колошение
1. Контроль (без удобрений)	17,1	23,1	37,9
2. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	20,7	28,7	43,7
3. N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> – фон 1	21,2	30,3	47,2
4. Фон 1 + Адоб Медь, 0,8 л/га	21,0	31,2	49,8
5. Фон 1 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	20,5	31,6	48,9
6. Фон 1 + Нутривант плюс, 2 кг/га	22,4	32,4	47,6
7. Фон 1 + Кристалон особый, 2 кг/га + Кристалон коричневый, 2 кг/га	22,9	31,7	46,7
8. Фон 1 + Адоб Профит, 2 + 2 кг/га	23,8	32,7	45,9
9. Фон 1 + Экосил, 75 мл/га	21,9	31,9	49,7
10. НРК с Си, Мп (0,788 кг) + N <sub>30</sub>	20,8	32,5	48,0
11. N <sub>60+30+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> – фон 2	24,4	35,0	45,9
12. Фон 2 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	24,7	35,8	50,1
13. Фон 2 + Нутривант плюс, 2 кг/га	23,9	35,4	47,2
НСР <sub>05</sub>	0,672	0,911	1,574

Внесение нового комплексного удобрения (NPK) с Cu и Mn по сравнению с вариантом 3, повышало площадь листовой поверхности яровой пшеницы в фазу выхода в трубку на 2,2 тыс. м<sup>2</sup>/га. Применение повышенных доз минеральных удобрений N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> по сравнению с контролем – на 11,9 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Максимальная площадь листовой поверхности в фазу выхода в трубку была отмечена в вариантах с применением МикроСтим-Медь Л и Нутривант плюс на фоне N<sub>60</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> + N<sub>30</sub> + N<sub>30</sub> и достигала 35,8 и 35,4 тыс. м<sup>2</sup>/га.

В фазу колошения площадь листовой поверхности по вариантам опыта колебалась от 37,9 тыс. м<sup>2</sup>/га до 50,1 тыс. м<sup>2</sup>/га. В неудобренном варианте отмечена наименьшая площадь листовой поверхности – 37,9 тыс. м<sup>2</sup>/га. В вариантах, где вносили минеральные удобрения в дозах N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> и N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>, площадь листовой поверхности значительно отличалась от контроля и возрастала до 43,7 и 47,2 тыс. м<sup>2</sup>/га.

В варианте, где применяли Нутривант плюс по сравнению с фоном 1, площадь листовой поверхности в фазу колошения возросла на 0,4 тыс. м<sup>2</sup>/га. В вариантах, где применялись Кристалон и Адоб Профит по сравнению с фоном 1, площадь листовой поверхности уменьшилась на 0,5–1,3 тыс. м<sup>2</sup>/га. В вариантах, где применяли МикроСтим-Медь Л, Адоб Медь и регулятор роста Экосил по сравнению с тем же фоном 1 N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> площадь листьев увеличивалась на 1,7–2,6 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Применение нового комплексного удобрения (NPK) с Cu и Mn по сравнению с эквивалентной дозой минеральных удобрений (N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>) увеличило площадь поверхности листьев яровой пшеницы на 0,8 тыс. м<sup>2</sup>/га.

В варианте, где вносили минеральные удобрения в дозе N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> площадь листьев яровой пшеницы в фазу колошения по сравнению с контрольным вариантом возросла на 8 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Комплексное удобрение Нутривант плюс на фоне 2 способствовало увеличению площади листовой поверхности на 1,3 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Максимальная площадь листовой поверхности была отмечена в варианте с применением микроудобрения МикроСтим-Медь Л на фоне 2 и достигла 50,1 тыс. м<sup>2</sup>/га.

При проведении анализа парной корреляционно-регрессионной зависимости урожайности зерна яровой пшеницы от площади листовой поверхности наблюдалась сильно выраженная прямая зависимость. Коэффициент корреляции в среднем за три года исследований у яровой пшеницы составил 0,90 с уравнением регрессии:  $Y = 0,92 \cdot X - 8,164$ .

Одним из важнейших показателей фотосинтетической деятельности является фотосинтетический потенциал (ФП), который определяется как сумма ежедневных показателей площади листьев на гектар посева [13].

У яровой пшеницы сорта Бомбона в межфазный период выход в трубку-колошение ФП был ниже в контрольном варианте, а в удобряемых вариантах он был примерно на одном уровне (табл. 2). В вариантах, где применяли минеральные удобрения в дозах N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> и N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> по сравнению с контролем ФП возрос на 0,08–0,12 млн. м<sup>2</sup> сут/га. При внесении удобрений Нутривант плюс, Кристалон и Адоб Профит по сравнению с фоном 1 ФП возрастал на 0,01–0,02 млн м<sup>2</sup> сут/га.

**Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на фотосинтетический потенциал, млн м<sup>2</sup> сут/га и чистую продуктивность фотосинтеза растений яровой пшеницы сорта Бомбона, г/м<sup>2</sup> сутки в среднем за 2018–2020 гг.**

Вариант	ФП, млн м <sup>2</sup> сут/га		ЧПФ, г/м <sup>2</sup> сутки	
	кущение–выход в трубку	выход в трубку–колошение	кущение–выход в трубку	выход в трубку–колошение
1. Контроль (без удобрений)	0,32	0,47	7,4	3,5
2. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	0,39	0,55	8,4	3,4
3. N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> – фон 1	0,41	0,59	8,0	3,4
4. Фон 1 + Адоб Медь, 0,8 л/га	0,42	0,62	8,1	3,2
5. Фон 1 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	0,41	0,62	8,3	3,1
6. Фон 1 + Нутривант плюс, 2 кг/га	0,44	0,61	8,0	3,0
7. Фон 1 + Кристалон особый, 2 кг/га + Кристалон коричневый, 2 кг/га	0,44	0,60	8,1	3,0
8. Фон 1 + Адоб Профит, 2 + 2 кг/га	0,45	0,60	8,0	2,9
9. Фон 1 + Экосил, 75 мл/га	0,43	0,63	8,1	3,2
10. NPK с Cu, Mn (0,788 кг) + N <sub>30</sub>	0,43	0,62	8,5	3,0
11. N <sub>60+30+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> – фон 2	0,47	0,62	7,8	2,9
12. Фон 2 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	0,48	0,66	7,7	2,7
13. Фон 2 + Нутривант плюс, 2 кг/га	0,47	0,64	7,9	2,9

При использовании удобрений Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л, а также регулятора роста Экосил на том же фоне ФП возрос на 0,03–0,04 млн м<sup>2</sup> сут/га.

В варианте, где вносили комплексное удобрение (NPK) с Cu и Mn по сравнению с вариантом 3 ФП возрос на 0,03 млн м<sup>2</sup> сут/га.

В варианте, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> по сравнению с контрольным вариантом ФП вырос на 0,15 млн м<sup>2</sup> сут/га.

В вариантах, где применяли МикроСтим-Медь Л и Нутривант плюс на фоне с повышенным внесением минеральных удобрений ФП увеличился на 0,02–0,04 млн м<sup>2</sup> сут/га.

Максимальный ФП (0,64–0,66 млн м<sup>2</sup> сут/га) отмечен в вариантах с применением микроудобрения МикроСтим-Медь Л и комплексного удобрения Нутривант плюс на фоне 2, где и получена максимальная урожайность зерна пшеницы (табл. 4).

Проведенный анализ парной корреляционно-регрессионной зависимости урожайности зерна от фотосинтетического потенциала показал, что у яровой пшеницы сорта Бомбона между этими показателями наблюдается сильно выраженная прямая зависимость. Коэффициент корреляции в среднем за три года исследований у яровой пшеницы составил 0,89 с уравнением регрессии:  $Y = 0,168 + 0,007 \cdot X$ .

Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) характеризует среднюю эффективность работы единицы листовой поверхности растений по накоплению сухой биомассы [13]. ЧПФ у яровой пшеницы сорта Бомбона в межфазный период выход в трубку–колошение существенно не различалась по вариантам опыта (табл. 2). ЧПФ самой высокой была в контрольном варианте и составила

3,5 г/м<sup>2</sup> сутки. В вариантах, где применялись минеральные удобрения в дозах N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> и N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> по сравнению с контролем ЧПФ уменьшилась на 0,1 г/м<sup>2</sup>. При внесении удобрений Нутривант плюс, Кристалон и Адоб Профит по сравнению с фоном 1 ЧПФ также уменьшилась на 0,4–0,5 г/м<sup>2</sup> сутки. При использовании удобрений Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л, а также регулятора роста Экосил по сравнению с фоном 1 ЧПФ уменьшилось на 0,2–0,3 г/м<sup>2</sup>.

В варианте, где вносили комплексное удобрение (NPK) с Cu и Mn по сравнению с вариантом 3 ЧПФ уменьшилась на 0,4 г/м<sup>2</sup> сутки.

В варианте, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> по сравнению с контрольным вариантом ЧПФ уменьшилась на 0,6 г/м<sup>2</sup>. В варианте с применением Нутривант плюс по сравнению с фоном 2 ЧПФ осталась на одном уровне – 2,9 г/м<sup>2</sup> сутки, а в варианте с применением МикроСтим-Медь Л уменьшилась на 0,2 г/м<sup>2</sup> сутки.

Проведенный анализ парной корреляционно-регрессионной зависимости урожайности зерна от чистой продуктивности фотосинтеза показал, что у яровой пшеницы сорта Бомбона между этими показателями наблюдается сильная прямая зависимость. Коэффициент корреляции в среднем за три года исследований у яровой пшеницы составил  $r = 0,79$  с уравнением регрессии:  $Y = 1,434 + 0,027 \cdot X$ .

Применение макро-, микроудобрений и регуляторов роста способствует значительному накоплению сухого вещества в растениях, что в свою очередь положительно влияет на формирование урожая.

В фазу кущения и выхода в трубку яровой пшеницы минимальное накопление сухого вещества было отмечено в контрольном варианте (табл. 3). Наибольшая масса растений в эти фазы была отмечена в вариантах с применением микроудобрения МикроСтим-Медь Л и комплексного удобрения Нутривант плюс на фоне N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> и в фазу выхода в трубку достигла 490,0 и 492,5 г/100 сухих растений.

В фазу колошения наибольшая масса сухого вещества также была в варианте, где применяли Нутривант плюс и МикроСтим-Медь Л (668,7 и 663,9 г/100 растений). Наименьшая масса растений была в варианте без удобрений (461,0 г/100 растений). Остальные варианты отличались существенно только от контрольного.

В фазу молочно-восковой спелости масса растений пшеницы по вариантам опыта колебалась от 801,0 до 1495,2 г/100 растений. В неудобренном варианте отмечена минимальная масса сухого вещества (801,0 г/100 растений). В вариантах, где вносили минеральные удобрения в дозах N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> и N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> по сравнению с контролем масса сухого вещества увеличилась на 562,2–590,1 г/100 растений.

При внесении комплексных удобрений Нутривант плюс, Кристалон и Адоб Профит по сравнению с фоном 1 масса сухих растений возросла на 43,3–69,8 г/100 растений. При внесении микроудобрений МикроСтим-Медь Л и Адоб Медь по сравнению с тем же фоном масса растений увеличилась на 10,7–11 г/100 растений.

Применение регулятора роста Экосил способствовало увеличению массы сухого вещества, которое по сравнению с фоном 1 возросло на 43,5 г/100 растений.

Внесение комплексного удобрения (NPK) с Cu и Mn по сравнению с эквивалентной дозой N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> способствовало увеличению массы сухого вещества растений яровой пшеницы на 50,9 г/100 растений (табл. 3).

В варианте 11, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений, по сравнению с контрольным вариантом, масса сухого вещества возросла на 659,8 г/100 растений.

Таблица 3

**Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на динамику накопления сухого вещества растений яровой пшеницы сорта Бомбона в среднем за 2018–2020 гг.**

Вариант	Вес 100 сухих растений, г			
	кущение	выход в трубку	колошение	молочно-восковая спелость
1. Контроль (без удобрений)	63,1	297,4	461,0	801,0
2. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	99,9	430,9	618,3	1363,2
3. N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> – фон 1	104,5	434,6	633,0	1391,1
4. Фон 1 + Адоб Медь, 0,8 л/га	104,5	441,8	640,7	1402,1
5. Фон 1 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	100,1	441,2	632,4	1401,8
6. Фон 1 + Нутривант плюс, 2 кг/га	108,8	456,7	642,1	1438,7
7. Фон 1 + Кристалон особый, 2 кг/га + Кристалон коричневый, 2 кг/га	108,4	462,4	641,0	1434,4
8. Фон 1 + Адоб Профит, 2 + 2 кг/га	117,3	478,8	651,9	1460,9
9. Фон 1 + Экосил, 75 мл/га	98,7	445,7	645,8	1434,6
10. NPK с Cu, Mn (0,788 кг) + N <sub>30</sub>	105,5	465,5	648,1	1442,0
11. N <sub>60+30+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> – фон 2	121,0	487,3	662,1	1460,8
12. Фон 2 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	121,4	490,0	663,9	1488,3
13. Фон 2 + Нутривант плюс, 2 кг/га	120,6	492,5	668,7	1495,2
НСР <sub>05</sub>	3,325	5,814	7,743	9,058

В вариантах, где применяли МикроСтим-Медь Л и Нутривант плюс по сравнению с фоном 2, масса сухого вещества в фазе молочно-восковой спелости возросла на 27,5–34,4 г/100 растений соответственно. В данном варианте отмечена максимальная масса сухих растений, что способствовало получению более высокой урожайности зерна яровой пшеницы (табл. 4).

Проведенный парный корреляционно-регрессионный анализ зависимости урожайности зерна от накопления сухого вещества показал следующее. Для яровой пшеницы сорта Бомбона характерна сильно выраженная прямая зависимость между данными признаками ( $r = 0,87$ ) с уравнением регрессии:  $Y = 22,6 \cdot X - 8,72$ .

В среднем за 2018–2020 гг. урожайность яровой пшеницы сорта Бомбона в варианте с применением N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> по отношению к контролю возросла на 9,6 ц/га, а окупаемость 1 кг NPK кг зерна составила 4,6 (табл. 4).

Применение азотной подкормки карбамидом N<sub>30</sub> в сочетании с N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> увеличило урожайность зерна на 14,1 ц/га по сравнению с вариантом без удобрений при окупаемости 1 кг NPK 5,9 кг зерна соответственно.

Среди комплексных удобрений для некорневых подкормок наиболее эффективным был Нутривант плюс. Адоб Профит и Кристалон были по действию равнозначны и несколько уступали Нутриванту.

Обработка посевов комплексным удобрением Нутривант плюс в фазе кущения на том же фоне дала прибавку урожайности зерна пшеницы сорта Бомбона 6,8 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 8,7 ц/га зерна.

Некорневая подкормка комплексными удобрениями Кристалон и Адоб Профит при двукратной обработке по сравнению с фоновым вариантом (N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>) увеличила урожайность зерна пшеницы на 4,4 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 7,7 кг зерна и 5,3 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 8,1 кг зерна соответственно.

Таблица 4

**Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на урожайность зерна яровой пшеницы сорта Бомбона**

Вариант	Урожайность, ц/га				Прибавка, ц/га			Окупаемость 1 кг NPK зерном, кг
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее	к контролю	к фону		
						1	2	
1. Контроль (без удобрений)	30,2	51,8	49,6	43,9	–	–	–	–
2. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	38,2	62,9	59,5	53,5	9,6	–	–	4,6
3. N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> – фон 1	40,4	69,7	64,0	58,0	14,1	–	–	5,9
4. Фон 1 + Адоб Медь, 0,8 л/га	43,9	75,1	68,1	62,3	18,4	4,3	–	7,7
5. Фон 1 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	44,9	76,9	69,5	63,8	19,9	5,8	–	8,3
6. Фон 1 + Нутривант плюс, 2 кг/га	45,9	77,9	70,8	64,8	20,9	6,8	–	8,7
7. Фон 1 + Кристалон особый, 2 кг/га + Кристалон коричневый, 2 кг/га	44,0	74,4	68,8	62,4	18,5	4,4	–	7,7
8. Фон 1 + Адоб Профит, 2 + 2 кг/га	43,9	77,3	68,7	63,3	19,4	5,3	–	8,1
9. Фон 1 + Экосил, 75 мл/га	43,9	74,0	67,3	61,7	17,8	3,7	–	7,4
10. NPK с Cu, Mn (0,788 кг) + N <sub>30</sub>	46,0	80,7	72,6	66,4	22,5	–	–	9,4
11. N <sub>60+30+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> – фон 2	42,7	74,6	69,4	62,2	18,3	–	–	5,9
12. Фон 2 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	48,9	82,9	77,4	69,7	25,8	–	7,5	8,3
13. Фон 2 + Нутривант плюс, 2 кг/га	48,8	83,2	78,8	70,3	26,4	–	8,1	8,5
НСР <sub>05</sub>	1,6	1,8	2,1	1,0	–	–	–	–

Обработка посевов комплексным удобрением Нутривант плюс на фоне повышенных доз минеральных удобрений в фазу начала выхода в трубку увеличила урожайность зерна пшеницы на 8,1 ц/га, а окупаемость 1 кг NPK составила 8,5 кг зерна. Применение на посевах яровой пшеницы сорта Бомбона регулятора роста Экосил на фоне 1 увеличило урожайность зерна на 3,7 ц/га, при этом окупаемость 1 кг NPK составила 7,4 кг зерна.

Действие микроудобрения белорусского производства МикроСтим-Медь Л на урожайность зерна яровой пшеницы не только не уступало, но и даже превосходило польское микроудобрение Адоб Медь и его можно рекомендовать для импортозамещения.

Некорневая подкормка пшеницы микроудобрениями Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л на фоне 1 в фазу начала выхода в трубку повышала урожайность зерна на 4,3 и 5,8 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 7,7 и 8,3 кг зерна.

Применение микроудобрения МикроСтим-Медь Л на фоне 2 увеличило урожайность зерна яровой пшеницы на 7,5 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 8,3 кг зерна.

При использовании разработанного РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси» комплексного удобрения (NPK) марки 16-12-20 с 0,20 % Cu и 0,10 % Mn урожайность зерна пшеницы возросла на 8,4 ц/га по сравнению с вариантом 3. При этом окупаемость 1 кг NPK составила 9,4 кг.

Максимальная урожайность зерна яровой пшеницы (69,7 и 70,3 ц/га) получена при некорневой подкормке микроудобрением МикроСтим-Медь Л и комплексным удобрением Нутривант плюс на фоне 2.

Максимальная окупаемость 1 кг NPK кг зерна пшеницы отмечается в вариантах с использованием нового комплексного удобрения (NPK) с Cu и Mn и комплексного удобрения Нутривант плюс на фоне 1, которая составила 9,4 и 8,5 кг соответственно.

## ВЫВОДЫ

1. Применение макро-, микроудобрений и регуляторов роста положительно повлияло на продукционные процессы, а также урожайность яровой пшеницы сорта Бомбона, возделываемой на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Максимальные значения площади листовой поверхности (50,1 тыс. м<sup>2</sup>/га) и фотосинтетического потенциала в период «выход в трубку-колошение» (0,66 млн м<sup>2</sup> сут/га) отмечены в варианте МикроСтим-Медь Л на фоне N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub>, чистая продуктивность фотосинтеза при этом составила 2,7 г/м<sup>2</sup> сутки соответственно. Максимальное значение динамики накопления сухого вещества (1495,2 г) отмечено в варианте Нутривант плюс на фоне N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub>.

2. Анализ парной корреляционно-регрессионной зависимости урожайности зерна от площади листовой поверхности, динамики накопления сухого вещества, фотосинтетического потенциала и чистой продуктивности фотосинтеза показал сильную прямую зависимость урожайности от этих показателей.

3. Некорневая подкормка пшеницы микроудобрениями Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л на фоне N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> повышала урожайность зерна на 4,3 и 5,8 ц/га зерна. Обработка посевов комплексными удобрениями Нутривант плюс, Кристалон и Адоб Профит в фазе кущения на фоне N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> дала прибавку урожайности зерна пшеницы сорта Бомбона 6,8 ц/га, 4,4 ц/га и 5,3 ц/га. Применение регулятора роста Экосил повышало урожайность зерна на 3,7 ц/га. Внесение нового комплексного удобрения для яровых зерновых культур (NPK) марки 16-12-20 с 0,20 % Cu и 0,10 % Mn в дозе, эквивалентной N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>, увеличило урожайность пшеницы на 8,4 ц/га.

5. Наиболее высокая урожайность зерна яровой пшеницы (69,7 и 70,3 ц/га) получена при некорневой подкормке микроудобрением МикроСтим-Медь Л и комплексным удобрением Нутривант плюс на фоне N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub>.

6. Максимальная окупаемость 1 кг NPK кг зерна пшеницы отмечена в вариантах с использованием нового комплексного удобрения (NPK) марки 16-12-20 с 0,20 %

Сu и 0,10 Мп и комплексного удобрения Нутривант плюс на фоне  $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ , которая составила 9,4 и 8,5 кг соответственно.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология формирования высокопродуктивных и устойчивых смешанных посевов на основе оптимизации минерального питания: рекомендации / Т. Ф. Персикова [и др.] – Горки: БГСХА, 2010. – 32 с.
2. Алексеев, В. Н. Возделывание яровой пшеницы в Беларуси / В. Н. Алексеев, П. В. Бородин, Н. В. Клебанович // Современные технологии сельскохозяйственного производства: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 27 апреля, 18 мая 2012: в 2 ч. / ГГАУ. – Гродно, 2012. – С. 3–5.
3. Анспок, П. И. Микроудобрения: справочная книга / П. И. Анспок. – Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1978. – 272 с.
4. Ничипорович, А. А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения их продуктивности / А. А. Ничипорович // Теоретические основы фотосинтетической продуктивности. – М.: Наука, 1972. – 527 с.
5. Кумаков, В. А. Физиология яровой пшеницы / В. А. Кумаков. – М.: Колос, 1980. – 207 с.
6. Ничипорович, А. А. Методические указания по учету и контролю важнейших показателей процессов фотосинтетической деятельности растений в посевах / А. А. Ничипорович, З. Е. Кузьмин, Л. Я. Полозова. – М.: ВАСХНИЛ, 1969. – 93 с.
7. Карпова, Л. В. Эффективность применения комплексных жидких удобрений в хелатной форме на фоне естественного и минерального питания растений яровой пшеницы / Л. В. Карпова, Г. А. Карпова, А. В. Строгонова // Нива Поволжья. – 2020. – № 4 (57). – С. 51–57.
8. Карпова, Г. А. Оптимизация продукционного процесса агроценозов яровой пшеницы и ячменя при использовании регуляторов роста / Г. А. Карпова, М. Е. Миронова // Нива Поволжья. 2009. – № 1 (10). – С. 8–13.
9. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 288 с.
10. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (С основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
11. Дзямбіцкі, М. Ф. Асаблівасці дысперсійнага аналізу вынікаў шматгадовага палявога доследу / М. Ф. Дзямбіцкі // Весці Акадэміі аграрных навук Беларусі. – 1994. – № 3 – С. 60–64.
12. Ахмедова, П. М. Площадь листовой поверхности и продуктивность фотосинтеза у скороспелых сортов томата / П. М. Ахмедова // Овощи России. – 2013. – № 4 (21). – С. 54–57.
13. Оптимизация минерального питания зерновых культур на основе регулирования интенсивности продукционных процессов: рекомендации / Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2006. – 12 с.

## **INFLUENCE OF MACRO-, MICRO-FERTILIZERS AND GROWTH REGULATORS ON PRODUCTION PROCESSES AND YIELD OF SPRING WHEAT ON SOD-PODZOLIC LIGHT-LOAMY SOIL**

**I. R. Vildflush, G. V. Pirogovskaya, A. A. Kuleshova**

### **Summary**

The positive effect of complex fertilizers, microfertilizers, growth regulators and complex microfertilizers with growth regulators on the dynamics of biomass accumulation, leaf area, photosynthetic activity and yield of spring wheat has been established. The maximum leaf surface area was noted in the variant with the use of MicroStim-Copper L against the background of  $N_{60+30+30}P_{70}P_{120}$  – 50,1 thousand  $m^2/ha$ , and the greatest accumulation of dry matter (1488,3 and 1495,2 g/100 plants) was in variants with the introduction of MicroStim-Copper L and Nutrivant plus against the background of  $N_{60+30+30}P_{70}P_{120}$ . The values of photosynthetic potential and net productivity were 0,66–0,64 million  $m^2$  day/ha and 2,7–2,9  $g/m^2$  day.

Foliar feeding of wheat with micronutrient fertilizers Adob Copper and MicroStim-Copper L against the background of  $N_{60+30}P_{60}P_{90}$  increased grain yield by 4,3 and 5,8 c/ha of grain. Treatment of crops with complex fertilizers Nutrivant plus, Crystalon and Adobe Profit in the tillering phase against the background of  $N_{60+30}P_{60}P_{90}$  gave an increase in the yield of wheat grain of the Bombona variety 6,8, 4,4 and 5,3 c/ha.

The use of a new complex fertilizer for spring grain crops NPP grade 16-12-20 with 0,20 % Cu and 0,10 % Mn compared to the variant where used urea, ammoniated superphosphate and potassium chloride were used in an equivalent dose ( $N_{60+30}P_{60}P_{90}$ ), increased wheat yield by 8,4 c/ha.

The highest yield of spring wheat grain (69,7 and 70,3 c/ha) was obtained with foliar feeding with MicroStim-Copper L micronutrient fertilizer and Nutrivant plus complex fertilizer against the background of  $N_{60+30+30}P_{70}P_{120}$ .

*Поступила 10.11.21*

УДК: 631.438:631.83

## **ВЛИЯНИЕ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ И ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОЧВЫ ПОДВИЖНЫМ КАЛИЕМ НА НАКОПЛЕНИЕ $^{137}Cs$ ЗЕРНОФУРАЖНЫМИ КУЛЬТУРАМИ**

**Ю. В. Путятин**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Кормопроизводство, кормовая база являются основой устойчивого развития сельскохозяйственного производства. Только создание эффективной системы кормопроизводства позволяет реализовать генетический потенциал породистого

скота, обеспечить его высокую и устойчивую продуктивность. По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь в зоне радиоактивного загрязнения Белорусского Полесья доля зерновых, зернобобовых и кукурузы на зерно в посевах достигает более 60 %.

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 конрмер, 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  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  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  $^{90}\text{Sr}$  нарастало от 5–10 % в первые два года после выпадений, до 50–70 % к 1990 г. В настоящее время в радиационно-стабильных условиях, доля фиксированной фракции  $^{137}\text{Cs}$  составляет 83–98 % от валового содержания в почве, содержание  $^{90}\text{Sr}$  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  $^{137}\text{Cs}$  в растениях на дерново-подзолистой почве считается количество калия, эквивалентное 12,5 % емкости поглощения. Меньшее поглощение  $^{137}\text{Cs}$  в растениях под влиянием калия вышеназванные авторы объясняют антагонизмом ионов  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  урожая, снижается с увеличением обеспеченности почвы подвижным калием.

Эффект от применения калийных удобрений как средства, ограничивающего поступление  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  до 70 %,  $^{90}\text{Sr}$  – до 40 % в сельскохозяйственные культуры. 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 установлении влияния внесения калийных удобрений и обеспеченности почвы подвижным калием на накопление  $^{137}\text{Cs}$  зернофуражными культурами.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Маршрутные исследования проводились 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 отбирали методом конверта, т. е. один смешанный образец состоял из 5 индивидуальных проб, взятых на глубину перегнойного горизонта с площади  $1 \text{ м}^2$  с помощью почвенного тростевого бура. Масса воздушно-сухого образца почвы для проведения анализа на содержание радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  составляла 1,5 кг. Из точечных растительных проб массой 0,6–1,0 кг формировали объединенную пробу зерна. Все данные по удельной активности растительных образцов (Бк/кг) пересчитывались на стандартную влажность зерна – 14 %.

Полевой стационарный опыт проводился в экспериментальной базе «Стреличево» Хойникского района Гомельской области на дерново-подзолистой супесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком. Почва пахотного горизонта характеризовалась следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,85–2,12 %, рН (потенциометрическим методом) 5,5–15,82, содержание подвижных форм фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) и калия ( $\text{K}_2\text{O}$ ) (по Кирсанову) – 221–260 мг/кг и 361–374 мг/кг почвы соответственно, обменных форм кальция (Ca) и магния (Mg) (по Мазаевой, Неугодовой) – 608–795 мг/кг и 214–225 мг/кг. Плотность загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  – 407 кБк/м<sup>2</sup>. Минеральные удобрения вносили в виде  $\text{N}_{\text{aa}}$ ,  $\text{P}_{\text{cd}}$  и  $\text{K}_{\text{x}}$  в дозах, согласно схеме опыта (табл. 1).

Агротехника, используемая на опыте, общепринятая для Гомельской области. Повторность опыта – 4-кратная. Общая площадь делянки –  $18 \text{ м}^2$ , учетная площадь –  $14 \text{ м}^2$ .

Измерения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в растительных и почвенных образцах проводили в соответствии с методами испытаний МВИ.МН 1181-2011. Методика выполнения измерений объемной и удельной активности  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  на гамма-бета-спектрометре типа МКС-АТ1315, объемной и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  на гамма-спектрометре типа EL1309 (МКГ-1309) в пищевых продуктах, питьевой воде, почве, сельскохозяйственном сырье и кормах, продукции лесного хозяйства, других объектах окружающей среды. Линия гамма-излучения  $^{137}\text{Cs}$  соответствовала 661,66 кэВ. Ошибка измерений не превышала 5–7 %. Геометрия измерений – сосуд Маринелли емкостью 1 литр.

**Методы математической обработки результатов.** Коэффициенты перехода ( $K_{\text{п}}$ ) радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в растения рассчитывались по формуле:

$$K_{\text{п}} = \frac{A_{\text{р}}}{A_{\text{с}}}$$

где  $A_{\text{р}}$  – удельная активность радионуклида в растении (Бк кг<sup>-1</sup>);  $A_{\text{с}}$  – плотность загрязнения почвы радионуклидом (кБк м<sup>-2</sup>).

Значения агрохимических свойств почв, при которых наблюдается минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$ , рассчитывались на основе квадратичной функции распределения путем деления коэффициента пропорциональности первого порядка на удвоенное значение коэффициента второго порядка. Для математической обработки экспериментального материала использовали методы: регрессионный, корреляционный и 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  $\text{K}_2\text{O}$  составляют 44 % (27 – 150 %) от основной потребности культур в калии [10].

В полевом стационарном эксперименте внесение возрастающих доз калийных удобрений оказало существенное влияние на снижение поступления  $^{137}\text{Cs}$  в зерно озимого тритикале. Так, внесение  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  по сравнению с контрольным вариантом снизило переход  $^{137}\text{Cs}$  в зерно тритикале на 51 %, внесение  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$  на 55 %. Минимальная удельная активность зерна по  $^{137}\text{Cs}$  (2,29 Бк/кг) отмечена при внесении  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{180}$  (табл. 1).

Таблица 1

**Коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  в зерно озимого тритикале в зависимости от внесения минеральных удобрений на дерново-подзолистой супесчаной почве**

Вариант	Удельная активность зерна, Бк/кг	Кп	% к контролю
Контроль	6,35	0,0243	100
$\text{N}_{90}\text{P}_{60}$	3,58	0,0140	58
$\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	2,57	0,0118	49
$\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	2,34	0,0110	45
$\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{180}$	2,29	0,0090	37
SE	–	± 0,0026	–

Несмотря на то, что химический состав растений контролируется генетически, уровень минерального питания оказывает существенное влияние на химический состав продукции растениеводства [11].

Корреляционный анализ показал достаточно тесную отрицательную взаимосвязь ( $r$ ) между содержанием подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве и коэффициентами перехода (Кп)  $^{137}\text{Cs}$  в зерно (табл. 2). Для яровой пшеницы коэффициент корреляции составил  $-0,81$ , ячменя –  $-0,78$ , зерна кукурузы –  $-0,69$  и зерна гороха –  $-0,83$ .

Таблица 2

**Коэффициенты корреляции ( $r$ ) между содержанием подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве и коэффициентами перехода ( $K_p$ )  $^{137}\text{Cs}$  в зерно**

Культура	Продукция	Выборка	$r$
Яровая пшеница	Зерно	22	-0,81
Ячмень	Зерно	48	-0,78
Кукуруза	Зерно	30	-0,69
Горох	Зерно	42	-0,83

По результатам спектрометрического анализа зерна и сопряженных почвенных образцов, отобранных в производственных посевах, рассчитаны параболические зависимости между содержанием подвижного калия в почве и величиной накопления радиоцезия урожаем. На основании уравнений, полученных при квадратичной аппроксимации, рассчитано содержание подвижного калия, при котором отмечено минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  зерном (табл. 3, рис. 1, 2). Среднее значение обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижным калием, при котором наблюдается минимальное накопление радиоцезия составляет 403 мг/кг почвы, с учетом величины стандартного отклонения интервал данного показателя находится в пределах 385–421 мг/кг почвы. Содержание подвижного калия, при котором отмечено минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  яровой пшеницей составляет 419 мг/кг ( $R^2 = 0,72$ ), ячменем – 413 мг/кг ( $R^2 = 0,65$ ), кукурузой – 432 мг/кг ( $R^2 = 0,68$ ) и горохом – 350 мг/кг ( $R^2 = 0,84$ ).

Таблица 3

**Содержание подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве, при котором наблюдается минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  зерном сельскохозяйственных растений**

Культура	Продукция	Выборка	$R^2$	Подвижный $\text{K}_2\text{O}^*$ , мг/кг почвы
Пшеница яровая	Зерно	22	0,72	419
Ячмень	Зерно	48	0,65	413
Кукуруза	Зерно	30	0,68	432
Горох	Зерно	42	0,84	350
Среднее $\pm$ SD	–	–	–	403 $\pm$ 18

\* Содержание  $\text{K}_2\text{O}$  в почве, при котором отмечено минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$ .

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  $^{137}\text{Cs}$  сельскохозяйственными культурами, соответствует градации – очень высоко обеспеченным почвам и существенно выше оптимальных агрохимических параметров для дерново-подзолистых связно-супесчаных почв, который составляет 190–250 мг/кг почвы [12].

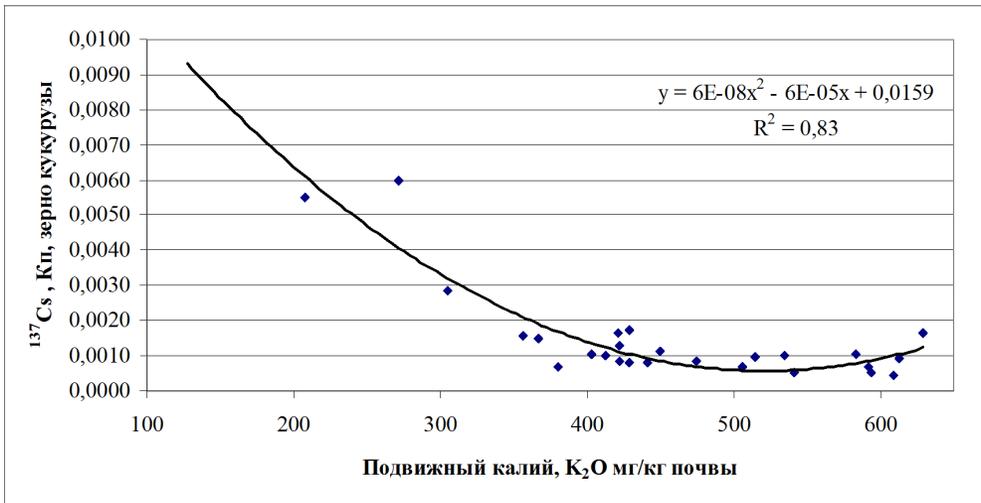


Рис. 1. Коэффициенты перехода (Кп)  $^{137}\text{Cs}$  в зерно кукурузы в зависимости от содержания подвижного калия в дерново-подзолистых супесчаных почвах

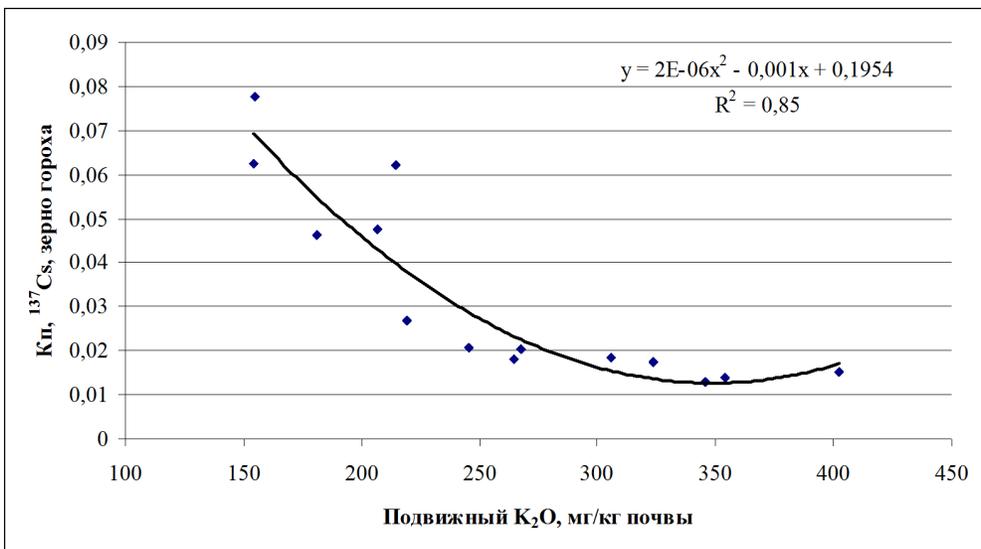


Рис. 2. Коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  в зерно гороха в зависимости от содержания подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве

По данным XIV 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 трудно выполнимой 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  $^{137}\text{Cs}$  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 радиологической точки зрения. При этом в ряде случаев при повышенной требовательности возделываемых культур к почвенному плодородию и разной степени подвижности  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  в растениеводческой продукции не имеет экономического смысла и следует ориентироваться на оптимальный диапазон содержания подвижных форм калия для получения высокой урожайности культур, т. е. на агрохимические оптимумы.

## ВЫВОДЫ

1. В полевом стационарном эксперименте на дерново-подзолистой супесчаной почве внесение возрастающих доз калийных удобрений оказало существенное влияние на снижение поступления  $^{137}\text{Cs}$  в зерно озимого тритикале. Внесение  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  по сравнению с контрольным вариантом снизило переход  $^{137}\text{Cs}$  в зерно тритикале на 51 %, внесение  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$  на 55 %. Минимальная удельная активность зерна по  $^{137}\text{Cs}$  – 2,29 Бк/кг отмечена при внесении  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ .

2. 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  $^{137}\text{Cs}$  зерном различных культур. Содержание подвижного калия, при котором отмечено минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  яровой пшеницей составляет 419 мг/кг ( $R^2 = 0,72$ ), ячменем – 413 мг/кг ( $R^2 = 0,65$ ), кукурузой – 432 мг/кг ( $R^2 = 0,68$ ) и горохом – 350 мг/кг ( $R^2 = 0,84$ ).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архипов, А. Н.* Поведение  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  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. Просяников // Радиозология 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 // Докл. ТСХА. – 1965. – Вып. 115. – С. 55–60.
5. *Путятин, Ю. В.* Минимизация поступления радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растениеводческую продукцию: монография / Ю. В. Путятин. – Минск: РУП Институт почвоведения и агрохимии, 2008. – 255 с.
6. *Путятин, Ю. В.* Влияние калийных удобрений и кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы на урожайность и накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  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  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  яровым рапсом и картофелем / Ю. В. Путятин, Т. М. Серая, А. И. Соколик // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. – 2006. – № 3 – С. 47–53.
8. Влияние калийных удобрений и кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы на урожайность и накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  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. Broadeley // New Phytologist. – 2000. – Vol. 147. – P. 241–256.
12. *Богдевич, И. М.* Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич; под общ. ред. И. М. Богдевича. – Минск, 2017. – 275 с.
13. *Путятин, Ю. В.* Прогноз снижения коллективной дозы облучения населения Республики Беларусь за счет оптимизации содержания подвижного калия в почвах, загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  / Ю. В. Путятин, О. Б. Адианова // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2010. – Т. 50. – № 6. – С. 723–731.

## EFFECT OF POTASSIUM FERTILIZERS AND AVAILABILITY OF MOBILE POTASSIUM OF SOIL ON $^{137}\text{Cs}$ ACCUMULATION BY FEED GRAIN CROPS

Y. V. Putyatin

### Summary

In stationary field experiment on sod-podzolic sandy loam soil, the application of increasing rates of potassium fertilizers had a significant effect on reducing the intake of  $^{137}\text{Cs}$  in winter triticale grain. The application of  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  in comparison with the control variant reduced the transfer of  $^{137}\text{Cs}$  in triticale grain by 51 % and  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$  by 55 %. The minimum specific activity of grain for  $^{137}\text{Cs}$  – 2,29 Bq/kg was registered when  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{180}$  was applied. Route field studies have established a fairly close

negative relationship between the content of mobile potassium in the soil and the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  by grains of various crops. The content of mobile potassium, at which the minimum accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  by spring wheat is noted, is 419 mg/kg, barley 413 mg/kg, corn 432 mg/kg and peas 350 mg/kg of soil.

*Поступила 23.11.21*

УДК 631.438.2:631.44:631.8

## **НАКОПЛЕНИЕ $^{137}\text{Cs}$ В РАСТЕНИЯХ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАЗНОКОМПОНЕНТНЫХ БОБОВО-ЗЛАКОВЫХ ТРАВΟΣМЕСЕЙ НА ТОРФЯНО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ ПРИ ВНЕСЕНИИ МАКРО- И МИКРОУДОБРЕНИЙ**

**Н. Н. Цыбулько<sup>1</sup>, А. В. Шашко<sup>2</sup>**

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

*<sup>2</sup>Полесский государственный университет,  
г. Пинск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в сельскохозяйственном пользовании находится 825,4 тыс. га земель, загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  в результате аварии на Чернобыльской АЭС [1]. 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. Проблемы в использовании загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных земель сконцентрированы преимущественно на легких по гранулометрическому составу песчаных, переувлажненных аллювиальных, торфяно-болотных, торфяно-глеевых, торфянисто-глеевых и торфяно-минеральных почвах разной степени деградации, которые характеризуются высокими параметрами перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растениеводческую продукцию. Установлено, что количественные параметры перехода  $^{137}\text{Cs}$  в продукцию сельскохозяйственных культур на гидроморфных торфяных 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.

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 55 загрязненных радионуклидами административных районов приходится около 4 тыс. га торфяных почв с различной мощностью торфяного слоя. В ряде районов Полесского региона эти почвы составляют основу сельскохозяйственного землепользования [2].

На торфяных почвах актуальным является изучение влияния минеральных удобрений и микроудобрений на поступление  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственные культуры, в частности в многолетние травы, определение оптимальных уровней минерального питания растений, обеспечивающих минимальное накопление радионуклида в продукции и высокую эффективность удобрений.

После аварии на Чернобыльской АЭС с целью радиационной защиты населения одной из послеаварийных мер было исключение из структуры посевов и севооборотов сельскохозяйственных культур, отличающихся высокими параметрами накопления радионуклидов, к которым относились зернобобовые культуры и бобовые травы. Сокращение посевов этих культур на территории радиоактивного загрязнения в дальнейшем привело к дефициту белка в животноводстве из-за обеднения им рационов сельскохозяйственных животных.

В настоящее время благодаря улучшению радиационной обстановки, снижению подвижности в почве и биологической доступности  $^{137}\text{Cs}$  возникла возможность включения в структуру посевов и севообороты зернобобовых культур (горох, люпин и др.) и бобовых трав (лядвенец, клевер, люцерна, галега и др.)

Цель работы – установить влияние минеральных удобрений и микроэлементов (Cu, B, Mo) на накопление  $^{137}\text{Cs}$  многолетними бобово-злаковыми травосмесями с разным бобовым компонентом на торфяно-глеевой осушенной почве.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в 2012–2014 годах на территории землепользования СПК «Новое Полесье» Лунинецкого района Брестской области в стационарных полевых опытах. Объектом исследований являлась торфяно-глеевая низинная осушенная почва, развивающаяся на тростниково-осоковых торфах, подстилаемых с глубины 0,50 м связными древнеаллювиальными песками. Почва характеризовалась следующими агрохимическими показателями (Тп): рН – 4,80, содержание органического вещества – 71,6 %, содержание подвижного фосфора и калия соответственно 188 и 355 мг/кг почвы, сумма поглощенных оснований – 53,5 ммоль/100 г почвы, содержание подвижной меди – 6,27 мг/кг почвы, бора – 1,45 мг/кг почвы. Плотность загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  – 3,5–5,0 Ки/км<sup>2</sup>.

Изучали 3 вида бобово-злаковых травосмесей:

- травосмесь № 1 – лядвенец рогатый (*Lotus corniculatus L.*), тимофеевка луговая (*Pleum pratense*), кострец безостый (*Bromopsis inermis Holub*), овсяница луговая (*Fesuca pratensis*);
- травосмесь № 2 – клевер луговой (*Trifolium pratense L.*), клевер гибридный (*Trifolium Hybridum L.*), тимофеевка луговая (*Pleum pratense*), кострец безостый (*Bromopsis inermis Holub*), овсяница луговая (*Fesuca pratensis*);
- травосмесь № 3 – галега восточная (*Galega orientalis L.*), тимофеевка луговая (*Pleum pratense*), кострец безостый (*Bromopsis inermis Holub*), овсяница луговая (*Fesuca pratensis*).

Посев травосмесей беспокровный, возделывание в соответствии с утвержденными организационно-технологическими нормативами [3].

Фосфорные удобрения в полной дозе 60 кг/га вносили в ранневесенний период (под первый укос трав). Калийные удобрения в дозе 180 кг/га применяли в 2 при-

ема – 75 % под первый укос и 25 % – под второй укос трав. Азотные удобрения в дозах 30 и 60 кг/га вносили в ранневесенний период (под первый укос трав). Некорневые подкормки растений медью (медный купорос) в дозе 100 г/га Cu, бором (борная кислота) в дозе 50 г/га B и молибденом (молибденовокислый аммоний) в дозе 50 г/га Mo проводили в фазу выхода в трубку злаковых компонентов. Расход рабочего раствора из расчета 200 л/га.

Опыты проводили в 3-кратной повторности, размещение делянок – рендомизированное. Общая площадь делянки – 30 м<sup>2</sup>, учетная площадь – 15 м<sup>2</sup>. Ежегодно проводили два укоса трав, урожайность сена пересчитывали на 16 % стандартную влажность. Уборка трав осуществлялась вручную, поделаячно.

Агрохимические анализы выполняли в соответствии с действующими ГОСТами. Удельную активность <sup>137</sup>Cs в почвенных пробах определяли на  $\gamma$ - $\beta$ -спектрометре МКС-АТ1315, в растительных образцах – на  $\gamma$ -спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard».

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В среднем за 3 года исследований удельная активность <sup>137</sup>Cs в сене первого укоса изучаемых травосмесей составила на контрольных вариантах (без удобрений) 48,6–67,0 Бк/кг, в сене второго укоса – 119,1–137,0 Бк/кг. Различия в содержании радионуклида между укосами достигали – 2,8 раз. По всем изучаемым травосмесям и вариантам опыта более высокая концентрация <sup>137</sup>Cs была в сене второго укоса. В целом за годы исследований удельная активность радионуклида в сене не превышала 200 Бк/кг при допустимом уровне 1300 Бк/кг для скармливания дойному поголовью и получения цельного молока (табл. 1).

Таблица 1

**Удельная активность <sup>137</sup>Cs в сене многолетних бобово-злаковых травосмесей в среднем за 3 года исследований (2012–2014 гг.)**

Вариант опыта	Травы первого укоса		Травы второго укоса		Среднее значение	
	<sup>137</sup> Cs, Бк/кг	процент к контролю	<sup>137</sup> Cs, Бк/кг	процент к контролю	<sup>137</sup> Cs, Бк/кг	процент к контролю
Травосмесь № 1						
1. Контроль	61,7±19,5	100	119,1±35,7	100	90,4±27,6	100
2. P <sub>60</sub> K <sub>180</sub> – фон	44,6±13,5	72	79,1±23,5	66	61,9±18,5	68
3. Фон + N <sub>30</sub>	29,7±10,0	48	48,4±15,0	41	39,1±12,5	43
4. Фон + N <sub>30</sub> + Cu + B + Mo	21,8±10,0	35	38,8±11,7	33	30,3±10,9	34
5. Фон + N <sub>60</sub> + Cu + B + Mo	21,8±6,7	35	35,1±10,8	30	28,5±8,8	32
Травосмесь № 2						
1. Контроль	67,0±21,1	100	121,9±36,9	100	94,5±29,0	100
2. P <sub>60</sub> K <sub>180</sub> – фон	42,3±13,5	63	104,0±30,9	85	73,2±22,2	77
3. Фон + N <sub>30</sub>	20,2±6,6	30	74,1±22,2	61	47,2±14,4	50
4. Фон + N <sub>30</sub> + Cu + B + Mo	22,4±7,0	33	53,7±15,7	44	38,1±11,4	40
5. Фон + N <sub>60</sub> + Cu + B + Mo	15,5±4,8	23	45,0±13,4	37	30,2±9,1	32

Вариант опыта	Травы первого укоса		Травы второго укоса		Среднее значение	
	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	процент к конт- ролю	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	процент к конт- ролю	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	процент к конт- ролю
Травосмесь № 3						
1. Контроль	48,6±15,3	100	137,0±40,8	100	92,8±28,1	100
2. $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ – фон	31,0±9,3	64	91,7±27,7	67	61,4±18,5	66
3. Фон + $\text{N}_{30}$	22,1±7,2	45	53,0±16,0	39	37,6±11,6	41
4. Фон + $\text{N}_{30}$ + $\text{Cu}$ + $\text{V}$ + $\text{Mo}$	14,9±5,2	31	52,9±16,0	39	33,9±10,6	37
5. Фон + $\text{N}_{60}$ + $\text{Cu}$ + $\text{V}$ + $\text{Mo}$	13,9±4,7	29	46,6±14,0	34	30,3±9,4	33

Не установлено влияния вида бобового компонента в бобово-злаковой травосмеси на накопление радионуклида в продукции. Так, на контроле в сене первого укоса наиболее низкое содержание  $^{137}\text{Cs}$  (48,6 Бк/кг) отмечалось на травосмеси № 3, в состав которой входила галега восточная. В то же время в сене второго укоса в этой же травосмеси отмечалась наибольшая концентрация радионуклида – 137,0 Бк/кг.

На торфяно-глеевой почве с очень низким содержанием  $\text{P}_2\text{O}_5$  (188 мг/кг) и низким содержанием  $\text{K}_2\text{O}$  (355 мг/кг) фосфорные и калийные удобрения, вносимые в период весеннего отрастания трав в дозах  $\text{P}_{60}\text{K}_{135}$ , снизили активность  $^{137}\text{Cs}$  в сене первого укоса травосмеси № 1 с 61,7 до 44,6 Бк/кг (на 28 %), травосмеси № 2 – с 67,0 до 42,3 Бк/кг (на 37 %) и травосмеси № 3 – с 48,6 до 31,0 Бк/кг (на 36 %). Вторая калийная подкормка под второй укос трав в дозе 45 кг/га обеспечила уменьшение удельной активности радионуклида в сене второго укоса на травосмеси № 1 с 90,4 до 61,9 Бк/кг (32 %), на травосмеси № 2 – с 94,5 до 73,5 Бк/кг (23 %) и на травосмеси № 3 – с 92,8 до 61,4 Бк/кг (34 %).

Азотные подкормки растений в дозе  $\text{N}_{30}$  способствовали уменьшению концентрации радионуклида в сене первого и второго укосов. В травах первого укоса оно составило на травосмесях № 1 и № 3 29–33 %, на травосмеси № 2 – 2 раза.

Действие некорневых подкормок растений микроэлементами ( $\text{Cu}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Mo}$ ) по-разному проявлялось на аккумуляции  $^{137}\text{Cs}$  в кормах. Применение микроэлементов на фоне  $\text{N}_{30}$  на травосмеси № 1 с лядвцем рогатым способствовало снижению концентрации радионуклида в сене первого укоса с 29,7 до 21,8 Бк/кг, на травосмеси № 3 с галеей восточной – 22,1 до 14,9 Бк/кг. На травосмеси № 2 с клевером луговым и гибридным не наблюдалось снижения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в сене от применения микроэлементов. На травах второго укоса более эффективными микроэлементами были на травосмесях № 1 и № 2. Азотная подкормка трав в дозе 60 кг/га совместно с микроэлементами (вариант 5) обеспечила существенное уменьшение содержания  $^{137}\text{Cs}$  в сене первого и второго укоса только на травосмеси № 2 с клевером луговым и гибридным.

Коэффициенты перехода ( $\text{Kn}$ )  $^{137}\text{Cs}$  из торфяно-глеевой почвы в сено многолетних бобово-злаковых трав изменялись в широких пределах в зависимости от укосов, состава травосмесей и вариантов с применением макро- и микроудобрений (табл. 2).

**Коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  из торфяно-глеевой почвы  
в сено многолетних бобово-злаковых травосмесей  
в среднем за 2012–2014 годы (Бк/кг : кБк/м<sup>2</sup>)**

Варианты опыта	Травы первого укоса	Травы второго укоса	Среднее значение
Травосмесь № 1			
1. Контроль	0,67	1,15	0,91
2. P <sub>60</sub> K <sub>180</sub> – фон	0,51	0,84	0,68
3. Фон + N <sub>30</sub>	0,35	0,57	0,46
4. Фон + N <sub>30</sub> + Cu + B + Mo	0,28	0,41	0,35
5. Фон + N <sub>60</sub> + Cu + B + Mo	0,36	0,46	0,41
Травосмесь № 2			
1. Контроль	1,05	1,45	1,25
2. P <sub>60</sub> K <sub>180</sub> – фон	0,64	1,33	0,99
3. Фон + N <sub>30</sub>	0,45	0,93	0,69
4. Фон + N <sub>30</sub> + Cu + B + Mo	0,44	0,59	0,52
5. Фон + N <sub>60</sub> + Cu + B + Mo	0,45	0,53	0,49
Травосмесь № 3			
1. Контроль	0,27	1,58	0,93
2. P <sub>60</sub> K <sub>180</sub> – фон	0,23	1,15	0,69
3. Фон + N <sub>30</sub>	0,23	0,69	0,46
4. Фон + N <sub>30</sub> + Cu + B + Mo	0,23	0,68	0,46
5. Фон + N <sub>60</sub> + Cu + B + Mo	0,17	0,57	0,37

Коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в сено трав первого укоса изменялись на контроле от 0,27 (травосмесь № 3) до 1,05 (травосмесь № 2), в сено трав второго укоса – от 0,91 (травосмесь № 1) до 1,25 (травосмесь № 2). В травах первого укоса наиболее низкие Кп по всем вариантам опыта отмечались на бобово-злаковой травосмеси с участием галеги восточной, тогда как в травах второго укоса – в травосмеси с участием лядвенца рогатого. Средние значения их за два укоса трав составили на контрольном варианте (без удобрений) на травосмеси № 1 – 0,91, на травосмеси № 2 – 1,25 и на травосмеси № 3 – 0,93.

Применение фосфорных и калийных удобрений в дозах P<sub>60</sub>K<sub>180</sub> обеспечило снижение коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  в сено на травосмеси № 1 до 0,68, на травосмеси № 2 – до 0,99 и на травосмеси № 3 – до 0,69. При дополнительном внесении азотных удобрений в дозе 30 кг/га они составили соответственно 0,46, 0,69 и 0,46. Наиболее низкий Кп на травосмеси с лядвенцем рогатым получен в варианте N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>180</sub> + микроэлементы, а на травосмесях с клевером красным и гибридным и галеей восточной – в варианте N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>180</sub> + микроэлементы.

На основании коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  в многолетние бобово-злаковые травосмеси определены допустимые плотности загрязнения торфяно-глеевой почвы (ДП<sub>п</sub>) для производства 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:

$$ДП_{п} = \frac{ДУ}{K_{п} \cdot 37} ,$$

где ДП<sub>п</sub> – допустимая плотность загрязнения почвы радионуклидом, Ки/км<sup>2</sup>; ДУ – республиканский допустимый уровень или допустимый уровень в рамках Таможенного союза содержания радионуклида в продукции, Бк/кг; K<sub>п</sub> – коэффициент перехода радионуклида из почвы в растениеводческую продукцию, Бк/кг : кБк/м<sup>2</sup>; 37 – коэффициент пересчета нКи/кг в Бк/кг.

При прогнозе допустимой плотности загрязнения почв учитывалась определенная степень консервативности (прочности прогноза), предусматривающая погрешность измерений удельной активности радионуклида в растениеводческую продукцию с колебанием ± 30 %. Поэтому коэффициенты перехода <sup>137</sup>Cs в сено принимались с увеличением их значений на эту величину.

В соответствии с Республиканскими допустимыми уровнями для получения нормативно чистого цельного молока (<100 Бк/л) и мяса (<500 Бк/л) допустимый уровень <sup>137</sup>Cs в сене составляет 1300 Бк/кг, для получения нормативно чистого молока-сырья при переработке на масло – 1850 Бк/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 <sup>137</sup>Cs в мясе, который составляет 200 Бк/кг. Поэтому предельно допустимое содержание радионуклида в сене для заключительной стадии откормки животных примерно в 2,5 раза ниже и не должно превышать 520 Бк/кг [1].

Результаты прогнозной оценки показали, что на торфяно-глеевой почве с очень низкой обеспеченностью подвижным фосфором и низкой обеспеченностью подвижным калием при применении минеральных (NPK) удобрений многолетние бобово-злаковые травосмеси можно возделывать в основном без ограничений по плотности загрязнения <sup>137</sup>Cs (до 40 Ки/км<sup>2</sup>) для производства сена при использовании его на корм крупному рогатому скоту для получения цельного молока, молока-сырья при переработке на масло и мяса, отвечающих республиканским нормативным требованиям по содержанию радионуклида. Получение нормативно чистого сена второго укоса при скармливании его молочному поголовью может быть проблематично без применения фосфорных и калийных удобрений, как агрохимической защитной меры (табл. 3).

Таблица 3

**Допустимые плотности (Ки/км<sup>2</sup>) загрязнения <sup>137</sup>Cs торфянисто-глеевой почвы при производстве сена многолетних трав в зависимости от его кормового назначения**

Вариант	Получение сена первого укоса			Получение сена второго укоса		
	РДУ 1300 Бк/кг	РДУ 1850 Бк/кг	ДУ ТР ТС 520 Бк/кг	РДУ 1300 Бк/кг	РДУ 1850 Бк/кг	ДУ ТР ТС 520 Бк/кг
Травосмесь № 1						
1. Контроль	40	40	16	23	33	9
2. P <sub>60</sub> K <sub>180</sub> – фон	40	40	21	32	40	13
3. Фон + N <sub>30</sub>	40	40	31	40	40	19
4. Фон + N <sub>30</sub> + Cu + B + Mo	40	40	39	40	40	27
5. Фон + N <sub>60</sub> + Cu + B + Mo	40	40	30	40	40	23

Вариант	Получение сена первого укоса			Получение сена второго укоса		
	РДУ 1300 Бк/кг	РДУ 1850 Бк/кг	ДУ ТР ТС 520 Бк/кг	РДУ 1300 Бк/кг	РДУ 1850 Бк/кг	ДУ ТР ТС 520 Бк/кг
Травосмесь № 2						
1. Контроль	26	36	10	19	26	7
2. P <sub>60</sub> K <sub>180</sub> – фон	40	40	17	20	29	8
3. Фон + N <sub>30</sub>	40	40	24	29	41	12
4. Фон + N <sub>30</sub> + Cu + B + Mo	40	40	25	40	65	18
5. Фон + N <sub>60</sub> + Cu + B + Mo	40	40	24	40	72	20
Травосмесь № 3						
1. Контроль	40	40	40	17	24	7
2. P <sub>60</sub> K <sub>180</sub> – фон	40	40	40	23	33	9
3. Фон + N <sub>30</sub>	40	40	40	39	40	16
4. Фон + N <sub>30</sub> + Cu + B + Mo	40	40	40	40	40	16
5. Фон + N <sub>60</sub> + Cu + B + Mo	40	40	40	40	40	19

Имеются ограничения по размещению многолетних бобово-злаковых травосмесей сенокосного использования на торфяно-глеевых почвах при скармливании сена для производства мяса с содержанием <sup>137</sup>Cs до 200 Бк/кг. Нормативно чистое сено (до 520 Бк/кг) первого укоса травосмеси с участием лядвенца рогатого возможно получить при плотности загрязнения почвы <sup>137</sup>Cs до 30–31 Ки/км<sup>2</sup> на фоне применения полного минерального удобрения N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>180</sub> и совместно с микроудобрениями. При внесении только фосфорных и калийных удобрений (P<sub>60</sub>K<sub>180</sub>) предельно допустимая плотность загрязнения почвы составляет 21 Ки/км<sup>2</sup>, а без применения удобрений – 16 Ки/км<sup>2</sup>.

При возделывании бобово-злаковой травосмеси с участием клевера лугового и гибридного сено первого укоса с активностью радионуклида до 520 Бк/кг можно получить при плотности загрязнения торфяно-глеевой почвы <sup>137</sup>Cs до 24–25 Ки/км<sup>2</sup> при внесении полного минерального удобрения. Возделывание травосмеси без удобрений ограничено плотностью загрязнения почвы 10 Ки/км<sup>2</sup>.

Более проблематично получение сена, пригодного для скармливания мясному поголовью, при втором укосе бобово-злаковых трав. Без применения удобрений под травы допустимая плотность загрязнения почв не превышает 7–9 Ки/км<sup>2</sup>, при внесении только фосфорных и калийных удобрений в дозах P<sub>60</sub>K<sub>180</sub> – 8–13 Ки/км<sup>2</sup>. При применении полного минерального удобрения N<sub>30-60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>180</sub> с микроэлементами нормативно чистое сено трав с участием лядвенца рогатого возможно производить при плотности загрязнения почвы <sup>137</sup>Cs до 23–27 Ки/км<sup>2</sup>, сено трав с участием клевера лугового и гибридного – до 18–20 Ки/км<sup>2</sup> и сено трав с участием галеги восточной – до 16–19 Ки/км<sup>2</sup>.

Продуктивность многолетних бобово-злаковых травосмесей по годам исследований зависела от их видового состава, метеорологических условий вегетационных периодов, применения макро- и микроудобрений. За период исследований с 2012 по 2014 годы метеорологические условия вегетационных периодов (апрель–август) различались. По степени увлажнения 2012 и 2014 годы характеризовались как влажные – ГТК составили соответственно 1,66 и 2,02, а 2013 год был слабозасушливым – ГТК равен 1,16. Различия в урожайности между года-

ми на контрольных вариантах достигали 1,7 раза (травосмесь № 3), на вариантах с применением полного минерального удобрения (NPK) – 1,4–1,6 раза (табл. 4).

Таблица 4

**Урожайность многолетних бобово-злаковых травосмесей  
(в среднем за 2012–2014 гг.)**

Вариант опыта	Урожайность сена по годам, ц/га			Средняя урожайность за 3 года, ц/га		Прибавка сена, ц/га	
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	сено	к. ед.	к контролю	к фону P <sub>60</sub> K <sub>180</sub>
Травосмесь № 1							
1. Контроль	71,7	51,6	49,3	57,5	29,9	–	–
2. P <sub>60</sub> K <sub>180</sub> – фон	100,1	89,8	76,7	88,8	46,2	31,3	–
3. Фон + N <sub>30</sub>	142,9	127,1	100,4	123,5	64,2	66,0	34,7
4. Фон + N <sub>30</sub> + Cu + B + Mo	145,8	127,3	100,8	124,6	64,8	67,1	35,8
5. Фон + N <sub>60</sub> + Cu + B + Mo	145,1	137,0	122,2	134,8	70,1	77,3	46,0
HCP <sub>05</sub>	6,0	5,4	5,4	3,23	1,68	–	–
Травосмесь № 2							
1. Контроль	65,1	65,0	64,6	64,9	33,7	–	–
2. P <sub>60</sub> K <sub>180</sub> – фон	83,9	91,7	80,0	85,2	44,3	20,3	–
3. Фон + N <sub>30</sub>	104,5	142,0	98,4	114,9	59,7	50,0	29,7
4. Фон + N <sub>30</sub> + Cu + B + Mo	113,5	154,5	105,4	124,5	64,7	59,6	39,3
5. Фон + N <sub>60</sub> + Cu + B + Mo	128,8	166,8	134,3	143,3	74,5	78,4	58,1
HCP <sub>05</sub>	6,1	4,8	4,6	2,98	1,55	–	–
Травосмесь № 3							
1. Контроль	81,3	63,5	47,2	64,0	33,3	–	–
2. P <sub>60</sub> K <sub>180</sub> – фон	103,0	88,7	67,9	86,5	45,0	22,5	–
3. Фон + N <sub>30</sub>	116,1	140,3	88,1	114,8	59,7	50,8	28,3
4. Фон + N <sub>30</sub> + Cu + B + Mo	135,5	149,5	88,4	124,5	64,7	60,5	38,0
5. Фон + N <sub>60</sub> + Cu + B + Mo	149,0	175,7	108,5	144,4	75,1	80,4	57,9
HCP <sub>05</sub>	4,8	4,3	4,3	2,58	1,34	–	–

В умеренно влажном 2012 году наиболее высокая продуктивность на контрольном варианте (без удобрений) сформирована травосмесью № 3 с галевой восточной, которая составила за два укоса 81,3 ц/га сена. В засушливом 2013 году и влажном 2014 году наибольшая урожайность сена получена на травосмеси с клевером луговым и гибридным – соответственно 65,0 и 64,6 ц/га.

Фосфорные и калийные удобрения, вносимые в дозах P<sub>60</sub>K<sub>180</sub>, обеспечили существенные прибавки сена по отношению к контролю. В среднем за 3 года исследований на травосмеси № 1 она составила 31,3 ц/га, на травосмеси № 2 – 20,3 и на травосмеси № 3 – 22,5 ц/га.

В вариантах с применением азотных удобрений в дозе 30 кг/га на фоне P<sub>60</sub>K<sub>180</sub> сформирована в среднем за 3 года опытов урожайность травосмеси № 1 123,5 ц/га сена или 64,2 ц/га к. ед., травосмесей № 2 и № 3 – 114,9 и 114,8 ц/га сена или 59,7 ц/га к. ед. соответственно.

Наиболее высокую продуктивность обеспечила бобово-злаковая травосмесь, включающая галегу восточную, которая составила за годы исследований в варианте 5, где применяли  $N_{60}P_{60}K_{180}$  + микроэлементы, 144,4 ц/га сена или 75,1 ц/га кормовых единиц.

По результатам проведенного полевого опыта на торфяно-глеевой почве рассчитана окупаемость макро- и микроудобрений прибавкой урожайности кормовых единиц (рис. 1).

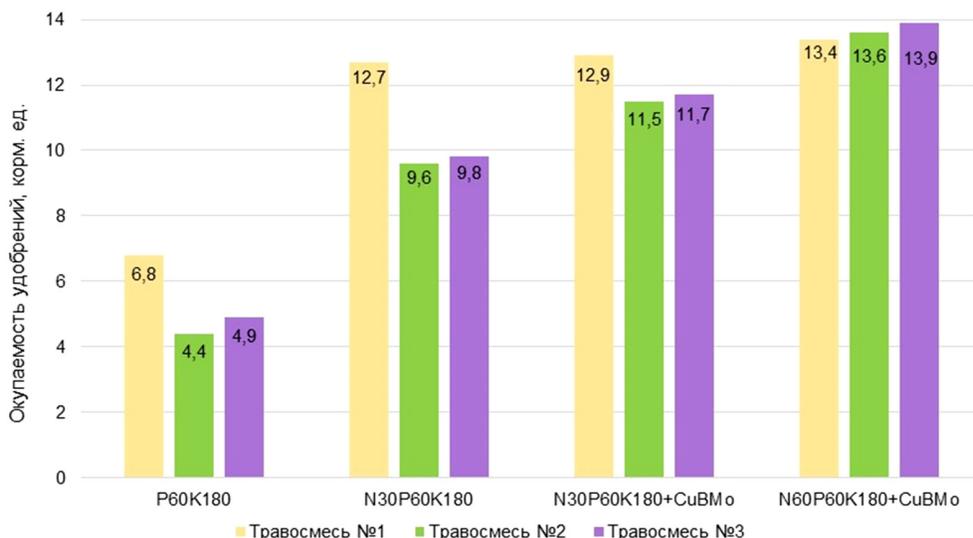


Рис. 1. Окупаемость макро- и микроудобрений прибавкой урожайности кормовых единиц

Окупаемость фосфорных и калийных удобрений составила наиболее высокой получена на бобово-злаковой травосмеси с людовцем, составившая 6,8 к. ед. На травосмесях с клевером и галеей, она была значительно ниже – 4,4–4,9 к. ед. Окупаемость полного ( $N_{30}P_{60}K_{180}$ ) минерального удобрения изменялась от 9,6 до 12,7 к. ед. Наибольшей она получена также на травосмеси № 1.

Применение под многолетние бобово-злаковые травосмеси микроэлементов способствовало более эффективному использованию минеральных удобрений. Так, в варианте с применением  $N_{30}P_{60}K_{180}$  и некорневой подкормкой трав медью, бором и молибденом окупаемость минеральных удобрений (NPK) прибавкой кормовых единиц составила от 11,5 (травосмесь № 2) до 12,9 (травосмесь № 1), а в варианте с применением  $N_{60}P_{60}K_{180}$  и микроэлементов – 13,4–13,9 к. ед.

## ВЫВОДЫ

1. Не установлено существенного влияния вида бобового компонента в бобово-злаковой травосмеси на накопление  $^{137}Cs$  в сене. Различия в содержании радионуклида между укосами достигали – 2,8 раз. По всем изучаемым травосмесям и вариантам опыта более высокая концентрация  $^{137}Cs$  наблюдается в сене второго укоса.

2. На торфяно-глеевой почве с низким содержанием  $P_2O_5$  и  $K_2O$  фосфорные и калийные удобрения в дозах  $P_{60}K_{180}$ , снижают активность  $^{137}Cs$  в сене первого укоса на 28–37 %, в сене второго укоса – на 23–34 %. Применение азотных удобрений в дозе  $N_{30}$  способствуют уменьшению концентрации  $^{137}Cs$  в травах первого укоса на травосмесях № 1 и № 3 на 29–33 %, на травосмеси № 2 – в 2 раза. Азотная подкормка совместно с микроэлементами (Cu, B, Mo) снижает содержание радионуклида в сене первого укоса. На травах второго укоса более эффективны микроэлементы на травосмесях с лядвенцем и клевером. Азотная подкормка трав в дозе  $N_{60}$  совместно с микроэлементами обеспечивает существенное уменьшение содержания  $^{137}Cs$  в сене только на травосмеси с клевером луговым и гибридным. Наиболее низкие коэффициенты перехода  $^{137}Cs$  в сено получены на травосмеси с лядвенцем в варианте  $N_{30}P_{60}K_{180}$  + микроэлементами, а на травосмесях с клевером и галегой – в варианте  $N_{60}P_{60}K_{180}$  + микроэлементами.

3. Размещение бобово-злаковых травосмесей на торфяно-глеевых почвах имеет ограничения при использовании сена мясному поголовью. При получении сена второго укоса без применения удобрений допустимая плотность загрязнения почв не превышает 7–9 Ки/км<sup>2</sup>, при внесении только фосфора и калия в дозах  $P_{60}K_{180}$  – 8–13 Ки/км<sup>2</sup>. При применении  $N_{30-60}P_{60}K_{180}$  с микроэлементами нормативно чистое сено трав с участием лядвенца возможно производить при плотности загрязнения почвы  $^{137}Cs$  до 23–27 Ки/км<sup>2</sup>, сено трав с участием клевера – до 18–20 Ки/км<sup>2</sup> и сено трав с участием галеги – до 16–19 Ки/км<sup>2</sup>.

4. Наиболее высокую продуктивность обеспечила бобово-злаковая травосмесь с галегой восточной, которая составила при внесении  $N_{60}P_{60}K_{180}$  + микроэлементами 144,4 ц/га сена или 75,1 ц/га к. ед. и окупаемости минеральных удобрений 13,9 к. ед. Концентрация  $^{137}Cs$  в сене не превысила 50 Бк/кг.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Н. Н. Цыбулько [и др.]; Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 144 с.

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

3. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч. практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 469 с.

## **ACCUMULATION OF $^{137}\text{Cs}$ IN PLANTS AND PRODUCTIVITY OF MULTI-COMPONENT LEGUME-CEREAL GRASSES ON PEAT-GLEY SOIL WHEN APPLYING MACRO- AND MICROFERTILIZERS**

**N. N. Tsybulka, A. V. Shashko**

### **Summary**

No significant effect of the type of legume component in the legume-cereal grasses on the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in hay has been established. On peat-gley soil, phosphoric and potash fertilizers in rates of  $\text{R}_{60}\text{K}_{180}$ , reduce the activity of  $^{137}\text{Cs}$  in the hay of the first mowing by 28–37 %, in the hay of the second mowing – by 23–34 %. Nitrogen fertilizers in a rate of  $\text{N}_{30}$  and together with microelements (Si, B, Mo) contribute to a decrease in the concentration of  $^{137}\text{Cs}$  in herbs by up to 2 times.

The placement of legume-cereal grasses on peat-gley soils has limitations when using hay for meat livestock. When receiving hay of the second mowing without the use of fertilizers, the permissible density of soil contamination does not exceed 7–9  $\text{Ki}/\text{km}^2$ , when applying only phosphorus and potassium in rates of  $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$  – 8–13  $\text{Ki}/\text{km}^2$ . When using  $\text{N}_{30-60}\text{P}_{60}\text{K}_{180}$  with microelements, it is possible to produce normatively pure grass hay with the participation of lyadvenets at a soil contamination density of  $^{137}\text{Cs}$  up to 23–27  $\text{Ki}/\text{km}^2$ , grass hay with the participation of clover – up to 18–20  $\text{Ki}/\text{km}^2$  and grass hay with the participation of galega – up to 16–19  $\text{Ki}/\text{km}^2$ .

The highest productivity was provided by legume-cereal grass mixture with eastern galega, which amounted to 144,4 c/ha of hay or 75,1 c/ha of fodder units and the payback of mineral fertilizers of 13,9 feed units when  $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{180}$  + microelements were applied.

*Поступила 04.11.21*

УДК 631.438:631.8:633.1

## **ВЛИЯНИЕ НОВЫХ ФОРМ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И НАКОПЛЕНИЕ $^{137}\text{Cs}$ ЯРОВЫМИ ЗЕРНОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ НА ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СВЯЗНОСУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ**

**С. С. Хмелевский, Г. В. Пироговская, В. И. Сороко,  
К. В. Даниленко, А. С. Максимчук, И. Е. Ермолович**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

За период, прошедший после аварии на ЧАЭС наблюдается постепенное уменьшение площади используемых сельскохозяйственных земель с контролируемой минимальной плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  более 1,0  $\text{Ki}/\text{km}^2$  и  $^{90}\text{Sr}$  более 0,15  $\text{Ki}/\text{km}^2$  вследствие естественного распада радионуклидов и перехода

части земель в категорию незагрязненных. Так, если по состоянию на 2012 г. в сельскохозяйственном пользовании в целом по Республике Беларусь находилось более 1 млн. га земель, загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  с плотностью 1,0 Ки/км<sup>2</sup> и около 350 тыс. га загрязненных  $^{90}\text{Sr}$  с плотностью 0,15 Ки/км<sup>2</sup> и выше, то уже по состоянию на 01.01.2020 г. в сельскохозяйственном пользовании площади таких земель республике загрязненных  $^{137}\text{Cs}$ , составляют 848,0 тыс. га, а загрязненных  $^{90}\text{Sr}$  – 281,6 тыс. га [1, 2], в том числе по Гомельской и Могилевской областях – загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  – 510,6 и 245,8 тыс. га, а загрязненных  $^{90}\text{Sr}$  – 270,8 и 10,2 тыс. га. При этом, в настоящее время по уровню загрязнения радиоцезием преобладают земли с плотностью 1,0–5,0 Ки/км<sup>2</sup>, по уровню загрязнения радиостронцием – земли с плотностью 0,15–0,30 Ки/км<sup>2</sup> [1–3].

На сельскохозяйственных землях, загрязненных радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , важнейшей задачей, наряду с сохранением и повышением плодородия почв и поднятием продуктивности культур, перед аграриями стоит задача получения экологически безопасной сельскохозяйственной продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам по содержанию радионуклидов. К наиболее эффективным мерам, обеспечивающим снижение поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию, в первую очередь относятся агрохимические приемы: известкование, применение минеральных и органических удобрений, мелиорантов и сорбентов (цеолиты, трепел и др.). Все они создают агрохимические барьеры на пути поступления радионуклидов в растения. Однако агрохимические приемы снижения последствий радиоактивного загрязнения почвы имеют и существенный недостаток – они не удаляют из почвы радионуклиды. В результате многочисленных исследований, проведенных после аварии на ЧАЭС отечественными и зарубежными учеными, установлено, что удобрения и известковые мелиоранты оказывают значительное влияние на величину поступления радиоактивных элементов в растения, особенно на почвах с низким уровнем плодородия. Снижение концентрации радионуклидов в урожае достигается за счет улучшения условий питания растений и связанным с этим увеличением их биомассы, а также за счет повышения концентрации в почве обменных катионов, в первую очередь, калия и кальция. При этом происходит усиление антагонизма между ионами радионуклидов и ионами вносимых солей, изменяется доступность для корневых систем радионуклидов, вследствие перевода их в труднодоступные соединения и обменной фиксации в результате реакции радионуклидов с вносимыми удобрениями на поверхности коллоидной мицеллы почвенного поглощающего комплекса [4–20].

Известкование почвы однозначно приводит к уменьшению накопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в урожае сельскохозяйственных культур за счет снижения кислотности почвы и связывания карбонат-иона с образованием гидрокарбоната. Установлено, что внесение извести в дозе, соответствующей полной гидролитической кислотности, снижает содержание радионуклидов в продукции растениеводства в 1,5–3 раза в зависимости от типа почв и исходной кислотности [4].

Получение высоких урожаев культурных растений невозможно без внесения азотных удобрений, однако известно, что азотные удобрения, особенно физиологически кислые, повышают накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  растениями в 1,8 и более раза, а фосфорные и калийные удобрения, наоборот, уменьшают величину накопления радионуклидов. В связи с этим, сбалансированность вносимых доз азота,

фосфора и калия на загрязненных радионуклидами землях, приобретает особую актуальность. Так, существует мнение, основанное на результатах проведенных исследований, что соотношение N:P:K в балансе питания широкого спектра сельскохозяйственных культур, при возделывании на минеральных почвах загрязненных радиоцезием должно соответствовать следующему: 1:1,5:2. То есть, калий в питании растений должен преобладать, тогда будет обеспечено снижение загрязнения урожая  $^{137}\text{Cs}$ . Особенно важно соблюдать такие соотношения на бедных калием почвах. На торфяно-болотных почвах соотношение N:P:K должно быть в пределах 1:1–1,5:2–2,5 [21–23].

Общей тенденцией в мировой практике и нашей стране является увеличение применения на почвах, загрязненных радионуклидами, наряду со стандартными формами удобрений, также комплексных удобрений, с оптимальным соотношением элементов питания под каждую конкретную возделываемую культуру, в том числе медленнодействующих, содержащих микроэлементы и регуляторы роста растений. Равномерность их внесения положительно сказывается как на урожае и качестве возделываемых культур, так и на поступление радионуклидов в продукцию [24–26]. Так, по сообщениям российских ученых, применение комплексных удобрений типа Борофоска и Нитроборофоска, содержащих основные элементы питания и кальций, а также бор, показало высокую эффективность (снижение накопления  $^{137}\text{Cs}$  в урожае до 6,8 раза) на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава [21].

Во ВНИИРАЭ разработаны и испытаны органоминеральные удобрения пролонгированного действия СУПРОДИТ М и ГЕОТОН, положительно влияющие как на урожайность зерновых культур, так и их качество, за счет уменьшения накопления радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  в зерне в 2,0 и 1,25–1,7 раза по сравнению с использованием стандартных удобрений [27, 28].

В Республике Беларусь в последнее десятилетие исследования РУП «Институт почвоведения и агрохимии» были направлены на разработку составов новых форм твердых и жидких комплексных удобрений с различными модифицирующими добавками (микроэлементами и регуляторами роста растений) для основного внесения в почву и некорневых подкормок по вегетирующим растениям основных сельскохозяйственных культур. Агрономическая эффективность их изучалась на почвах разного гранулометрического состава под различными сельскохозяйственными культурами. Перспективные формы удобрений внесены в Государственный реестр средств защиты растений (удобрений), разрешенных для применения в Республике Беларусь [25, 26, 29]. Однако, эффективность их изучалась на почвах, не загрязненных радионуклидами, преимущественно, в Минской, Гродненской и Витебской областях.

И в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС остается актуальной задача получения основной и побочной продукции растениеводства, соответствующей допустимым уровням содержания радионуклидов. Актуальным направлением исследований является изучение влияния новых форм комплексных удобрений с модифицирующими добавками на поступление радионуклидов в растениеводческую продукцию. Эта задача особенно актуальна в условиях изменения климата, как в целом по Республике Беларусь, так и по областям, загрязненным радионуклидами. До настоящего времени исследований по изучению действия новых форм комплексных удобрений с модифицирующими добавками

на переход радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию в Республике Беларусь не проводились.

Таким образом, цель наших исследований – разработать составы и изучить влияние новых форм комплексных удобрений с модифицирующими добавками (микроэлементами и регуляторы роста растений) на накопление радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ) зерновыми культурами в зависимости от их биологических особенностей и метеорологических факторов.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Объекты исследований:* сельскохозяйственные культуры – ячмень, овес, почвы – дерново-подзолистая связносупесчаная.

*Предмет исследований* – комплексные удобрения с модифицирующими добавками (микроэлементами, в том числе в хелатной форме), регуляторами роста растений, ингибиторами нитрификации, связующими), стандартные удобрения (карбамид, аммонизированный суперфосфат, калий хлористый гранулированный).

*Место проведения исследований* – полевые опыты с яровыми зерновыми культурами проводили на дерново-подзолистой связносупесчаной почве в ОАО «Халыч» Ветковского района Гомельской области.

Схема опыта с ячменем и овсом включала 12 и 11 вариантов. Сами схемы приводятся далее в таблицах в главе «Результаты исследований и их обсуждение».

Площадь делянок в опытах составляла 50 м<sup>2</sup> (10×5), повторность – 4-кратная, размещение – рендомизированное. Предшественник – кукуруза.

Агрохимические показатели в пахотном горизонте в полевых опытах с яровыми зерновыми культурами были следующие (2020 и 2021 гг.): с ячменем – содержание гумуса – 2,24 и 1,21 %, pH – 5,78 и 5,54, содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 205 и 283 и K<sub>2</sub>O – 520 и 397 мг/кг почвы, Ca – 854 и 791 и Mg – 258 и 152 мг/кг почвы соответственно; с овсом – содержание гумуса – 2,17 и 1,58 %, pH – 5,23 и 5,70, содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 215 и 324 и K<sub>2</sub>O – 505 и 454 мг/кг почвы, Ca – 780 и 791 и Mg – 204 и 174 мг/кг почвы соответственно. Содержание микроэлементов следующее: содержание Cu (1,0 М HCl) – 2,41–2,77 (среднее) мг/кг почвы, Zn (1,0 М HCl) – 3,24–3,41 (среднее), Mn (1,0 М KCl) – 2,1–2,8 (среднее) мг/кг почвы.

Плотность загрязнения (среднее по полю)  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  Апах дерново-подзолистой связносупесчаной почвы перед закладкой полевых опытов с зерновыми культурами в ОАО «Халыч» Ветковского района составляло (2020 и 2021 гг.): на поле с ячменем  $^{137}\text{Cs}$  – 10,5 и 6,4 Ки/км<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – 0,30 и 0,19 Ки/км<sup>2</sup> соответственно, на поле с овсом –  $^{137}\text{Cs}$  – 10,8 и 6,3 Ки/км<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – 0,16 и 0,21 Ки/км<sup>2</sup>.

Полевые опыты были заложены с ячменем сортов Мустанг (2020 г.) и Батка (2021 г.), а также овсом сорта Лидия (2020–2021 гг.). Оба сорта ячменя ярового и овса внесены в Государственный реестр сортов Республики Беларусь и разрешены для возделывания во всех областях Республики Беларусь.

Полевые исследования проведены, согласно действующих рекомендаций по их проведению при возделывании сельскохозяйственных культур. Все работы по обработке почвы, севу, уходу за посевами выполнены в оптимальные сроки (с учетом метеорологических и гидрологических условий) и в течение одного дня. Агротехника возделываемых культур общепринятая для Республики Беларусь. Уход за посевами (обработка посевов от сорняков, вредителей и болезней) прове-

дена разрешенными препаратами, которые внесены в «Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь» [29–31].

Почвенные образцы отбирались перед закладкой и после уборки полевых опытов из пахотного горизонта почвы, в которых определялись следующие показатели:

- удельная активность радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  (почвенные и растительные образцы) и  $^{90}\text{Sr}$  (почвенные образцы) измерялась по общепринятой методике (МВИ.МН 1181-2011. Методика выполнения измерений объемной и удельной активности  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  на гамма-бета-спектрометре типа МКС-АТ1315, объемной и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  на гамма-спектрометре типа EL1309 (МКГ-1309) в пищевых продуктах, питьевой воде, почве, сельскохозяйственном сырье и кормах, продукции лесного хозяйства, других объектах окружающей среды. Утверждено 11.11.2011 г. НПУ «АТОМТЕХ»);

- гумус – по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-84);
- обменная кислотность рН (KCl) – потенциометрический (ГОСТ 26483-85);
- содержание подвижного фосфора – по Кирсанову на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 26207-84);
- содержание подвижного калия – по Кирсанову на пламенном фотометре (ГОСТ 280207-84);
- кальций и магний на атомно-абсорбционном спектрофотометре;
- отбор проб – ГОСТ 26483-85.

Статистическая обработка результатов исследований проводилась по Б. А. Доспехову с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на персональном компьютере, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы Excel [32].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Температура воздуха и количество выпавших атмосферных осадков в период с марта по август (вегетация ячменя и овса) приведены по данным станции метеонаблюдения в г. Гомеле (рис. 1, 2).

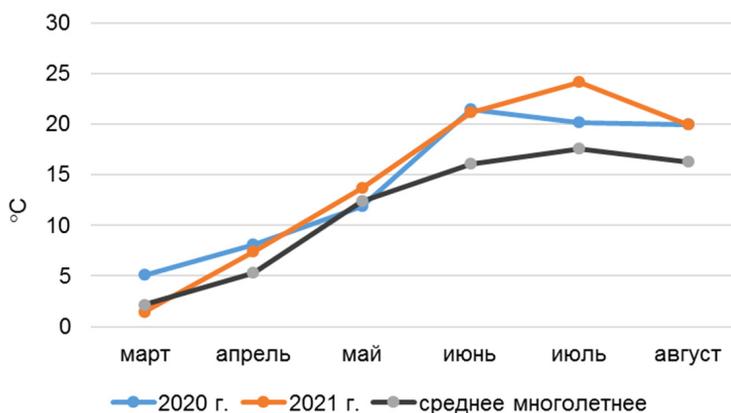


Рис. 1. Температура воздуха во время вегетации яровых зерновых культур

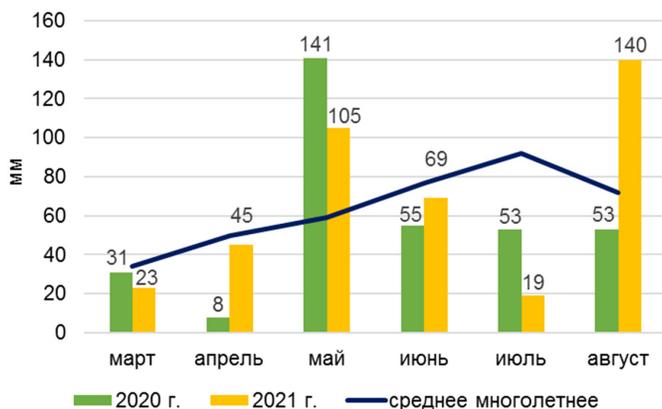


Рис. 2. Количество осадков во время вегетации яровых зерновых культур

Температура воздуха в период вегетации ячменя и овса в 2020–2021 гг. была выше среднемноголетних значений в 1,2–2,3 раза, и лишь в мае приближалась к среднемноголетнему показателю. Выпадение осадков в течение вегетационных периодов при возделывании яровых зерновых (март–июль в 2020 г. и апрель–август в 2021 г.) было неравномерным и отличалось от среднемноголетних значений. В сумме за период вегетации в 2020 г. выпало 288 мм атмосферных осадков, в 2021 г. – 378 мм, при среднемноголетнем 312 мм и 350 мм, соответственно. Гидротермический коэффициент (ГТК) в период с мая по июль 2020 г. (когда температура воздуха была выше 10 °С) составил 1,51, в период с мая по август 2021 г. – 1,37, при среднемноголетнем 1,61. При этом в мае выпало в 2,4 и, соответственно, в 1,8 раза больше осадков, чем среднемноголетнее значение, июнь и июль были засушливыми, а в августе 2021 г. выпало в 1,9 раза больше среднемноголетнего. Вегетационные периоды 2020 г. (май–июль) и 2021 г. (май–август) следует считать, как оптимальные.

Учет урожайности ячменя в условиях 2020 г. на дерново-подзолистой связно-супесчаной почве показал, что наиболее эффективными формами комплексных удобрений в дозе  $N_{60}P_{40}K_{30}$  были: комплексные NPK с Cu и Mn (в хелатной форме с EDTA – импортный препарат, вар. 8); комплексные NPK с Cu и Mn (в хелатной форме с EDTA – отечественный препарат, вар. 9); далее NPK с S (2 %) с CaO (7 %) и MgO (5 %) (вар. 7) и NPK с S (6 %) и C (12 %) (вар. 5). Урожайность зерна ячменя в этих вариантах находилась в пределах от 52,2 до 53,0 ц/га, при урожайности в базовом варианте без добавок ( $N_{60}P_{40}K_{30}$ ) – 49,6 ц/га, на контрольном варианте без удобрений – 41,6 ц/га. Применение разных форм комплексных удобрений с модифицирующими добавками обеспечивало тенденцию или достоверное повышение урожайности зерна ячменя в пределах от 1,5 до 3,4 ц/га по сравнению с базовым вариантом.

Следует отметить, что в варианте 3, где вовсе не применяли калийные удобрения ( $N_{60}P_{40}K_0$ ), так как содержание калия в почве очень высокое, получена урожайность зерна (50,4 ц/га), разница с базовым вариантом (49,6 ц/га) не достоверная. При этом уменьшение дозы фосфора ( $N_{60}P_{20}K_{30}$ ) снижало урожайность зерна (47,5 ц/га) по сравнению с дозой  $N_{60}P_{40}K_{30}$  в базовом варианте. Сравнительная

оценка эффективности комплексных удобрений с добавками отходов дрожжевых производств (регулятор роста растений Ростмомент и отходы дрожжевых производств НПЦ по продовольствию, г. Минск) показала, что включение этих отходов в состав комплексных удобрений обеспечило урожайность зерна 49,8–51,1 ц/га (т.е. урожайность на уровне базового варианта).

Урожайность зерна ячменя на той же почве в условиях 2021 г. изменялась в зависимости от вариантов опыта и находилась в пределах от 38,5 (контроль) ц/га до 42,8–53,1 ц/га (с удобрениями). Применение новых форм комплексных удобрений с различными модифицирующими добавками, внесенными в эквивалентной дозе с базовым вариантом, обеспечило увеличение урожайности зерна на 4,5–9,0 ц/га (вар. 5, 6, 8, 9, 12). Не получено достоверного повышения урожайности зерна ячменя в варианте без внесения калийных удобрений (вар. 3), при снижении дозы фосфорных удобрений до P<sub>20</sub> (вар. 4), от NPK с S (2 %), CaO (7 %), MgO (5 %) (вар.7) и удобрений с добавками дрожжевых производств (вар. 10, 11) по сравнению с базовым вариантом (вар. 2) (табл. 1).

Таблица 1

**Урожайность зерна ячменя на дерново-подзолистой связносупесчаной почве  
в ОАО «Хальч» Ветковского района**

Вариант	Урожайность зерна при влажности 14 %, ц/га			Прибавка, ц/га	
	2020 г.	2021 г.	среднее	к контролю	к базовому
1. Контроль без удобрений	41,6	38,5	40,1	–	–
2. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> – базовый	49,6	44,1	46,9	6,8	–
3. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>0</sub>	50,4	42,8	46,6	6,5	-0,3
4. N <sub>60</sub> P <sub>20</sub> K <sub>30</sub>	47,5	44,6	46,1	6,0	-0,9
5. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с S(6 %), С (углерода) (12 %)	52,2	52,8	52,5	12,4	5,6
6. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с S (2 %) и С (углерода) (12 %)	51,2	53,1	52,2	12,1	5,3
7. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с S (2 %), CaO (7 %), MgO (5 %)	52,8	45,0	48,9	8,8	2,0
8. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с Cu и Mn (с EDTA)	53,0	49,0	51,0	10,9	4,1
9. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с Cu и Mn (с EDTA на основе растительного масла)	52,8	48,6	50,7	10,6	3,8
10. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с отходами дрожжевых производств (Ростмомент)	49,8	45,4	47,6	7,5	0,7
11. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с отходами дрожжевых производств (НПЦ по продовольствию)	51,1	45,1	48,1	8,0	1,2
12. N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>90</sub> с Cu и Mn	51,9	49,1	50,5	10,4	3,6
НСР <sub>05</sub>	3,18	4,23		3,74	

В среднем за два года исследований урожайность в опыте с ячменем находилась в пределах от 40,1 ц/га на контроле до 46,1–52,5 ц/га в вариантах с применением удобрений. Внесение в опыте новых форм удобрений обеспечивало тенденцию или достоверное увеличение урожайности относительно базового варианта (стандартные туки) на 0,7–5,6 ц/га. Наиболее эффективными были комплексные NPK с S (6 %) и С (12 %) (вар. 5), NPK с S (2 %) и С12 %

(вар. 6), NPK с Cu и Mn (в хелатной форме с EDTA – импортный препарат, вар. 8) и NPK с Cu и Mn (в хелатной форме с EDTA – отечественный препарат, вар. 9), обеспечившие прибавку урожайности 5,6 ц/га, 5,3, 4,1 и 3,8 ц/га соответственно.

Урожайность соломы при стандартной влажности (16 %) находилась в пределах от 71,6 ц/га до 99,0 ц/га (в зависимости от вариантов опыта). Соотношение солома/зерно при уборке ячменя изменялось от 1,46 до 2,05.

Согласно республиканских допустимых уровней (РДУ-99) содержание  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственном сырье и кормах, в том числе для переработки на пищевые цели на перерабатывающих предприятиях составляет: в зерне – 90 Бк/кг, на детское питание – 55 Бк/кг. Для получения различных видов конечной продукции, в том числе, использование зерна на фураж и комбикорм: *содержание  $^{137}\text{Cs}$*  – для молока цельного – 150 Бк/кг, для молока-сырья для переработки на масло – 600 и на мясо, заключительный откорм – 480 Бк/кг, в соломе эти показатели следующие – 330, 900 и 700 Бк/кг [3].

На дерново-подзолистой связносупесчаной почве с плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  – 10,5 Ки/км<sup>2</sup> и  $^{90}\text{Sr}$  – 0,30 Ки/км<sup>2</sup> в условиях 2020 г. содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зерне ячменя, в зависимости от вариантов опыта с разными формами удобрений, находилось в пределах от 0,00 до 3,43 Бк/кг и было пригодно как на пищевые цели, так и для использования зерна на фураж и комбикорм. При возделывании ячменя на дерново-подзолистой связносупесчаной почве в условиях 2021 г. с плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  – 6,4 Ки/км<sup>2</sup> и  $^{90}\text{Sr}$  – 0,19 Ки/км<sup>2</sup> содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зерне по вариантам опыта изменялось от 3,58 до 6,54 Бк/кг и было значительно ниже РДУ (90 Бк/кг). При внесении в опыте разных форм комплексных удобрений наблюдалось незначительное увеличение содержания  $^{137}\text{Cs}$  в зерне по сравнению с базовым вариантом, за исключением  $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{30}$  с отходами дрожжевых производств (НПЦ по продовольствию), где этот показатель был ниже базового варианта. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зерне ячменя по средним данным за 2020–2021 гг. было ниже (на 0,17–2,30 Бк/кг) во всех вариантах с комплексными удобрениями по сравнению с внесением стандартных удобрений (базовый вариант) (табл. 2).

Таблица 2

**Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зерне ячменя на дерново-подзолистой связносупесчаной почве в ОАО «Хальч» Ветковского района**

Вариант	Содержание радионуклидов, (УА) Бк/кг					
	2020 г.		2021 г.		среднее	
	$^{137}\text{Cs}$	± к базовому	$^{137}\text{Cs}$	± к базовому	$^{137}\text{Cs}$	± к базовому
1. Контроль без удобрений	0,56	–	≤4,22	–	2,39	–
2. $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{30}$ – базовый	3,43	–	5,45	–	4,44	–
3. $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_0$	2,27	–1,16	≤3,58	–1,87	2,93	–1,52
4. $\text{N}_{60}\text{P}_{20}\text{K}_{30}$	0,00	–3,43	≤4,28	–1,17	2,14	–2,30
5. $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{30}$ с (6 %)S, (12 %)C (углерода)	1,10	–2,33	6,26	0,81	3,68	–0,76
6. $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{30}$ с (2 %)S и (12 %)C (углерода)	0,21	–3,22	5,93	0,48	3,07	–1,37

Вариант	Содержание радионуклидов, (УА) Бк/кг					
	2020 г.		2021 г.		среднее	
	<sup>137</sup> Cs	± к базовому	<sup>137</sup> Cs	± к базовому	<sup>137</sup> Cs	± к базовому
7. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с (2 %)S, (7 %)CaO, (5 %)MgO	0,50	-2,93	6,54	1,09	3,52	-0,92
8. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с Cu и Mn (с EDTA)	1,18	-2,25	5,77	0,32	3,48	-0,97
9. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с Cu и Mn (с EDTA на основе растительного масла)	0,00	-3,43	5,85	0,40	2,93	-1,52
10. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с отходами дрожжевых производств (Ростмомент)	2,75	-0,68	5,79	0,34	4,27	-0,17
11. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с отходами дрожжевых производств (НПЦ по продовольствию)	0,00	-3,43	≤4,05	-1,40	2,03	-2,42
12. N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>90</sub> с Cu и Mn	2,15	-1,28	6,17	0,72	4,16	-0,28

Содержание <sup>137</sup>Cs в соломе ячменя в годы исследований находилось значительно ниже значений, определенных регламентом, и составляло: <sup>137</sup>Cs – от 0,50 до 11,5 Бк/кг соответственно, данная продукция может также использоваться на любые цели без ограничения.

Содержание элементов питания в зерне ячменя в среднем за 2020–2021 гг. составляло: общего азота – 1,18–1,48 %, фосфора – 0,82–1,18, калия – 0,44–0,59, кальция – 0,014–0,021 и магния – 0,08–0,10 %. При этом выраженного действия от применяемых в опыте удобрений на изменение содержания элементов питания в зерне ячменя, не наблюдалось, за исключением калия, где удобрения достоверно повысили его содержание относительно контрольного варианта на 0,06–0,15 %.

Содержания элементов питания в соломе ячменя составляло: общего азота – 0,57–0,95 %, фосфора – 0,34–0,47, калия – 1,41–2,10, кальция – 0,36–0,46 и магния – 0,11–0,15 %.

В условиях 2020 г. на дерново-подзолистой связносупесчаной почве наблюдалась близкая закономерность по влиянию комплексных удобрений с добавками на урожайность зерна овса. Так, на контроле получена урожайность зерна 42,2 ц/га, в базовом варианте – 51,9 ц/га, с комплексными удобрениями с модифицирующими добавками – 54,1–59,5 ц/га, с прибавкой от новых форм удобрений в размере от 2,2 до 7,6 ц/га. При этом от применения комплексного удобрения с регулятором роста растений Ростмомент не получено прибавки зерна овса по сравнению с базовым вариантом.

Урожайность овса в условиях 2021 г. получена приблизительно на уровне прошлого года: на контроле она составила 46,3 ц/га, в вариантах с удобрениями – от 50,0 до 58,6 ц/га. Эффективными были комплексные удобрения NPK с S (2 %) с CaO (7 %) и MgO (5 %), (вар. 8) с прибавкой зерна 4,9 ц/га, NPK с S (2 %), C (12 %) и NPK с отходами дрожжевых производств (НПЦ по продовольствию) с прибавкой в 5,7 ц/га. Не получено также достоверной прибавки зерна овса от применения комплексного удобрения с регулятором роста растений Ростмомент и другими комплексными удобрениями (вар. 5–7) по сравнению с базовым вариантом (табл. 3).

Таблица 3

**Урожайность зерна овса на дерново-подзолистой связносупесчаной почве  
в ОАО «Хальч» Ветковского района**

Вариант	Урожайность зерна при влажности 14 %, ц/га			Прибавка, ц/га	
	2020 г.	2021 г.	среднее	к контролю	к базовому
1. Контроль без удобрений	42,2	46,3	44,3	–	–
2. N <sub>70</sub> P <sub>40</sub> K <sub>60</sub>	51,9	50,0	51,0	6,7	–
3. N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>30</sub> – базовый	51,1	52,9	52,0	7,7	–
4. N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>0</sub>	53,4	50,8	52,1	7,8	0,1
5. N <sub>50</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> с S (6 %), C (углерода) (12 %)	54,1	55,6	54,9	10,6	2,9
6. N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>30</sub> с Cu и Mn (с EDTA)	59,5	54,6	57,1	12,8	5,1
7. N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>30</sub> Cu и Mn (с EDTA на основе растительного масла)	56,5	52,6	54,6	10,3	2,6
8. N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>30</sub> с S (2 %) с CaO (7 %) и MgO (5 %)	56,4	57,8	57,1	12,8	5,1
9. N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>30</sub> с S (2 %), C (12 %)	56,7	58,6	57,7	13,4	5,7
10. N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>30</sub> с отходами дрожжевых производств (Ростмомент)	52,0	53,9	53,0	8,7	1,0
11. N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>30</sub> с отходами дрожжевых производств (НПЦ по продовольствию)	55,0	58,6	56,8	12,5	4,8
НСР <sub>05</sub>	4,33	3,50		3,94	

В среднем за два года исследований урожайность овса при возделывании на дерново-подзолистой связносупесчаной почве составила: на контроле – 44,3 ц/га, в базовом варианте – 52,0, в варианте со стандартными туками без внесения калия – 52,1, с новыми формами комплексных удобрений – 53,0–57,7 ц/га. Применяемые в опыте комплексные удобрения обеспечили тенденцию, а в ряде вариантов достоверное увеличение урожайности зерна на 2,0-6,7 ц/га относительно базового варианта со стандартными удобрениями в эквивалентной дозе. Высокую эффективность показало внесение NPK с S (2 %) и C (12 %), NPK с S (2 %) с CaO (7 %) и MgO (5 %), NPK с Cu и Mn (с EDTA) и NPK с отходами дрожжевых производств (НПЦ по продовольствию), обеспечив прибавку урожая на уровне 5,7 ц/га, 5,1, 5,1 и 4,8 ц/га соответственно.

Урожайность соломы овса при стандартной влажности (16 %) находилась в пределах от 73,4 ц/га до 120,9 ц/га (в зависимости от вариантов опыта). Соотношение солома/зерно при уборке овса было на уровне от 1,27 до 2,45.

При возделывании овса на дерново-подзолистой связносупесчаной почве с плотностью загрязнения <sup>137</sup>Cs – 10,8 Ки/км<sup>2</sup> и <sup>90</sup>Sr – 0,16 Ки/км<sup>2</sup> в условиях 2020 г. содержание <sup>137</sup>Cs в зерне овса находилось в пределах от 0,00 до 3,57 Бк/кг и во всех вариантах опыта было значительно ниже РДУ-99 (0,00-3,57 Бк/кг). В условиях 2021 г. на той же почве с плотностью загрязнения <sup>137</sup>Cs – 6,3 Ки/км<sup>2</sup> и <sup>90</sup>Sr – 0,21 Ки/км<sup>2</sup> содержание <sup>137</sup>Cs в зерне овса, в зависимости от вариантов опыта, находилось в пределах от 3,18 до 7,41 Бк/кг, а в среднем за два года от 2,26 до 4,88 Бк/кг, и зерно было пригодно как на пищевые цели, так и для использования на фураж и комбикорм (табл. 4).

**Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зерне овса на дерново-подзолистой связносупесчаной почве  
в ОАО «Хальч» Ветковского района**

Вариант	Содержание радионуклидов, (УА) Бк/кг					
	2020 г.		2021 г.		среднее	
	$^{137}\text{Cs}$	± базовому	$^{137}\text{Cs}$	± базовому	$^{137}\text{Cs}$	± базовому
1. Контроль без удобрений	0,00	–	7,41	–	3,71	–
2. $\text{N}_{70}\text{P}_{40}\text{K}_{60}$	3,41	–	6,34	–	4,88	–
3. $\text{N}_{50}\text{P}_{20}\text{K}_{30}$ – базовый	0,00	–	3,51	–	1,76	–
4. $\text{N}_{50}\text{P}_{20}\text{K}_0$	0,50	0,5	5,81	2,3	3,16	1,40
5. $\text{N}_{50}\text{P}_{30}\text{K}_{30}$ с (6 %)S, (12 %)C (углерода)	2,68	2,68	3,18	-0,33	2,93	1,17
6. $\text{N}_{50}\text{P}_{20}\text{K}_{30}$ с Cu и Mn (с EDTA)	0,00	0,00	4,52	1,01	2,26	0,50
7. $\text{N}_{50}\text{P}_{20}\text{K}_{30}$ Cu и Mn (с EDTA на основе растительного масла)	0,00	0,00	7,02	3,51	3,51	1,75
8. $\text{N}_{50}\text{P}_{20}\text{K}_{30}$ с S (2 %) с CaO(7 %) и MgO(5 %)	0,00	0,00	6,29	2,78	3,15	1,39
9. $\text{N}_{50}\text{P}_{20}\text{K}_{30}$ с (2 %)S, (12 %)C	2,38	2,38	7,38	3,87	4,88	3,12
10. $\text{N}_{50}\text{P}_{20}\text{K}_{30}$ с отходами дрожжевых производств (Ростмомент)	3,57	3,57	5,76	2,25	4,67	2,91
11. $\text{N}_{50}\text{P}_{20}\text{K}_{30}$ с отходами дрожжевых производств (НПЦ по продовольствию)	1,82	1,82	4,46	0,95	3,14	1,38

В соломе овса содержание  $^{137}\text{Cs}$  в годы исследований находилось также ниже допустимых уровней (0,10–12,4 Бк/кг), и она была пригодна для использования на любые цели без ограничения.

Содержание общего азота в зерне овса на контроле составляло 1,22 %, в вариантах с удобрениями – 1,27–1,38 %, с относительным его увеличением на 0,09–0,16 % по сравнению с контролем. Содержание остальных элементов по вариантам изменялось: фосфора – от 0,32 до 0,40 %, калия – от 0,26 до 0,37, кальция – от 0,09 до 0,10 и магния – от 0,22 до 0,24 %. Что касается содержания элементов питания в соломе овса, то оно изменялось в зависимости от вариантов диапазонов: общий азот – 0,55–1,06 %, фосфор – 0,38–0,93, калий – 3,24–4,39, кальций – 0,036–0,046 и магний – 0,13–0,19 %.

Полученные 2-летние экспериментальные данные по урожайности и показателям качества продукции, содержанию радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ), не позволяют сделать окончательные выводы о влиянии новых форм комплексных удобрений на вышеуказанные показатели (в том числе и по содержанию  $^{90}\text{Sr}$  в продукции), они будут дополнены в 2022 г. по окончании исследований

## ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные данные в условиях 2020–2021 гг. позволяют сделать следующие выводы.

1. Применение на дерново-подзолистой связносупесчаной почве новых форм комплексных удобрений с модифицирующими добавками обеспечивало тенденцию или достоверное повышение урожайности зерна ячменя в среднем за

два года в пределах от 0,7 до 5,6 ц/га по сравнению с внесением стандартных удобрений (базовый вариант). Наиболее эффективными формами комплексных удобрений в дозе  $N_{60}P_{40}K_{30}$  были комплексные: NPK с S (2–6 %) и C (12 %) (прибавка зерна 5,3–5,6 ц/га), NPK с Cu и Mn (в хелатной форме с EDTA), с прибавкой зерна 3,8–4,1 ц/га. Урожайность зерна ячменя в этих вариантах находилась в пределах от 50,7 до 52,5 ц/га, при урожайности в базовом варианте без добавок ( $N_{60}P_{40}K_{30}$ ) – 46,9 ц/га.

2. При внесении на дерново-подзолистой связносупесчаной почве комплексных удобрений с модифицирующими добавками получена прибавка зерна овса в среднем за 2 года размере от 1,0 до 5,7 ц/га, при урожайности в базовом варианте – 52,0 ц/га. Лучшими удобрениями при возделывании овса были: NPK с S (2 %) и C (12 %) (прибавка зерна 5,7 ц/га), NPK с S (2 %) с CaO (7 %) и MgO (5 %) (прибавка зерна 5,1 ц/га), NPK с Cu и Mn (в хелатной форме с EDTA), с прибавкой 5,1 ц/га, а также NPK с отходами дрожжевых производств НПЦ по продовольствию (прибавка зерна 4,8 ц/га).

3. Содержание  $^{137}Cs$  в зерне ячменя и овса, при внесении разных форм удобрений на дерново-подзолистых связносупесчаных почвах (2020–2021 гг.) с плотностью загрязнения  $^{137}Cs$  – 6,3–10,8 Ки/км<sup>2</sup> и  $^{90}Sr$  – 0,16–0,30 и Ки/км<sup>2</sup>, находилось значительно ниже РДУ-99, и было пригодно как на пищевые цели, так и для использования на фураж и комбикорм, а солома ячменя – для использования на любые цели, без ограничения.

4. Сделать вывод о влиянии комплексных удобрений с модифицирующими добавками на снижение поступления  $^{137}Cs$  в основную и побочную продукцию яровых зерновых культур, при таком низком их содержании в зерне и соломе, по данным двухгодичных исследований не представляется возможным.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы / Н. Н. Цыбулько [и др.]; Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС. – Минск: РНИУП «Институт радиологии», 2012. – 121 с.

2. Рекомендации по оптимизации возделывания сельскохозяйственных культур почвенно-радиоэкологический условиях Гомельской и Могилевской областей / Н. Н. Цыбулько [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2021. – 82 с.

3. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Н. Н. Цыбулько [и др.]; Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 144 с.

4. Радиохимические и химические аспекты снижения последствий радиоактивного загрязнения почв / П. Орлов [и др.] // International Agrocultural Journal. – 2017. – № 2. – С. 42–46.

5. Прудников, П. В. Использование агрономических руд и новых комплексных минеральных удобрений на радиоактивно загрязненных почвах / П. В. Прудников. – Брянск, 2012. – 296 с.
6. Федоркова, М. В. Биологическая подвижность радиоцезия в агроценозе на дерново-подзолистой песчаной почве: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.04; 03.01.01 / М. В. Федоркова; МГУ им. М. В. Ломоносова. – М., 2013. – 26 с.
7. Эффективность новых комплексных удобрений в условиях радиоактивно загрязненных агроценозов / Б. А. Сушеница [и др.] // Агрохимический вестник. – 2011. – № 5. – С. 23–25.
8. Эволюция представлений о подвижности  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва-растение и роли калия в этих процессах / Н. И. Санжарова [и др.] // Агрохимия. – 2014. – № 5. – С. 79–93.
9. Формы нахождения в почвах и динамика накопления  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственных культурах после аварии на Чернобыльской АЭС / Н. И. Санжарова [и др.] // Почвоведение. – 2004. – № 2. – С. 159–164.
10. Влияние новых комплексных органо-минеральных удобрений на продуктивность кукурузы и транслокацию  $^{137}\text{Cs}$  в растения / С. П. Арышева [и др.] // Агрохимия. – 2018. – № 3. – С. 27–35.
11. Справцева Е. В. Агроэкологическая оценка применения средств химизации при возделывании озимой пшеницы на юго-западе России в условиях радиоактивного загрязнения агроландшафтов: дис. ... канд. с-х. наук: 06.01.04 / Е. В. Справцева. – Брянск, 2020. – 184 с.
12. Алексахин, Р. М. Сельскохозяйственная радиоэкология / Р. М. Алексахин, Н. А. Корнев. – М.: Экология, 1992. – 400 с.
13. Алексахин, Р. М. Поведение  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва-растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклидов в урожае / Р. М. Алексахин // Агрохимия. – 1992. – № 10. – С. 123–138.
14. Прудников, П. В. Эффективность агрохимических мероприятий при реабилитации радиоактивно загрязненных территорий / П. В. Прудников // Агрохимический вестник. – 2006. – № 2. – С. 8–10.
15. Tsukada, H. Transfer of  $^{137}\text{Cs}$  and stable Cs from paddy soil to polished rice in Aomori Japan / H. Tsukada, H. Hasegawa Sh Hisamatsu et al / J. Environ. – Radiol. – 2002. – Vol. 59. – P. 351–363.
16. Основные факторы, определяющие поведение радионуклидов в системе почва-растение / Б. С. Пристер [и др.] // Проблемы сельскохозяйственной радиологии. – Вып. 2. – 1992. – С. 108–117.
17. Willey, H. Some effects of nitrogen nutrition on calcium uptake and translocation by species in the Poceal, Asteraceal and Caryophyllidial / H. Willey, S. Tang // Environ. Exper. Bot. – 2006. – Vol. 58. – P. 114–122.
18. Оценка влияния длительного применения минеральных удобрений на свойства почв, качество продукции и накопление Cs урожаем зерновых культур / В. К. Кузнецов [и др.] // Агрохимия. – 2017. – № 2. – С. 64–72.
19. Влияние калия и кислотности на состояние  $^{137}\text{Cs}$  в почвах и его накопление проростками ячменя в вегетационном опыте / В. С. Анисимов [и др.] // Почвоведение. – 2002. – № 11. – С. 1323–1332.

20. Эффективность минеральных удобрений на радиоактивно загрязненных территориях / Т. Л. Жигарева [и др.] // Химия в сельском хозяйстве. – 1996. – № 1. – С. 35–38.

21. Реабилитационные мероприятия на сельскохозяйственных угодьях, подвергшихся радиоактивному загрязнению / А. Н. Ратников [и др.] // Известия ТСХА. – 2019. – № 2. – С. 18–34.

22. Роль калия в снижении поступления радиоизотопов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продукцию кукурузы / А. Д. Наумов [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2012. – № 2. – С. 82–86.

23. Яковец, Л. А. Экологическая оценка загрязнения почвы и сельскохозяйственной продукции по содержанию радионуклидов / Л. А. Яковец // Norwegian Journal of development of the International Science. – 2020. – No 42. – P.18–22.

24. Применение удобрений жидких комплексных с хелатными формами микроэлементов под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Г. В. Пироговская [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 40 с.

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

26. Пироговская, Г. В. Медленнодействующие удобрения / Г. В. Пироговская. – Минск: Белорусский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии, 2000. – 288 с.

27. Эффективность удобрения пролонгированного действия СУПРОДИТ-М и органо-минерального комплекса ГЕОТОН при возделывании зерновых культур в условиях радиоактивного загрязнения / А. Н. Ратников [и др.] // Вестник аграрной науки. – 2018. – № 4(73). – С. 36–46.

28. Возделывание зерновых культур с использованием удобрения пролонгированного действия СУПРОДИТ-М и органо-минерального комплекса ГЕОТОН на радиоактивно загрязненных почвах / А. Н. Ратников [и др.] // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф., Обнинск, 26–28 сентября 2018 г. / ФГБНУ ВНИИРАЭ; редкол.: Н. И. Санжарова [и др.]. – Обнинск, 2018. – С. 341–347.

29. Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь. – Минск: Бизнесофсет, 2017. – 688 с.

30. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: Сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч. практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 288 с.

31. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сборник науч. мат. / РУП Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земл. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 448 с.

32. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

**EFFECT OF NEW FORMS OF COMPLEX FERTILIZERS  
ON PRODUCTIVITY AND ACCUMULATION OF  $^{137}\text{Cs}$  IN SPRING  
GRAIN CROPS ON RADIONUCLIDE CONTAMINATED SOD-PODZOIC  
COHERENT LOAMY SOIL**

**S. S. Khmialeusky, H. V. Pirahouskaya, V. I. Saroka, K. V. Danilenka,  
A.S. Maksimchuk, I. E. Yermalovich**

**Summary**

The article presents data on the influence of new forms of complex fertilizers on the productivity (main and by-products), the content of nutrients and the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in spring cereals (barley, oats) in the conditions of 2020–2021 on radionuclide-contaminated sod-podzolic cohesive sandy soil. The promising forms of complex fertilizers with modifying additives have been identified that have a positive effect on the productivity of spring grain crops, with the accumulation of radionuclides below the republican permissible levels.

*Поступила 30.11.21*

УДК 633.15:631.8:631.559:636.086.255

**ВЛИЯНИЕ МАКРО-, МИКРОУДОБРЕНИЙ И РЕГУЛЯТОРА  
РОСТА НА ДИНАМИКУ НАКОПЛЕНИЯ СУХОГО ВЕЩЕСТВА,  
УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ КУКУРУЗЫ И ВЫНОС  
ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ С УРОЖАЕМ**

**С. С. Мосур**

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,  
г. Горки, Беларусь*

**ВВЕДЕНИЕ**

Кукуруза – одна из важнейших кормовых культур. По потенциальной продуктивности и энергетической питательности она превосходит все зернофуражные культуры [1].

В мире кукуруза возделывается главным образом на фуражные цели. Зерно используют для кормления всех видов животных. По кормовым достоинствам оно превосходит все зерновые культуры. В 1 кг зерна кукурузы при 14 %-ной влажности содержится 90–100 г протеина, около 50 г жира, 30 г клетчатки, 10–15 г золы, 670–700 г безазотистых экстрактивных веществ, 1,34 кормовая единица.

Широкое распространение в нашей стране кукуруза получила как силосная культура. Ее питательная ценность зависит от фазы развития растения, изменяется в пределах от 13–15 до 28–30 кормовых единиц на 100 кг силосной массы.

По мере старения и цветения доля початков увеличивается, и питательная ценность зеленой массы до фазы восковой спелости зерна повышается [2, 3].

Мировой опыт земледелия показывает, что получение стабильно высокого урожая без использования удобрений невозможно, так как на долю удобрений приходится не менее трети прибавки урожая сельскохозяйственных культур [4].

Наряду с простыми микроудобрениями в сельском хозяйстве широкое применение получили органоминеральные и хелатные соединения микроэлементов [5].

Необходимо вносить в почву главные элементы питания в значительно большем количестве, чем было израсходовано для формирования урожая [6].

Значительному накоплению сухого вещества, повышению продуктивности фотосинтеза способствует применение удобрений, что в свою очередь положительно влияет на увеличение урожая кукурузы.

Однако следует учитывать, что значительные прибавки зерна можно получить лишь при наличии в почве достаточных количеств легкодоступных питательных веществ, о чем свидетельствует их вынос кукурузой при формировании высоких урожаев продукции. Установлено, что в жизни кукурузы ведущая роль принадлежит азоту [7].

Кукуруза в Государственном сортоиспытании Беларуси является наиболее продуктивной зерновой культурой [8], занимая лидирующее положение среди других зерновых и кормовых культур. Урожайность зерна кукурузы в Республике Беларусь за последние годы в среднем составила 93 ц/га, силосной массы – 7,4 тыс. к. ед. с 1 га [9]. Это побудило сельхозпроизводителей к расширению ее посевов до 1 млн га.

Кукуруза как растение класса С4 лучше ряда других культур использует солнечную энергию, благодаря чему обладает большим потенциалом продуктивности, поэтому предъявляет высокие требования к плодородию почвы и системе питания [10].

Отличительной особенностью кукурузы по сравнению с другими кормовыми культурами является то, что по мере прохождения фаз роста и развития, вплоть до восковой спелости зерна, она накапливает сухое вещество без снижения его питательной ценности [11, 12].

Определение содержания сухого вещества в растениях кукурузы имеет ряд сложностей, поскольку с одной стороны это крупное растение, масса которого может достигать 0,5–1,0 кг, а с другой – искомый показатель может вдвое различаться в зависимости от того, в каком органе он устанавливается. В початках содержится наибольшее количество сухого вещества по сравнению с другими частями растения и к моменту налива и созревания зерна постепенно увеличивается. Меньше всего сухого вещества содержится в листостебельной массе, что также связано с проводником влаги – стеблем. Поэтому в зерне в итоге в 1,9–2,0 раза больше сухого вещества, чем в листостебельной массе [13].

Цель исследований – изучить влияние макро-, микроудобрений и регулятора роста на динамику накопления сухого вещества, урожайность зеленой массы кукурузы и вынос элементов питания с урожаем.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на опытном поле «Тушково» УНЦ «Опытные поля БГСХА» в 2018–2020 г. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на легком лессовидном суглинке, подстилаемой с глубины около 1 м моренным суглинком.

Почва опытного участка имела в среднем кислую (2019 г.) и слабокислую (2018 г.) реакцию почвенной среды, среднюю обеспеченность гумусом, низкую и высокую обеспеченность подвижными формами меди и среднюю цинком, повышенное содержание подвижных форм фосфора, повышенное (2018 г.) и высокое (2019 и 2020 г.) содержание подвижных форм калия (по методу Кирсанова) (табл. 1).

Таблица 1

**Агрохимические показатели пахотного горизонта опытного участка  
(средние по всему опытному полю)**

Год исследования	рН	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Zn	Гумус, %
		мг/ кг почвы				
2018	5,60	238	291	3,47	4,44	1,51
2019	5,24	217	316	2,57	4,00	1,54
2020	5,83	234	328	1,52	3,91	1,60

Объектом исследований являлся гибрид кукурузы Ладога ФАО 240. Среднеранний, трехлинейный. Тип зерна промежуточный. Включен в государственный реестр сортов Беларуси в 2012 году. Вегетационный период 106–109 дней.

В опытах применяли удобрения:

- мочевины (46 % N); аммонизированный суперфосфат (30 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 9 % N); хлористый калий (60 % K<sub>2</sub>O), комплексное удобрение для кукурузы, марка 15-12-19 с 0,2 % Zn и 0,1 % B, разработанное в РУП «Институте почвоведения и агрохимии»;

- органические удобрения – навоз крупного рогатого скота (влажность 78–79 %, органическое вещество – 21–22 %, N – 0,50–0,52 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,21–0,22 % и K<sub>2</sub>O – 0,55–0,57 %);

- микроудобрения: Адоб Цинк (6,2 % Zn, 9 % N и 3 % Mg); МикроСтим-Цинк (6–8% Zn, 9–11% N), МикроСтим-Цинк, Бор (4,6 % Zn; 9,3 % N; 3,0 % B; гуминовые вещества – 0,48–6,0 г/л); МикроСтим-Цинк, Медь (5,0 % Zn; 5,0 % Cu; 7,5 % N; гуминовые вещества – 0,48–6,0 г/л

- комплексное удобрение Кристалон (N – 18 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 18,0 %; K<sub>2</sub>O – 18,0 %; MgO – 3 %; SO<sub>3</sub> – 5 %; B – 0,025 %; Cu (ЭДТА) – 0,01 %; Fe (ЭДТА) – 0,07 %; Mn (ЭДТА) – 0,04 %; Mo – 0,004 %; Zn(ЭДТА) – 0,025 %.);

- регулятор роста растений – Экосил – 5 %-ная водная эмульсия тритерпеновых кислот.

В фазу 6–8 листьев проведена обработка растений кукурузы следующими препаратами: регулятор роста растений Экосил – 50 мл/га, микроудобрение Адоб Цинк – 1,5 л/га, комплексными микроудобрениями с регулятором роста МикроСтим-Цинк, Медь – 1,5 л/га, МикроСтим Цинк, Бор – 1,65 л/га, комплексное удобрение Кристалон – 2 л/га.

Общая площадь делянки – 25,2 м<sup>2</sup>, учетная – 16,8 м<sup>2</sup>. Повторность – четырехкратная.

Опыт с кукурузой заложен по следующей схеме:

1. Контроль
2. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>.
3. N<sub>90</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> (стандартные).
4. N<sub>90</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> (с Zn и B).
5. N<sub>90</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> + N<sub>30</sub> – фон.
6. N<sub>120</sub>P<sub>80</sub>K<sub>130</sub> + N<sub>30</sub> + МикроСтим-Цинк (75 г/га Zn).
7. Фон + МикроСтим-Цинк (75 г/га Zn).
8. Фон + Адоб Цинк (75 г/га Zn).
9. Фон + МикроСтим-Цинк, Медь (75 г/га Zn + 75 г/га Cu).
10. Фон + Кристалон.
11. Фон + Экосил.
12. Фон + МикроСтим-Цинк, Бор (75 г/га Zn + 50 г/га B).
13. Навоз 60 т/га + фон (N<sub>90</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> + N<sub>30</sub>).
14. Навоз 60 т/га + фон (N<sub>90</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> + N<sub>30</sub>) + МикроСтим-Цинк (75 г/га Zn).

Посев кукурузы был произведен сеялкой точного высева СТВ-8К в 2018 г. 5 мая, в 2019 г. – 19 апреля, в 2020 г. – 5 мая.

Учет урожая зеленой массы кукурузы был проведен методом учетных площадок.

Агротехника возделывания общепринятая для Беларуси [14].

Химическую прополку кукурузы проводили по всходам гербицидом Сулкотрек, КС (2 л/га).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Вариант с применением минеральных удобрений в дозе N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> увеличивал накопление сухого вещества по сравнению с вариантом без применения удобрений в фазе вымётывания на 12,3 ц/га, в фазе молочно-восковой спелости – на 18 ц/га (табл. 2).

Таблица 2

**Динамика накопления сухого вещества растениями кукурузы при возделывании на зеленую массу (в среднем за 2018–2020 гг.)**

Вариант	Фаза развития растений							
	3–4 листа		6–8 листьев		вымётывание		молочно-восковая спелость	
	ц/га	± к контролю	ц/га	± к контролю	ц/га	± к контролю	ц/га	± к контролю
Контроль	0,24	–	0,34	–	61,33	–	82,66	–
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	0,23	–0,01	0,35	+0,01	73,66	+12,33	100,66	+18,00
N <sub>90</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> (стандартные)	0,25	+0,01	0,43	+0,07	82,66	+21,33	118,66	+36,00
N <sub>90</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> (с B и Zn)	0,26	+0,02	0,46	+0,12	85,00	+23,67	125,33	+42,67
N <sub>90+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> – фон	0,28	+0,04	0,47	+0,13	90,33	+29,00	136,66	+54,00
N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>130</sub> + МикроСтим-Цинк	0,27	+0,03	0,50	+0,16	100,66	+39,33	173,00	+90,34

Вариант	Фаза развития растений							
	3–4 листа		6–8 листьев		вымётывание		молочно-восковая спелость	
	ц/га	± к контролю	ц/га	± к контролю	ц/га	± к контролю	ц/га	± к контролю
Фон + МикроСтим-Цинк	0,28	+0,04	0,48	+0,14	95,66	+34,33	157,33	+74,67
Фон + Адоб Цинк	0,29	+0,05	0,48	+0,14	96,00	+34,67	166,33	+83,67
Фон + МикроСтим-Цинк, Медь	0,30	+0,06	0,47	+0,13	99,33	+38,00	151,66	+69,00
Фон + Кристалон	0,30	+0,06	0,47	+0,13	96,33	+35,00	161,66	+79,00
Фон + Экосил	0,28	+0,04	0,46	+0,12	99,33	+38,00	162,00	+79,34
Фон + МикроСтим-Цинк, Бор	0,26	+0,02	0,44	+0,10	97,33	+36,00	143,00	+60,34
Навоз + N <sub>90+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub>	0,31	+0,07	0,51	+0,17	116,00	+54,67	179,33	+96,67
Навоз + N <sub>90+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> + МикроСтим-Цинк	0,30	+0,06	0,49	+0,15	126,33	+65,00	204,66	+122,00
НСП <sub>05</sub>	0,010	–	0,013	–	5,113	–	6,682	–

Применение минеральных удобрений в дозе N<sub>90</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> увеличивало накопление сухого вещества по сравнению с вариантом без применения удобрений во всех фазах роста. В фазе 6–8 листьев было накоплено сухого вещества на 0,09 ц/га, в фазе вымётывания – на 21,33 и в фазе молочно-восковой спелости – на 36,00 ц/га больше.

Вариант с применением комплексного удобрения в дозе эквивалентной варианту с применением N<sub>90</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> увеличивал накопление сухого вещества по сравнению с вариантом без применения удобрений в фазе 6–8 листьев – на 12,00 ц/га, в фазе вымётывания – на 23,67 и в фазе молочно-восковой спелости – на 42,67 ц/га.

В варианте с применением минеральных удобрений в дозе N<sub>90+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> количество накопленного сухого вещества возросло в фазе 6–8 листьев на 0,13, в фазе вымётывания – на 29,0 ц/га и в фазе молочно-восковой спелости – на 54 ц/га по сравнению с вариантом без применения удобрений.

Применение МикроСтим-Цинк на фоне N<sub>90+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> в фазе вымётывания и молочно-восковой спелости увеличивало накопление сухого вещества по сравнению с фоновым вариантом на 5,33 и 20,67 ц/га соответственно.

Применение навоза на фоне N<sub>90+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> способствовало накоплению сухого вещества: фаза 6–8 листьев – на 0,04 ц/га, фаза вымётывания – на 25,67 ц/га, фаза молочно-восковая спелость – на 42,67 ц/га.

Максимальное количество сухого вещества получено в варианте с применением навоз + N<sub>90+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> + МикроСтим-Цинк (фаза вымётывания – 126,33 ц/га, фаза молочно-восковая спелость – 204,66 ц/га), что и обеспечило максимальную урожайность зеленой массы.

Применение N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> и N<sub>90</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> повышало урожайность зеленой массы кукурузы по сравнению с неудобренным контролем в среднем за 3 года на 76 и 112 ц/га при окупаемости 1 кг НРК кг зеленой массы 35,9 и 40,0 кг (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние макро-, микроудобрений и регулятора роста на урожайность зеленой массы кукурузы (в среднем за 2018–2020 гг.)**

Вариант	Урожайность,				± К контролю	± К фону	Окупаемость 1 кг NPK, кг зеленой массы
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	средняя			
	ц/га						
Контроль	260	365	385	336	–	–	–
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	314	432	490	412	75	–	35,8
N <sub>90</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> (стандартные)	357	459	530	448	112	–	40,0
N <sub>90</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> (с В и Zn)	384	491	560	478	141	–	50,6
N <sub>90+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> – фон	410	511	595	505	168	–	60,2
N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>130</sub> + МикроСтим-Цинк	530	729	650	636	299	131	90,8
Фон + МикроСтим-Цинк	480	564	610	551	214	46	76,6
Фон + Адоб Цинк	488	594	615	565	229	60	81,7
Фон + МикроСтим-Цинк, Медь	505	678	630	604	267	99	95,6
Фон + Кристалон	518	729	672	639	303	134	108,2
Фон + Экосил	458	538	625	540	203	35	72,7
Фон + МикроСтим-Цинк, Бор	495	656	625	592	255	86	91,2
Навоз + N <sub>90+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub>	626	756	710	697	360	192	–
Навоз + N <sub>90+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> + МикроСтим-Цинк	696	796	720	737	400	232	–
НСП <sub>05</sub>	24,0	27,5	21,1	21,0	–	–	–

Комплексное удобрение для кукурузы с цинком и бором по сравнению с внесением в эквивалентной дозе N<sub>90</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> увеличило урожайность зеленой массы кукурузы на 30 ц/га.

Некорневые подкормки на фоне N<sub>90+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> Адоб Цинк, МикроСтим-Цинк, МикроСтим-Цинк, Медь и МикроСтим-Цинк, Бор повышали урожайность зеленой массы кукурузы на 60, 46, 99 и 87 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 91,7 кг зеленой массы, 76,6, 95,6 и 91,2 кг зеленой массы соответственно. Некорневая подкормка МикроСтим-Цинк была равнозначной применению Адоб Цинк на фоне N<sub>90+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub>. В связи с этим белорусское микроудобрение МикроСтим-Цинк можно использовать вместо польского микроудобрения Адоб Цинк для импортозамещения.

Подкормка комплексным удобрением Кристалон на фоне N<sub>90+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> увеличивала урожайность зеленой массы по сравнению с фоновым вариантом на 134 ц/га при высокой окупаемости 1 кг NPK кг зеленой массы кукурузы – 108,2 кг. Высокая урожайность зеленой массы кукурузы при минеральной системе удобрений была также в варианте с применением МикроСтим-Цинк на фоне высоких доз минеральных удобрений N<sub>120</sub>P<sub>80</sub>K<sub>130</sub> + N<sub>30</sub>, которая составила 636 ц/га.

Обработка посевов кукурузы регулятором роста Экосил на фоне N<sub>90+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> повышала урожайность зеленой массы по сравнению с фоном на 35 ц/га.

Внесении 60 т навоза + N<sub>90+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> и 60 т/га навоза + N<sub>90+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> + МикроСтим-Цинк обеспечило самую высокую урожайность зеленой массы кукурузы – соответственно 697 и 737 ц/га.

В задачи исследований входило определение содержания основных макро- (азот, фосфор, калий) и микроэлементов (медь, цинк) необходимых для роста и развития кукурузы.

Установлено, что минимальное содержание азота (1,09 %) в зеленой массе кукурузы было в контрольном варианте без применения удобрений (табл. 4). Применение минеральных удобрений в дозе  $N_{60}P_{60}K_{90}$  не повлияло на данный показатель. Это связано с биологическим разбавлением урожая. Содержание азота в зеленой массе кукурузы возрастало с увеличением дозы азотных удобрений. В фоновом варианте ( $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ ) оно увеличилось до 1,35 %. Максимальное значение (1,79 %) было в варианте навоз +  $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ , что на 0,44 % больше фонового варианта.

Таблица 4

**Влияние систем удобрения на химический состав  
и показатели качества зеленой массы кукурузы (в среднем за 2018–2020 гг.)**

Вариант	Химический состав и показатели качества								
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Zn	сы- рая зола	сырой жир	сырая клет- чатка	сырой проте- ин
	%			мг/кг		%			
Контроль	1,09	0,52	1,35	2,04	5,76	5,92	1,08	23,40	6,83
$N_{60}P_{60}K_{90}$	1,10	0,90	1,52	2,56	9,51	5,53	0,78	24,23	6,92
$N_{90}P_{70}K_{120}$ (стандартные)	1,23	0,58	1,58	2,82	10,88	5,32	1,08	23,19	7,70
$N_{90}P_{70}K_{120}$ (с В и Zn)	1,37	0,79	1,50	2,23	14,95	5,30	1,06	22,34	8,56
$N_{90+30}P_{70}K_{120}$ – фон	1,35	1,14	1,65	2,46	12,00	5,93	1,24	22,46	8,43
$N_{120}P_{80}K_{130}$ + Микро- Стим-Цинк	1,43	0,95	1,53	2,46	14,01	5,95	1,14	21,99	8,93
Фон + МикроСтим-Цинк	1,38	1,08	1,70	2,73	11,71	5,62	0,99	23,59	8,66
Фон + Адоб Цинк	1,44	0,80	1,65	2,54	13,81	5,64	1,16	22,87	9,03
Фон + МикроСтим-Цинк, Медь	1,35	0,84	1,69	4,72	25,41	5,28	1,10	22,78	8,46
Фон + Кристалон	1,46	1,07	1,94	3,77	21,09	5,92	1,22	23,32	9,12
Фон+Экосил	1,39	0,89	1,65	2,52	12,84	5,52	1,15	22,50	8,73
Фон+МикроСтим-Цинк, Бор	1,42	0,86	1,70	2,83	15,63	5,87	1,16	22,58	8,91
Навоз + $N_{90+30}P_{70}K_{120}$	1,79	0,97	1,73	2,90	17,46	6,02	1,14	22,09	11,23
Навоз + $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ + МикроСтим-Цинк	1,70	0,97	1,65	2,55	20,19	4,92	1,21	21,91	10,67
НСР <sub>05</sub>	0,323	0,173	0,179	0,958	9,884	1,289	0,693	2,733	1,789

Минимальное содержание фосфора в зеленой массе кукурузы (0,52 %), так же, как и по содержанию азота, выявлено в варианте без применения удобрений. Внесение  $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$  (фон) увеличило количество P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> до 1,14 %. В варианте с внесением нового комплексного удобрения с бором и цинком содержание фосфора в зеленой массе кукурузы выросло по сравнению с вариантом, где использовались минеральные удобрения в эквивалентной дозе ( $N_{90}P_{70}K_{120}$ ), на 0,21 %. При использовании остальных системах удобрения содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> было приблизительно одинаковым.

Так же, как и по азоту и фосфору минимальное содержание калия в зеленой массе кукурузы было на контроле – 1,35 %. В зеленой массе кукурузы в фоновом варианте ( $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ ) содержалось 1,65 % калия. Максимальное накопление калия в зеленой массе (1,94 %) обеспечило применение некорневой подкормки комплексным удобрением Кристалон в дозе 2 л/га в фазе 6–8 листьев на фоне  $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ .

В контрольном варианте без применения удобрений было минимальное содержание цинка в зеленой массе 5,76 мг/кг.

В фоновом варианте ( $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ ) содержание цинка в зеленой массе составило 12,00 мг/кг. Максимальное накопление цинка в зеленой массе кукурузы обеспечило применением некорневой подкормки МискроСтим-Цинк, Медь на фоне  $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$  и составило 25,41 мг/кг, что на 13,41 мг/кг выше фонового варианта.

Содержание меди в зеленой массе среди всех систем удобрения было наибольшим в варианте с применением некорневой подкормки МискроСтим-Цинк, Медь на фоне  $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$  и составило 4,72 мг/кг, что на 2,26 мг/кг больше фонового варианта. Так же более высокое содержание меди обеспечила некорневая подкормка комплексным удобрением Кристалон на фоне  $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$  – 3,77 мг/кг.

Применение изучаемых минеральных макро-, микро- и органических удобрений, регулятора роста и не оказало существенного влияния на содержание сырой золы в зеленой массе кукурузы по сравнению с контрольным вариантом без удобрений.

Наименьшее содержание сырого жира было в варианте с применением минеральных удобрений в дозе  $N_{60}P_{60}K_{90}$  (0,78 %). В неудобренном варианте содержание сырого жира существенно не отличалось от всех других изучаемых систем удобрения и составило 1,08 %.

Содержание сырой клетчатки во всех вариантах колебалось в пределах от 21,91 % до 24,23 %.

Содержание сырого протеина находится в прямой зависимости от содержания азота в зеленой массе кукурузы. Минимальное количество, так же, как и содержание азота, отмечено в варианте без применения удобрений – 6,83 %. Максимальное содержание сырого протеина в зеленой массе кукурузы было в вариантах с применением 60 т/га навоза на фоне  $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$  и 60 т/га навоза в сочетании с некорневой подкормкой МискроСтим-Цинк на фоне  $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$  и составило 11,23 и 10,67 % соответственно. Все остальные применяемые системы удобрения не существенно отличались от фонового варианта.

Судить о выносе элементов питания зеленой массой кукурузы можно по данным, приведенным в таблице 5.

Минимальный общий и удельный вынос макро- и микроэлементов был в контрольном варианте без применения удобрений.

Варианты с применением органических удобрений отличались самым высоким выносом азота от всех остальных. Максимальный общий и удельный вынос азота зеленой массой кукурузы был в варианте навоз+ $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  + МикроСтим-Цинк – 348 кг/га и 4,7 кг/10 ц соответственно. В вариантах с минеральной системой удобрения более высоким выносом азота отличалось применение  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  + МикроСтим-Цинк – 253 кг/га. Все остальные варианты практически не отличались друг от друга.

**Вынос элементов питания с зеленой массой кукурузы  
(в среднем за 2018–2020 гг.)**

Вариант	Общий вынос					Удельный вынос				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Zn	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Zn
	кг/га			г/га		кг/т			г/т	
Контроль	88	33	110	16,8	48,3	2,7	1,0	3,3	2,0	5,7
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	111	69	154	26,2	97,9	2,7	1,8	3,9	2,5	9,5
N <sub>90</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> (стандартные)	147	56	188	33,5	130,3	3,3	1,3	4,0	2,8	10,8
N <sub>90</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> (с В и Zn)	172	78	191	28,3	189,2	3,6	1,7	4,0	2,2	14,9
N <sub>90+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> – фон	184	114	226	33,7	164,8	3,6	2,3	4,5	2,4	12,0
N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>130</sub> + Микро-Стим-Цинк	253	127	268	42,3	246,7	3,9	1,9	4,2	2,4	14,0
Фон + МикроСтим-Цинк	189	105	237	39,6	175,6	3,4	1,9	4,3	2,7	11,7
Фон + Адоб Цинк	245	107	282	42,9	236,0	4,3	1,9	4,9	2,5	13,8
Фон + МикроСтим-Цинк, Медь	194	91	242	70,5	389,2	3,2	1,5	4,0	4,7	25,4
Фон + Кристалон	231	123	292	59,5	344,5	3,7	1,9	4,5	3,7	21,0
Фон + Экосил	223	107	265	40,5	207,4	4,2	2,0	4,9	2,5	12,8
Фон + МикроСтим-Цинк, Бор	185	86	219	38,0	211,3	3,1	1,5	3,7	2,8	15,6
Навоз + N <sub>90+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub>	315	130	307	51,4	320,4	4,5	1,8	4,4	2,9	17,4
Навоз + N <sub>90+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> + МикроСтим-Цинк	348	150	338	53,7	411,0	4,7	2,0	4,5	2,5	20,1

Общий вынос фосфора был наибольшим в вариантах с применением органических удобрений и составил 130 и 150 кг/га.

Общий вынос калия так же, как азота и фосфора, был выше всего в вариантах с применением органических удобрений и составил 307 и 338 кг/га. Наименьший вынос калия отмечен в варианте без применения удобрений (110 кг/га). Между вариантами, где применялись микроудобрения, кроме варианта с навозом, разницы по общему выносу калия не выявлено. Среди минеральных систем удобрения наибольший вынос K<sub>2</sub>O был в варианте Фон + Кристалон – 292 кг/га.

Минимальный общий вынос меди (16,8 кг/га) был в контрольном варианте. Наибольший общий вынос меди был в единственном варианте, где применяли медьсодержащее микроудобрение (Фон + МикроСтим-Цинк, Медь) – 70,5 г/га. Между остальными вариантами разницы не было.

Максимальный общий вынос цинка был в вариантах Навоз + N<sub>90+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> + МикроСтим-Цинк и Фон + МикроСтим-Цинк, Медь и составил 411,00 и 389,2 г/га соответственно.

Максимальный удельный вынос меди и цинка обеспечило применение некорневой подкормки микроудобрением МикроСтим-Цинк, Медь – 4,7 и 25,4 г/10 ц соответственно. Во всех остальных удобренных вариантах разницы по удельному выносу микроэлементов (медь и цинк) не было.

## ВЫВОДЫ

Максимальное количество сухого вещества получено в варианте с применением навоза +  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  + МикроСтим-Цинк (фаза вымётывание – 126,33 ц/га, фаза молочно-восковая спелость – 204,66 ц/га), что и обеспечило максимальную урожайность зеленой массы. Применение навоза на фоне  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  способствовало накоплению сухого вещества по сравнению с контролем: фаза 6–8 листьев – на 0,04 ц/га, фаза вымётывание – на 25,67 ц/га, фазе молочно-восковая спелость – на 42,67 ц/га. В фоновом варианте с применением минеральных удобрений в дозе  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  количество накопленного сухого вещества возросло в фазе 6–8 листьев – на 0,13, в фазе вымётывания – на 29,0 ц/га и в фазе молочно-восковой спелости – на 54 ц/га по сравнению с вариантом без применения удобрений.

Сочетание навоза и минеральных удобрений обеспечивало самую высокую урожайность зеленой массы кукурузы. При внесении 60 т навоза +  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  и 60 т/га навоза +  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  + МикроСтим-Цинк получено 697 и 737 ц/га зеленой массы кукурузы. В фоновом варианте ( $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ ) урожайность зеленой массы составила 505 ц/га, что на 168 ц/га больше, чем на контроле. Применение комплексного удобрения Кристалон на фоне  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  способствовало получению как максимальной урожайности зеленой массы кукурузы (639 ц/га), так и окупаемости 1 кг NPK (108,2 кг зеленой массы).

Максимальное содержание азота (1,79 %) и сырого протеина (11,23 %) было в варианте с применением навоза на фоне  $N_{90}P_{70}K_{120}$  +  $N_{30}$ . Применение минеральных удобрений в дозе  $N_{90}P_{70}K_{120}$  +  $N_{30}$  способствовало наибольшему (1,14 %  $P_2O_5$ ) увеличению содержанию фосфора в зеленой массе кукурузы. К максимальному увеличению содержания калия в зеленой массе (1,94 %) привело применение некорневой подкормки комплексным удобрением Кристалон на фоне  $N_{90}P_{70}K_{120}$  +  $N_{30}$ . Максимальному накоплению меди и цинка в зеленой массе кукурузы способствовало применение некорневой подкормки МикроСтим-Цинк, Медь на фоне  $N_{90}P_{70}K_{120}$  +  $N_{30}$  – 4,72 мг/кг меди и 25,41 мг/кг цинка.

Минимальный удельный вынос азота, фосфора и калия был в варианте без применения удобрений. По фосфору удельный вынос в удобряемых вариантах был довольно стабильным и колебался в незначительных пределах – 1,3–2,0 г/т. Диапазон значений удельного выноса азота несколько выше (2,7–4,7 г/т) и наиболее высоким был в вариантах навоз 60 т/га +  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  и навоз 60 т/га +  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  + МикроСтим-Цинк) – 4,5 и 4,7 кг/10 ц. Максимальный удельный вынос меди и цинка отмечен в варианте с применением некорневой подкормки микроудобрением МикроСтим-Цинк, Медь – 4,7 и 25,4 г/10 ц соответственно.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология возделывания и использование кукурузы в животноводстве / И. Ш. Фатыхов [и др.]. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2008. – 39 с
2. *Надточаев, Н. Ф.* Кукуруза на полях Беларуси / Н. Ф. Надточаев; Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 412 с.

3. *Надточаев, Н. Ф.* Определим скороспелость и продуктивность гибридов кукурузы / Н.Ф. Надточаев // Наше сельское хозяйство. – 2011. – № 3. – С. 24–30.
4. *Сапаров, А. С.* Плодородие почвы и продуктивность культур / А. С. Сапаров. – Алматы: Изд-во ОО «ДОИВА», 2006. – 244 с.
5. *Справочник агрохимика* / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы. – Минск: Белорусская наука, 2007. – 389 с.
6. *Агафонов, Е. В.* Применение удобрений под гибриды кукурузы разного срока созревания / Е. В. Агафонов, А. А. Батаков // Кукуруза и сорго. – 2000. – № 3. – С. 6–7.
7. *Акулов, А. А.* Теоретические и практические возможности возделывания кукурузы на фуражное зерно / А. А. Акулов // Кормопроизводство. – 2010. – № 2. – С. 3–5.
8. *Надточаев, Н. Ф.* Кукуруза: достижения и недостатки / Н. Ф. Надточаев, А. З. Богданов, Д. А. Мочалов // Земледелие и защита растений. Наука – производству. Производство и заготовка травяных кормов. Приложение к журналу № 2. – 2019. – С. 22–26.
9. *Норма и стабильность реакции гибридов кукурузы на температуру почвы в период прорастания* / А. Э. Панфилов [и др.] // Вестник ЧГАА. 2015. – Т. 71. – С. 102–106.
10. *Дудук, А. А.* Научные исследования в агрономии: учеб. пособие / А. А. Дудук, П. И. Мозоль. – Гродно: ГГАУ, 2009. – 336 с.
11. *Авраменко, П. С.* Справочник по приготовлению, хранению и использованию кормов / П. С. Авраменко, Л. М. Постовалова, Н. В. Главацкий; под ред. П. С. Авраменко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Ураджай, 1993. – 351 с.
12. *Шпаар, Д.* Кукуруза. Выращивание, уборка, хранение и использование / Д. Шпаар. – К.: Изд. дом «Зерно», 2012. – 464 с.
13. *Надточаев, Н. Ф.* Содержание и выход сухого вещества в зависимости от сроков сева и густоты стояния разноспелых гибридов кукурузы / Н. Ф. Надточаев, Д. Н. Володькин, С. В. Абраскова // Кукуруза и сорго. – 2012. – № 3. – С. 28–33.
14. *Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур: учеб.-метод. пособие* / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша, П. А. Саскевича. – Горки: БГСХА, 2016. – 383 с.

## **INFLUENCE OF MACRO-, MICRONUTRIENT FERTILIZERS AND GROWTH REGULATOR ON THE DYNAMICS OF DRY MATTER ACCUMULATION, YIELD AND REMOVAL OF CORN NUTRIENTS DURING CULTIVATION ON GREEN MASS**

**S. S. Mosur**

### **Summary**

Corn is one of the most important agricultural crops in the world.

A significant accumulation of dry matter, an increase in the productivity of photosynthesis is facilitated by the use of fertilizers, which in turn has a positive effect on increasing the yield of corn.

The experiments also investigated the removal of nutrients by the resulting crop of green corn mass, its quality and chemical composition.

The use of an organomineral fertilizer system contributed to obtaining the highest yield of the green mass of corn, the dry matter content, as well as the highest content of nitrogen and crude protein in it among all the fertilizer systems used. When applying 60 tons of manure +  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  and 60 tons/ha of manure +  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  + MicroStim- Zinc, the yield of green mass was 697 and 737 kg/ha. The maximum amount of dry matter was obtained in the variant using manure +  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  + microstim zinc (the sweeping phase is 126.33 c/ha, the milky-wax ripeness phase is 204,66 c/ha), which ensured the maximum yield of the green mass. The maximum content of nitrogen (1,79 %) and crude protein (11,23 %) was in the variant with the use of manure against the background of  $N_{90}P_{70}K_{120}$  +  $N_{30}$ . The specific nitrogen removal was maximal in the variants of the manure-mineral fertilizer system (Manure 60 t/ha +  $N_{90}P_{70}K_{120}$  +  $N_{30}$  and Manure 60 t/ha +  $N_{90}P_{70}K_{120}$  +  $N_{30}$  + MicroStim-Zinc (75 g/ha Zn) and amounted to 4,5 and 4,7 kg/10 c.

The specific removal of nitrogen, phosphorus and potassium was lower in the version without the use of fertilizers. For phosphorus, the specific removal in the fertilized variants was quite stable and fluctuated within insignificant limits. The maximum specific removal of copper and zinc was in the variant with the use of foliar fertilization with micro-fertilization of MicroStim-Zinc, Copper and amounted to 4,7 and 25,4 g/10 c, respectively.

*Поступила 09.11.21*

УДК 631.8:633.521

## **ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ, РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА И БИОПРЕПАРАТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЛЬНА МАСЛИЧНОГО НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ**

**Ю. С. Корнейкова, И. Р. Вильдфлуш**

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,  
г. Горки, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Лён масличный – скороспелая яровая масличная культура, нетипичная для почвенно-климатических условий Республики Беларусь. В связи с глобальным изменением климата, благодаря высокой экологической пластичности лён масличный стал продвигаться на север, расширяя свой ареал возделывания.

Значение этой культуры огромно. Масличный лён является ценной сельскохозяйственной культурой комплексного использования, возделываемой в основном для получения масла, которое может широко использоваться как для пищевого, так и технического назначения. Анализ литературных источников показывает, что урожайность семян льна масличного при благоприятных почвенно-климатических условиях может достигать до 28 ц/га, а содержание масла в них – 42 % и выше [1].

Известно, что для получения максимальной урожайности семян льна масличного в различные по степени увлажнения годы дозы азота, в зависимости от гранулометрического состава почв и обеспеченности их фосфором и калием, должны находиться в пределах от 30 до 120 кг/га [2].

В льняном масле содержится до 20 % линолевой и 60 % линоленовой незаменимых жирных кислот [3]. Также большую ценность представляет солома льна масличного. Из стеблей льна, содержащих 12–18 % волокна, изготавливают грубые ткани, мешковину, брезент и теплоизоляционные материалы.

Развитие производства льна масличного в республике ставит перед сельскохозяйственной наукой и практикой задачу совершенствования приемов его выращивания и переработки. Резервом повышения урожайности и качества льнопродукции является более полное использование природных факторов, разработка ресурсосберегающих и экологически обоснованных агрохимических приемов, создающих оптимальные условия для роста и развития льна масличного [4].

Очень важно научиться управлять продуктивностью растений и качеством растениеводческой продукции, обеспечивая оптимальные условия питания растений на протяжении вегетационного периода за счет научно обоснованного внесения удобрений и других средств химизации.

Одним из путей решения этой задачи является частичная (а в отдельных случаях и полная) замена традиционных минеральных удобрений на «микробные» (биологические) препараты, способные за счет микроорганизмов обеспечивать питание растений азотом и фосфором, улучшать их развитие, оказывать фитосанитарное действие, повышать урожайность и качество сельскохозяйственной продукции [5]. Существенным фактором дальнейшего повышения урожайности сельскохозяйственных культур, по мнению ряда ученых [6, 7], является применение регуляторов роста растений класса brassinosterоидов. Разработаны различные способы применения эпина и гомобрассинолида, повышающие продуктивность льна-долгунца. На льне же масличном в полевых опытах brassinosterоиды изучены недостаточно. Это обуславливает актуальность проводимых нами исследований.

При совместном применении с традиционными пестицидами они повышают их эффективность, что позволяет снизить нормы расхода последних и кратность обработок ими. Все это, вместе взятое, дает как экономический, так и социальный эффект [8].

Большая роль в обеспечении растений азотом принадлежит микроорганизмам. Установлено, что до 70 % азота, поступающего за счет биологической азотфиксации в целом, приходится на долю ассоциативной азотфиксации [9]. Установлено, что активными ассоциативными азотфиксаторами являются более 60 видов бактерий, принадлежащих к 12 семействам [10]. Опыты, проведенные на дерново-подзолистых почвах с различными сельскохозяйственными культурами, показали, что суммарная продуктивность азотфиксации за вегетационный период может достигать 40–55 кг/га и более [9]. В отличие от азота дорогостоящих минеральных удобрений, который экологически небезопасен и усваивается наполовину, биологический азот достается растениям почти даром и экологически безвреден [10].

Одним из реальных путей дополнительного снабжения растений фосфором является микробиологическая фосфатмобилизация. В результате нее из труднорастворимых фосфатов высвобождается от 10 до 40 % доступного фосфора [11].

Однако реальное значение микробиологическая фосфатмобилизация может иметь только в пределах ризосферной зоны, и эффективность практического использования фосфатмобилизующих микроорганизмов в значительной степени зависит от их способности заселять ризосферу культурных растений [12].

В последние годы успешно применяют совместную инокуляцию семян различных культур препаратами азотфиксирующих и фосфатмобилизующих бактерий, что позволяет улучшить азотное и фосфорное питание растений и снизить дозы вносимых минеральных удобрений. К таким комплексным препаратам относится бинарный микробный инокулянт биолиnum.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2008–2010 гг. на опытном поле «Тушково» УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия». Почва опытного участка – дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на лессовидном суглинке, подстилаемом моренным суглинком с глубины более 1 м, характеризующаяся близкой к нейтральной реакципочвенной среды (рН – 6,0–6,3); повышенной обеспеченностью подвижными соединениями фосфора (164–168 мг/кг почвы) и средней – подвижным калием (172–178 мг/кг почвы); средним содержанием гумуса (1,68–1,73 %); низким содержанием бора (0,24–0,26 мг/кг) и цинка (2,65–2,83 мг/кг).

Повторность в опыте – четырехкратная. Общая площадь делянки – 28,8 м<sup>2</sup>, учетная – 24,5 м<sup>2</sup>. Предшественник – яровые зерновые. Исследуемый сорт льна масличного – Брестский (позднеспелый, селекции Института льна НАН Беларуси). Посев льна проводили в первой декаде мая с нормой высева семян 10 млн/га всхожих семян. Агротехника в опыте – общепринятая для условий Могилевской области. Сев осуществляли сеялкой СТВ-1,7. Минеральные удобрения вносили вручную вразброс под предпосевную культивацию на глубину 10–12 см. В качестве минеральных удобрений для основного внесения применялись карбамид, двойной гранулированный суперфосфат и хлористый калий. Урожай учитывали сплошным поделяночным способом. Урожайность льносемян приведена к стандартной влажности 12 %. Качество льносолумы определяли инструментальным методом [12] на Горецком льнозаводе. Усвояемый азот в почве определяли по методу Семененко [13], содержание фосфора и калия – по Кирсанову [14], жир в семенах – методом инфракрасной спектроскопии с использованием компьютеризованной аналитической системы PS Co/ISI IBM – PC 4250.

Данные опытов обработаны на ПЭВМ дисперсионным методом анализа по Доспехову [15].

Из росторегуляторов в опытах использовали эпин и гомобрассинолид, синтезированные в ГНУ «Институт биоорганической химии НАН Беларуси».

Эпин – препарат на основе эпибрассинолида, который относится к недавно открытому классу природных фитогормонов – брассиностероидам. Он является биорегулятором роста и развития растений, антистрессовым адаптогеном, который повышает устойчивость растений к неблагоприятным факторам внешней среды (погодные условия, болезни, ядохимикаты и т. п.). Эпин взаимодействует с компонентами гормональной системы растений, регулирует синтез и активность эндогенных ауксинов, цитокининов и абсцизовой кислоты, повышает активность

фотосинтеза. Его регуляторная роль проявляется в растениях в процессе роста, фотосинтеза, белкового обмена, поступления ионов и других сторон обмена веществ. Очень важным свойством эпина является способность положительно влиять на элементы продуктивности растений, что приводит к существенному повышению урожайности и качества сельскохозяйственных культур [7].

Гомобрассинолид, обладая полифункциональным действием, существенно влияет на регуляцию процессов фотосинтеза, белоксинтезирующей системы. Данный препарат характеризуется фунгицидными свойствами в отношении ряда заболеваний, вызванных грибами, бактериями и вирусами [7].

Предпосевную обработку семян регуляторами роста проводили полусухим методом, основой служил 0,5%-й раствор крахмального геля. На 1 т семян льна расход воды составлял 5 л. Концентрация эпи- и гомобрассинолида в растворе –  $1 \cdot 10^{-5}$  % [3]. Дозы брассиностероидов, вносимых по вегетирующим растениям – 20 мг/га д. в. Опрыскивание эпином и гомобрассинолидом совместно с гербицидами осуществляли поделяночно ранцевым опрыскивателем ОП-10 по вегетирующим растениям в фазу «елочки» согласно схеме опыта. Из гербицидов использовали агритокс (0,6 л/га) + хармони (10 г/га).

Исследуемые бактериальные инокулянты изготовлены в Институте микробиологии НАН Беларуси. Диазотрофный препарат ризобактерин – разработан на основе ассоциативного азотфиксатора *Enterobacter* Sh. 54, титр 2–2,5 млрд/мл жизнеспособных клеток. Обладает множественным эффектом (фиксация атмосферного азота, биосинтез ИУК, росторегуляция, подавление жизнедеятельности корневых патогенов и др.) [10].

Фитостимифос – *Enterobacter* Sh. 27, *Flavoobaacterium* sp. 25, титр 6–10 млрд/мл жизнеспособных клеток – ростостимулирующий биопрепарат, осуществляющий микробиологическую трансформацию труднорастворимых фосфатов почвы и удобрений в доступную растениям форму. Ризобактерин и фитостимифос способны колонизировать корни небобовых культур, образуя тесную ассоциацию.

Бинарный микробный инокулянт биолиnum, полученный на основе *Enterobacter* sp. Э10 и *Pseudomonas* sp. Ф<sub>3</sub>. Основные функциональные свойства этого препарата – нитрогеназная, фосфатмобилизующая, ростостимулирующая активности и антимикробный эффект на льне [16].

Предпосевную монобактериальную и смешанную (бинарную) обработку семян льна проводили бактериальными суспензиями диазотрофных и фосфатмобилизующих препаратов непосредственно перед севом, исходя из расчета: 200 мл инокулянта на гектарную норму семян.

Погодные условия в годы исследований характеризовались разнообразием как по условиям увлажнения, так и по температуре. Так, в 2008–2009 гг. метеорологические условия были близкими к среднемноголетним показателям; 2010 г. отличался повышенной температурой воздуха и недостаточным количеством атмосферных осадков, в то же время, запасы продуктивной влаги для льна в мае–июле были оптимальными.

Целью исследований – изучение влияния минеральных удобрений, регуляторов роста и бактериальных инокулянтов на содержание усвояемых форм азота и подвижных соединений фосфора в ризосферной зоне льна масличного пахотного слоя почвы по фазам развития растений, урожайность и качество льнопродукции.

Исследования велись по трем направлениям: 1 – установление оптимального уровня минерального питания растений масличного льна; 2 – определение результативности применения эпина и гомобрассинолида для обработки семян и посевов льна; 3 – определение влияния обработки семян льна ризобактерином, фитостимифосом и биолинумом на развитие, продуктивность и качество соломы и семян льнама сличного.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно данным исследований, выявлено, что максимальное содержание усвояемых форм азота во всех вариантах опыта отмечено в фазу бутонизации льна масличного, а в фазу цветения оно существенно снижалось. Установлена тенденция к увеличению содержания усвояемого азота в ризосферной зоне пахотного горизонта с повышением доз азота в составе полного минерального удобрения во все периоды роста и развития растений. Предпосевная инокуляция семян ризобактерином способствовала достоверному увеличению содержания усвояемого азота в ризосферной зоне пахотного слоя почвы как на фоне РК, так и NPK удобрений. Использование бинарной ассоциации (ризобактерин + фитостимифос) также приводило к существенному повышению этого показателя (табл. 1).

Таблица 1

### Действие минеральных удобрений и бактериальных инокулянтов на содержание усвояемых форм азота в ризосфере льна масличного

Вариант	Содержание азота, мг/кг											
	интенсивный рост				бутонизация				цветение			
	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Ø	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Ø	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Ø
Контроль (без удобрений)	20,1	19,4	16,1	18,5	42,6	38,8	27,6	36,3	17,1	16,3	13,8	15,7
Контроль + ризобактерин	33,2	31,2	28,3	30,9	65,3	60,1	54,6	60,0	26,6	25,6	24,1	25,4
Контроль + фитостимифос	26,4	27,9	25,4	26,6	53,9	39,4	34,9	42,7	20,8	18,6	16,9	18,8
Контроль + ризобактерин + фитостимифос	44,9	40,3	37,1	40,8	62,8	58,7	55,2	58,9	28,4	26,2	24,0	26,2
Контроль + биолиnum	48,1	49,2	46,6	48,0	74,4	60,3	56,8	63,8	31,8	28,4	26,1	28,8
P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> + ризобактерин	41,1	39,6	36,3	39,0	62,0	58,4	54,9	58,4	29,3	27,0	24,7	27,0
N <sub>45</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>	42,8	40,8	37,9	40,5	64,3	58,3	54,7	59,1	31,4	29,3	27,0	29,2
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> + ризобактерин	53,6	52,4	48,9	51,6	75,2	72,2	67,9	71,8	38,5	33,7	31,4	34,5
N <sub>45</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> + фитостимифос	51,4	47,9	45,0	48,1	72,5	57,7	53,4	61,2	35,1	29,8	27,6	30,8
N <sub>45</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> + ризобактерин + фитостимифос	62,3	55,8	52,6	56,9	82,6	77,6	74,1	78,1	43,2	40,3	38,2	40,6
N <sub>45</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> + биолиnum	68,5	68,1	65,3	67,3	84,2	79,6	75,4	79,7	45,8	41,4	38,9	42,0
НСР <sub>05</sub>	1,86	0,6	1,73		2,07	1,04	1,95		1,05	1,48	1,50	

В среднем за три года исследований самое высокое содержание усвояемых форм азота в ризосферной зоне пахотного слоя почвы отмечено в варианте с применением на льне масличном бинарного микробного препарата биолиnum на фоне  $N_{45}P_{30}K_{90}$  в (фазу бутонизации – 79,7 мг/кг почвы).

Анализируя данные исследований о влиянии бактериальных инокулянтов и удобрений на содержание подвижных соединений фосфора в ризосфере льна масличного, необходимо отметить, что изучаемые приемы оказали существенное влияние на изменение данного показателя (табл. 2). Так, при внесении минеральных удобрений в дозе  $P_{60}K_{90}$ , содержание подвижных соединений фосфора в ризосферной зоне пахотного горизонта почвы увеличивалось в течение вегетации на 15–32, в дозе  $N_{45}P_{30}K_{90}$  – на 15–28 мг/кг по сравнению с неудобренным вариантом. Применение бинарного микробного препарата биолиnum на фоне полного минерального питания  $N_{45}P_{30}K_{90}$  повысило содержание подвижных форм фосфора в фазу интенсивного роста на 38 мг/кг; бутонизации – 36 мг/кг; цветение – 25 мг/кг, а смеси бактериальных препаратов (ризобактерин + фитостимифос) – на 32 мг/кг; 29 мг/кг; 21 мг/кг в сравнении с контролем.

Таблица 2

**Действие минеральных удобрений и бактериальных инокулянтов на содержание подвижных форм фосфора в ризосфере льна масличного**

Вариант	Содержание подвижного фосфора, мг/кг											
	интенсивный рост				бутонизация				цветение			
	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Ø	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Ø	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Ø
Контроль (без удобрений)	164	157	152	158	152	148	132	144	142	138	124	135
Контроль + ризобактерин	166	159	143	156	158	152	134	148	143	137	120	133
Контроль + фитостимифос	188	180	168	179	174	168	149	164	156	150	137	148
Контроль + ризобактерин + фитостимифос	190	184	169	181	179	173	153	168	161	155	143	153
Контроль + биолиnum	195	187	176	186	180	174	161	172	162	155	143	153
$P_{60}K_{90}$ + ризобактерин	196	185	176	186	178	172	153	168	160	153	139	151
$N_{45}P_{30}K_{90}$	192	184	174	183	180	174	158	171	157	151	142	150
$N_{45}P_{60}K_{90}$ + ризобактерин	198	187	179	188	179	173	155	169	163	156	145	155
$N_{45}P_{30}K_{90}$ + фитостимифос	195	186	174	185	175	169	153	166	160	154	141	152
$N_{45}P_{30}K_{90}$ + ризобактерин + фитостимифос	202	192	175	190	181	176	163	173	164	158	146	156
$N_{45}P_{30}K_{90}$ + биолиnum	206	197	184	196	185	179	175	180	169	159	153	160
$HC P_{05}$	2,25	2,03	1,87		2,24	2,15	2,04		2,11	2,12	1,85	

Достоверное влияние на увеличение содержания подвижных соединений фосфора в ризосферной зоне пахотного горизонта оказала инокуляция семян льна

масличного фитостимифосом и проявилось это, в большей степени, на фоне внесения небольших доз фосфорных минеральных удобрений (P<sub>30</sub>).

Урожайность льна масличного в исследованиях зависела от гидротермических условий возделывания, обеспеченности почвы доступными элементами питания, вносимых минеральных удобрений и физиологически активных веществ. При определении эффективности регуляторов роста растений, бактериальных инокулянтов большое значение имеет оценка показателей урожайности и качества получаемой продукции.

Исследования показали, что оптимальной дозой минеральных удобрений для льна масличного сорта Брестский является N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>, обеспечившая получение в среднем за три года 16,0 ц/га семян при их масличности 49,6 % (табл. 3). Брассиностероиды достоверно повышали урожайность основной продукции. Так, при внесении эпина на фоне полного минерального питания семенная продуктивность составила 15,7–16,7 ц/га. Использование для регуляции роста и развития растений гомобрассинолида урожайность семян повысилась до 17,2 ц/га. При этом содержание жира в семенах льна изменялось в пределах 49,8–50,1 %. Максимальная урожайность льносемян получена при внесении брассиностероидов в два приема: с семенами (инкрустирование) и обработке посевов в фазу «елочки» баковой смесью росторегуляторов и гербицидов на фоне полного минерального питания в дозе N<sub>45</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>. Эффект, полученный от брассиностероидов, можно приравнять к действию 30 кг/га минерального азота. Выход жира зависел от урожайности и масличности льносемян и был самым высоким (8,62 ц/га) при внесении под лен на фоне N<sub>45</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> гомобрассинолида в 2 приема.

Таблица 3

**Урожайность и качество семян льна масличного в зависимости от вносимых минеральных удобрений, регуляторов роста растений и бактериальных инокулянтов**

Вариант	Урожайность семян, ц/га				Масличность, %				Выход жира, ц/га			
	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Ø	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Ø	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Ø
Контроль (без удобрений)	9,5	10,2	7,8	9,2	46,5	47,3	46,3	46,7	4,42	4,82	3,61	4,28
P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	11,8	13,2	10,4	11,8	48,0	49,2	48,1	48,4	5,66	6,49	5,00	5,72
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	13,5	17,7	12,1	14,4	49,3	49,4	48,5	49,0	6,65	8,74	5,87	7,09
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	13,8	18,4	12,7	15,0	49,4	50,0	48,9	49,4	6,82	9,20	6,21	7,41
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	15,2	19,6	13,2	16,0	49,4	50,4	49,2	49,6	7,51	9,88	6,49	7,96
N <sub>75</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	14,3	18,9	13,6	15,6	49,6	50,3	49,2	49,7	7,09	9,51	6,69	7,76
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> + эпин с семенами	14,1	19	14,1	15,7	49,4	50,9	49,0	49,8	6,96	9,67	6,91	7,85
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> + эпин + гербицид в начале фазы «елочки»	14,4	18,9	14,8	16,0	49,1	50,4	49,4	49,6	7,07	9,52	7,31	8,20

Вариант	Урожайность семян, ц/га				Масличность, %				Выход жира, ц/га			
	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Ø	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Ø	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Ø
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> + эпин с семенами + эпин + гербицид (начало фазы «елочки»)	14,8	19	16,2	16,7	49,4	50,3	49,5	49,7	7,31	9,56	8,02	8,30
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> + гомобраССИНОЛИД с семенами	14,3	18,4	14,4	15,7	49,8	50,1	49,1	49,7	7,12	9,22	7,07	7,80
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> + гомобраССИНОЛИД + гербицид (начало фазы «елочки»)	14,7	18,9	15,1	16,2	49,5	50,6	49,4	49,8	7,28	9,56	7,46	8,10
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> + гомобраССИНОЛИД с семенами + гомобраССИНОЛИД + гербицид (начало фазы «елочки»)	15,4	19,8	16,5	17,2	49,9	50,9	49,6	50,1	7,68	10,01	8,18	8,62
Контроль + ризобактерин	12,1	13,7	12,0	12,6	46,9	47,6	46,6	47,0	5,67	6,52	5,59	5,93
Контроль + фитостимофос	11,7	12,8	11,4	12,0	46,7	47,3	46,3	46,8	5,46	6,05	5,28	5,61
Контроль + ризобактерин + фитостимофос	12,5	13,8	12,8	13,0	48,8	49,6	48,4	48,9	6,10	6,84	6,20	6,36
Контроль + биолинум	13,2	14,5	13,6	13,8	49	49,8	48,9	49,2	6,47	7,22	6,65	6,79
P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> + ризобактерин	14,2	15,0	14,3	14,5	49,1	49,8	49	49,3	6,97	7,47	7,01	7,15
N <sub>45</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>	13,7	15,0	13,7	14,1	49,5	49,9	49,2	49,5	6,78	7,49	6,74	6,98
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> + ризобактерин	15,8	17,1	16,2	16,4	50	50,7	49,8	50,2	7,90	8,67	8,07	8,23
N <sub>45</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> + фитостимофос	14,2	17,3	16,0	15,8	50,1	50,8	49,8	50,2	7,11	8,79	7,97	7,94
N <sub>45</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> + ризобактерин + фитостимофос	16,2	18,8	17,1	17,4	50,1	50,9	49,9	50,3	8,12	9,57	8,53	8,75
N <sub>45</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> + биолинум	16,4	19,1	17,3	17,6	50,9	51,2	50,3	50,8	8,35	9,78	8,70	8,94
HCP <sub>05</sub>	0,39	0,41	0,36		0,91	0,62	0,80					

В опытах урожайность семян льна определялась уровнем применения минеральных удобрений и бактериальных инокулянтов. Действие ризобактерина было эквивалентно 15–30 кг/га минерального азота, а эффективность фитостимофоса

обеспечила прибавки семян льна масличного равные влиянию 30 кг/га  $P_2O_5$ . Наибольшая урожайность семян была получена при совместном применении минеральных удобрений под лен, обработанный diaзотрофными и фосфатмобилизующими инокулянтами (ризобактерин + фитостимифос и биоплинум) и составила 17,4–17,6 ц/га.

Основное запасное вещество семени льна масличного – жир. Колебание его количества очень широкое, что зависит от сортовых особенностей и условий произрастания. В наших исследованиях в среднем за 3 года содержание жира в семени льна изменялось в пределах 46,7–50,8 %. Лучшие показатели масличности семян обеспечило выращивание льна на фоне совместного использования минеральных удобрений и бактериальных инокулянтов. Важным показателем является не только относительное содержание запасных веществ, но и их выход в расчете на единицу площади (га). Так, при практически одинаковом относительном содержании жира в семенах льна, общий его сбор оказался выше при использовании diaзотрофных, фосфатмобилизующих микроорганизмов и минеральных удобрений в дозе  $N_{45}P_{30}K_{90}$  и составил 8,75–8,94 ц/га в среднем за годы исследований. Самый высокий выход жира с гектара отмечен при использовании на льне масличном бинарного микробного препарата биоплинум на фоне полного минерального питания.

В среднем за три года исследований урожайность льносоломы составила 30,2–42,3 ц/га. Средний номер тресты на лучших вариантах опыта по годам 0,75–1,00. Наиболее эффективными условиями питания, обеспечившими получение более высоких показателей побочной продукции, оказались совместное применение минеральных удобрений с brassinosterоидами, вносимыми с семенами (инкрустирование), и при обработке посевов в фазу «елочки» (табл. 4).

Таблица 4

**Влияние минеральных удобрений, регуляторов роста растений и бактериальных инокулянтов на урожайность и качество побочной продукции льна масличного**

Вариант	Урожайность соломы, ц/га				Средний номер льнотресты		
	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Ø	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Контроль (без удобрений)	31,2	34,2	29,5	31,6	0,5	0,5	0,5
$P_{60}K_{90}$	34,0	37,8	32,7	34,8	0,5	0,5	0,5
$N_{30}P_{60}K_{90}$	36,0	41,8	34,4	37,4	0,5	0,75	0,5
$N_{45}P_{60}K_{90}$	38,2	40,6	34,7	37,8	0,5	0,75	0,5
$N_{60}P_{60}K_{90}$	42,6	42,6	35,2	40,1	0,75	0,75	0,5
$N_{75}P_{90}K_{120}$	41,3	42,7	35,9	40,0	0,75	0,75	0,5
$N_{45}P_{60}K_{90}$ + эпин с семенами	41,4	41,6	39,6	40,9	0,75	0,75	0,5
$N_{45}P_{60}K_{90}$ + эпин + гербицид в начале фазы «елочки»	39,5	43,2	38,4	40,4	0,5	1,0	0,5
$N_{45}P_{60}K_{90}$ + эпин с семенами + эпин + гербицид (начало фазы «елочки»)	39,0	48,2	38,0	41,7	0,5	1,0	0,5

Вариант	Урожайность соломы, ц/га				Средний номер льнотресты		
	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Ø	2008 г.	2009 г.	2010 г.
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> + гомобрассинолид с семенами	40,7	41,0	39,2	40,3	0,75	0,75	0,5
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> + гомобрассинолид + гербицид (начало фазы «елочки»)	41,3	44,0	39,5	41,6	0,75	1,0	0,75
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> + гомобрассинолид с семенами + гомобрассинолид + гербицид (начало фазы «елочки»)	42,9	43,0	40,9	42,3	1,0	1,0	0,75
Контроль + ризобактерин	34,4	34,6	22,0	30,3	0,50	0,75	0,50
Контроль + фитостимифос	33,8	34,0	22,7	30,2	0,50	0,75	0,50
Контроль + ризобактерин + фитостимифос	34,9	35,1	25,7	31,9	0,75	0,75	0,50
Контроль + биолиnum	37,7	37,9	26,6	34,1	0,75	0,75	0,50
P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> + ризобактерин	39,4	39,9	30,3	36,5	0,75	0,75	0,50
N <sub>45</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>	38,2	38,5	27,2	34,6	0,50	0,75	0,50
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> + ризобактерин	42,5	42,9	30,6	38,7	0,75	0,75	0,75
N <sub>45</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> + фитостимифос	39,4	39,6	34,1	37,7	0,75	0,75	0,75
N <sub>45</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> + ризобактерин + фитостимифос	43,2	43,4	34,1	40,2	1,00	1,00	0,75
N <sub>45</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> + биолиnum	43,9	43,9	38,7	42,2	1,00	1,00	0,75
НСР <sub>05</sub>	1,38	2,22	1,83				

Подтверждена совместимость эпина и гомобрассинолида в баковых смесях с гербицидами агритокс (0,6 л/га) + хармони (10 г/га).

Урожайность соломы в зависимости от изучаемых бактериальных инокулянтов изменялась в таких же закономерностях как и семян. А ее номерность в годы исследований (0,75–1,00 на лучших вариантах опыта) указывает на то, что солома льна масличного пригодна для использования на технические цели.

## ВЫВОДЫ

В полевых исследованиях, проведенных на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве северо-восточной части Республики Беларусь, установлена возможность возделывания льна масличного сорта Брестский для двухстороннего использования: на семена и солому, пригодную для технических целей.

Наиболее оптимальной дозой минерального питания для данного сорта оказалась N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>, обеспечившая в среднем за годы исследований 16,0 ц/га семян при их масличности 49,6 %, а также 40,1 ц/га льносоломы средним номером 0,67 ед.

Наиболее эффективным оказалось использование brassinosteroidов (эпина и гомобрассинолида) в два приема: с семенами при их инкрустировании и опрыскивании посевов в фазу «елочки» на фоне полного минерального удобрения в дозе N<sub>45</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>. При этом, урожайность семян составила 16,7–17,2 ц/га с со-

держанием в них масла – 49,7–50,1 %; урожайность соломы – 41,7–42,3 ц/га при среднем номере 0,5 и 0,75 ед.

Установлено, что применение ризобактерина и фитостимифоса позволяет снизить дозы минерального азота на 15 кг/га, дозы  $P_2O_5$  – на 30 кг/га и более без снижения урожайных и качественных показателей льнопродукции. Отмечена высокая эффективность инокуляции семян льна бинарным микробным препаратом биолиnum на фоне полного минерального питания ( $N_{45}P_{30}K_{90}$ ). При таком уровне питания в опытах получено в среднем за три года 17,6 ц/га семян с содержанием в них жира 50,8 % и 42,2 ц/га и средним номером 0,92.

Самый высокий выход жира с гектара отмечен при использовании на льне масляным микробного препарата биолиnum на фоне полного минерального питания, что составило в среднем за три года 8,94 га.

Подтверждена совместимость эпина и гомобрассинолида в баковых смесях с гербицидами агритокс (0,6 л/га) + хармони (10 г/га).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Welch, R. W.* A micro-method for the estimation of oil content and composition in seed crops // J.Sci. Food Agr. – 1977. – Vol. 28, № 4. – P. 635–638.
2. *Суховицкая, Л. А.* Ризобияльные и фосфатмобилизующие инокулянты: выживаемость и курентоспособность в почвах двухкомпонентных агрофитоценозов / Л. А. Суховицкая, Г. М. Клышко // Современные проблемы использования почв. ресурсов и повышения их производит. способности: материалы Междунар. науч.-произ. конф. / Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки, 1997. – С. 184–185.
3. *Стеблинин, А. Н.* Продовольственное значение семян льна / А. Н. Стеблинин, В. П. Козлов // Аграр. наука. – 2001. – № 12. – С. 10–12.
4. *Богук, А. М.* Технология производства льна-долгунца в Беларуси / А. М. Богук, Д. Моррисон. – Жодино: БелНИИЗК, 1995. – 6 с.
5. *Михайловская, Н. А.* Диазотрофная бактериализация как перспективный биотехнологический прием при возделывании ячменя / Н. А. Михайловская, Н. Д. Волкова // Экологические приемы повышения урожайности сельскохозяйственных культур: материалы Междунар. конф. – Харьков, 1999. – С. 351–352.
6. *Чайлахян, Л. А.* Регуляторы роста в жизни растений и в практике сельского хозяйства / Л. А. Чайлахян // Вестник АН СССР. – 1982. – № 1. – С. 11–26.
7. *Брассиностероиды* / В. А. Хрипач [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1993. – С. 287.
8. Перспективы практического применения брассиностероидов – нового класса фитогормонов / В. А. Хрипач [и др.] // С.-х. биология. – 1995. – № 1. – С. 3.
9. *Умаров, М. М.* Ассоциативная азотфиксация / М. М. Умаров. – М.: Наука, 1986. – 131 с.
10. Применение диазотрофных и фосфатмобилизующих бактериальных препаратов при возделывании основных сельскохозяйственных культур: рекомендации / сост. Т. Ф. Персикова [и др.] – Горки: БГСХА, 2003. – 28 с.
11. *Смеян, Н. И.* Пригодность почв БССР под основные сельскохозяйственные культуры / Н. И. Смеян. – Минск: Ураджай, 1980. – 174 с.

12. Справочник льновода / Н. Г. Коренский [и др.]; под ред. А. М. Старовойтова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Ураджай, 1987. – 240 с.

13. Семененко, Н. Н. Азот в земледелии Беларуси / Н. Н. Семененко, Н. В. Невмержицкий; под ред. Н. Н. Семененко. – Минск: Ураджай, 1997. – 193 с.

14. Практикум по агрохимии / сост. И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша, С. П. Кукреша. – Минск: Ураджай, 1998. – 269 с.

15. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1973. – 336 с.

16. Суховицкая, Л. А. Функциональные свойства бактериальных компонентов нового микробного препарата Биолину под культуру льна-долгунца / Л. А. Суховицкая, С. В. Мохова, Н. В. Мельникова // Проблемы и пути повышения эффективности растениеводства в Беларуси: Тезисы Юбилейной междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию образ. Института земледелия, 29 июня 2007 г., г. Жодино / РУП «Научно-практ. центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – С. 270–272.

## **INFLUENCE OF COMPLEX APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS, REGULATORS OF HEIGHT AND BIOLOGICS ON THE PRODUCTIVITY AND QUALITY OF FLAX OILY ON SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL**

**Y. S. Korneikova, I. R. Vildflush**

### **Summary**

The article presents the results of studies for an average of three years with oilseed flax of the Brestsky variety, conducted in the north-eastern part of Belarus on sod-podzolic light loamy soil. In field experiments, the influence of the integrated use of mineral fertilizers, plant growth regulators and biological products on the yield and quality of flax products was studied.

The most effective was the use of brassinosteroids (epin and homobrassinolide) in two doses: with seeds during their encrustation and spraying of crops in the «herringbone» phase against the background of a full mineral fertilizer at a dose of  $N_{45}P_{60}K_{90}$ . At the same time, the yield of seeds was 16,7–17,2 c/ha with an oil content of 49,7–50,1%; the yield of straw was 41,7–42,3 c/ha with an average number of 0,5–1,0 units. The high efficiency of flax seed inoculation with binary microbial preparation Biolinum against the background of complete mineral nutrition ( $N_{45}P_{30}K_{90}$ ) was noted. At this level of nutrition in the experiments, an average of 17,6 c/ha of seeds with a fat content of 50,8 % and 42,2 c/ha of straw with an average number of 0,75–1,00 units were obtained over three years.

*Поступила 22.11.21*

## ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС, УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КОРНЕЙ И КОРНЕВИЩ ВАЛЕРИАНЫ ЛЕКАРСТВЕННОЙ

С. А. Тарасенко <sup>1</sup>, О. М. Ануфрик <sup>2</sup>

<sup>1</sup>УО «Гродненский государственный аграрный университет»  
г. Гродно, Беларусь

<sup>2</sup>РУП «Гродненский зональный институт растениеводства НАН Беларуси»  
г. Щучин, Беларусь

### ВВЕДЕНИЕ

Развитие лекарственного растениеводства является важнейшей задачей агропромышленного комплекса Республики Беларусь. Несмотря на большие достижения в химическом синтезе лекарственных препаратов, широкое распространение приобретает фитотерапия – научно-обоснованное лечение лекарственными травами, применяемыми в медицинской практике. В республике из общего количества лекарственных средств, принятых фармакопеей, около 40 % составляют препараты растительного происхождения [1].

Актуальность данного направления обуславливается тем, что значительное количество лекарственного растительного сырья завозится в республику из-за рубежа, несмотря на то, что природно-климатические условия нашей страны вполне приемлемы для возделывания многих лекарственных растений. Валериана лекарственная (*Valeriana officinalis* L.) является одним из важнейших растений, корни и корневища которой широко используются в научной и народной медицине, а общие потребности в данном виде сырья обеспечиваются всего на 75 % за счет собственного производства [2]. Закупочная цена на корни и корневища валерианы лекарственной достаточно высокая и составляет 5–6 долларов США за один килограмм [3].

Важнейшим направлением обеспечения потребности Республики Беларусь в данном виде лекарственного сырья является возделывание валерианы в культуре, что позволяет повысить продуктивность и качество сырья этого растения и сохранить биологическое разнообразие данного вида в естественных биоценозах. Возделывание валерианы лекарственной в культуре приводит к необходимости проведения исследований по изучению особенностей продукционного процесса этого растения и возможности его активизации путем применения органических и минеральных удобрений.

Основным продукционным процессом для сельскохозяйственных культур, в том числе и валерианы, является процесс фотосинтеза, в световой фазе которого энергия кванта света на тилакоидах гран хлоропластов превращается в макроэргическое соединение АТФ и формирует восстановительный фермент НАДФН + H<sup>+</sup>. В темновой фазе фотосинтеза в матриксе хлоропластов из углекислого газа, воды, АТФ и НАДФН + H<sup>+</sup> происходит биосинтез органического вещества [4].

Активность фотосинтетического процесса определяется основными параметрами растений – ассимиляционной поверхностью, накоплением биомассы, содержанием основных фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) и другими [5]. В литературе отмечается тесная связь физиологических показателей с величиной урожайности сельскохозяйственных культур [6]. Вносимые элементы питания в виде удобрений позволяют сформировать необходимые физиологические показатели растений в течение вегетации, что в конечном итоге обеспечивает интенсивный синтез органического вещества, высокую урожайность и качество сельскохозяйственной продукции [7]. Для анализа эффективности органических и минеральных удобрений в отношении конечного результата их применения необходимо иметь полную картину продукционного процесса растений в течение вегетации, динамику фотосинтетических параметров и их связь с темпами образования органического вещества

Таким образом, целью данных исследований являлось установление влияния различных норм органических и минеральных удобрений на изменение основных параметров продукционного процесса растений валерианы лекарственной в течение вегетации, а в конечном итоге – на урожайность и качество корней и корневищ.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2016–2018 гг. на опытном поле УО «Гродненский государственный аграрный университет». Почва опытного участка – дерново-подзолистая, развивающаяся на песчанистой связной супеси, подстилаемая с глубины 0,5 м мореным суглинком. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы в годы исследований: гумус – 1,6–1,8 %;  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  – 6,2–6,4; содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 165–182,  $\text{K}_2\text{O}$  – 150–164 мг/кг почвы.

Схема опыта предусматривала изучение двух фонов органических удобрений: I – 30, II – 60 т/га навоза КРС), на которых исследовались возрастающие уровни минеральных удобрений: 1 – (нулевой), 2 –  $\text{N}_{30}\text{P}_{20}\text{K}_{40}$  (низкий), 3 –  $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{80}$  (средний), 4 –  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$  (повышенный), 5 –  $\text{N}_{120}\text{P}_{80}\text{K}_{160}$  (высокий). Всего 10 вариантов. Они были размещены в 3-кратной повторности. Общая площадь делянки 42 м<sup>2</sup> (2,8×15), учетная – 14 м<sup>2</sup> (1,4×10). Размещение делянок рендомизированное. В исследованиях использовался сорт Кардиола, применялась рассадная однолетняя технология возделывания валерианы лекарственной, позволяющая получить корни и корневища в течение одного года вегетации в отличие от традиционной двухлетней технологии выращивания [8].

Первый этап заключался в посеве семян в почву и получении рассады в закрытом грунте. Перед посевом семена прошли необходимую предпосевную обработку (замачивание и протравливание). Глубина заделки семян составила 0,5 см. Норма высева – 1 г/м<sup>2</sup>. С одного метра квадратного было получено 1,5 тыс. штук кондиционной рассады.

Второй этап включал в себя посадку рассады в открытый грунт. Осенью под зяблевую вспашку было произведено внесение органических удобрений в виде навоза крупного рогатого скота на солоmistой подстилке фоном в дозе 30 и 60 т/га. Минеральные удобрения (мочевина, аммофос и хлористый калий) вносили весной по делянкам вручную, вразброс.

На опытном поле УО «ГГАУ» в 3 декаде апреля в нарезанные гребни вручную выполнена посадка рассады: 3 растения на погонный метр с шириной междурядий 70 см. Схема посадки 70×30 см. Норма посадки 43 тыс. растений на 1 гектар.

В течение вегетации растений валерианы лекарственной в фазы 5–6 настоящих листьев, 10–12 настоящих листьев и в фазу прикорневой розетки проводился отбор растительных образцов (5 растений по диагонали деланки) и их анализ на физиологические показатели: сухая биомасса (весовой метод), листовая поверхность (компьютерная программа Лист), содержание в листьях хлорофилла a, b и каротина (спектрофотометрический метод). Уборка корней и корневищ проводилась в первой декаде октября ручным способом по деланкам с применением картофелекопателя. В корнях и корневищах определяли зольность (сжиганием в муфельной печи), содержание экстрактивных веществ (извлечением 70 % спиртом), содержание нитратов (ионометрическим методом).

Метеорологические условия вегетационного периода валерианы лекарственной в годы проведения исследований отличались между собой по температурным показателям и условиям увлажнения. Принимая во внимание, что валериана лекарственная является влаголюбивой культурой, наиболее благоприятные условия для ее роста и развития складывались в 2016 и 2017 гг. при близком к оптимальному и несколько избыточном увлажнении. Гидротермический коэффициент в эти годы составлял 1,28–1,65, что позволило представить результаты продукционного процесса, урожайности и качества корней и корневищ как среднее из двух лет исследований.

Вегетационный период 2018 года характеризовался неблагоприятными условиями для возделывания валерианы лекарственной по сравнению с предыдущими годами, что было связано с неравномерным выпадением осадков, наличием засушливого периода и превышением среднемесячных температур над среднеголетними данными на 2,0–4,2 °С (гидротермический коэффициент 1,07). Эти особенности определили отдельное обсуждение результатов исследований в 2018 году.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Формирование урожайности и качественных показателей сельскохозяйственных культур обуславливаются темпами развития основного продукционного процесса – фотосинтеза, активность которого определяется физиологическими параметрами растений, значительная роль в создании которых принадлежит органическим и минеральным удобрениям. Особый интерес представляют данные по изменению этих показателей в течение вегетации растений для возможности создания модели высоко продукционного процесса на отдельных этапах роста и развития этой культуры.

В исследованиях установлено, что физиологические параметры растений валерианы лекарственной определялись уровнем минерального питания и условиями вегетационного периода (табл. 1).

При благоприятных условиях вегетационного периода минеральные и органические удобрения формировали значительную биологическую массу растений валерианы лекарственной, что в конечном итоге обеспечило получение высокой

урожайности корней и корневищ. Положительное действие навоза в большей степени проявлялось на более поздних этапах роста и развития: фаза 10–12 настоящих листьев и фаза прикорневой розетки. Повышение дозы с 30 до 60 т/га в первом случае увеличивало общую биологическую массу растений валерианы на 0,3 во втором – на 13,3 ц/га, в то время как в фазу 5–6 настоящих листьев – всего на 0,1 ц/га. Органические удобрения являются удобрениями длительного срока действия, и их влияние требует продолжительного периода времени и достаточных условий увлажнения, так как в 2018 г. (недостаток влаги) эти прибавки соответственно составили всего 0,1, 3,3 и 0,2 ц/га.

Таблица 1

**Влияние удобрений на накопление биомассы и развитие ассимиляционной поверхности**

Вариант	5–6 листьев		10–12 листьев		Прикорневая розетка	
	1*	2	1	2	1	2
Нормальные условия увлажнения, 2016–2017 гг. (среднее)						
Фон I – 30 т/га навоза	4,1	0,3	24,1	1,1	53,2	3,5
Фон I + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>40</sub>	4,1	0,3	25,1	1,3	64,0	3,7
Фон I + N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	4,5	0,4	25,7	1,4	66,6	3,9
Фон I + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	4,3	0,4	26,3	1,6	68,1	4,2
Фон I + N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>160</sub>	4,6	0,5	26,4	1,8	69,0	4,6
Фон II – 60 т/га навоза	4,2	0,4	24,4	1,3	66,5	3,8
Фон II + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>40</sub>	4,2	0,4	25,2	1,5	79,3	4,1
Фон II + N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	4,3	0,4	26,2	1,6	80,5	4,6
Фон II + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	4,8	0,5	27,4	1,9	87,6	4,9
Фон II + N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>160</sub>	4,8	0,6	28,9	2,2	89,4	5,2
Недостаток влаги, 2018 г.						
Фон I – 30 т/га навоза	3,2	0,1	13,5	0,5	44,5	1,7
Фон I + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>40</sub>	3,2	0,1	13,8	0,5	44,7	1,8
Фон I + N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	3,3	0,2	15,5	0,7	47,0	2,0
Фон I + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	3,3	0,2	15,6	0,7	48,6	2,1
Фон I + N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>160</sub>	3,3	0,2	15,7	0,9	48,7	2,1
Фон II – 60 т/га навоза	3,4	0,2	13,6	0,6	47,8	2,2
Фон II + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>40</sub>	3,5	0,2	16,2	0,8	48,1	2,4
Фон II + N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	3,6	0,3	16,7	1,1	53,9	2,7
Фон II + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	3,8	0,3	17,1	1,2	54,2	2,9
Фон II + N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>160</sub>	3,9	0,4	18,0	1,5	58,3	3,2

\* 1 – сухая биомасса растений, ц/га; 2 – индекс листовой поверхности (ИЛП).

Аналогичная закономерность в действии органических удобрений получена и в отношении ассимиляционной поверхности растений валерианы лекарственной. Индекс листовой поверхности (ИЛП) увеличивался в фазу 10–12 настоящих листьев на 0,2, в прикорневую розетку – на 0,3 единицы, в то время как в фазу 5–6 настоящих листьев – всего на 0,1 единицы (нормальные условия увлажнения).

Следует отметить, что ИЛП менее единицы (фаза 5–6 настоящих листьев) свидетельствует о том, что поверхность почвы не полностью закрывается листьями растений, поглощение квантов света в этот период крайне незначительно и процесс фотосинтеза имеет низкую эффективность.

Решающая роль в образовании биологической массы растений валерианы лекарственной и роста ИЛП принадлежит минеральным удобрениям. Повышение дозы удобрений с  $N_{30}P_{20}K_{40}$  до  $N_{120}P_{80}K_{160}$  на фоне 30 т/га навоза приводило к увеличению биомассы по фазам роста и развития на 0,5, 1,3 и 5,0 ц/га, на фоне 60 т/га – на 0,6, 3,7 и 10,1 ц/га. Индекс листовой поверхности увеличивался на фоне 30 т/га на 0,2, 0,5 и 0,9, на фоне 60 т/га – на 0,2, 0,7 и 0,9 единиц. Таким образом, наиболее благоприятные физиологические показатели (биомасса и ИЛП) в условиях нормального увлажнения получены на варианте с дозой навоза 60 т/га и высоком уровне минеральных удобрений  $N_{120}P_{80}K_{160}$ .

Отмеченные выше закономерности в действиях минеральных удобрений были зарегистрированы и в условиях недостатка влаги в 2018 году, однако абсолютные показатели физиологических параметров были ниже, чем в 2016–2017 гг. Накопление биомассы по вариантам опыта и по отдельным фазам снижалось в 1,20–1,82 раза, индекс листовой поверхности уменьшался в 1,33–3,00 раза. Снижение накопления биомассы отмечались в фазу 5–6 настоящих листьев на 19–39 %, индекса листовой поверхности – на 33–200 %, в то время как в фазу 10–12 настоящих листьев уменьшение составило 56–82 и 45–160 %, в фазу прикорневой розетки – 20–65 и 70–119 % соответственно. Таким образом, полученные данные позволяют предположить, что наибольшее негативное воздействие недостатка влаги на листовую аппарат растений валерианы лекарственной в онтогенезе проявляется на начальных этапах роста и развития растений – в фазу 5–6 настоящих листьев. В более поздние этапы растения адаптируются к таким условиям и могут отчасти восстановить потери ассимиляционной поверхности растений.

Значительным элементом продукционного процесса сельскохозяйственных растений является содержание и состав в листьях фотосинтетических пигментов, которые обеспечивают поглощение квантов света в световой фазе фотосинтеза. В исследованиях установлено изменение концентрации хлорофиллов а, b и каротина под действием органических и минеральных удобрений в наиболее продуктивную фазу вегетации – прикорневую розетку листьев.

Хлорофиллы а и b отличаются химическим составом и спектром поглощения света. По внешнему виду хлорофилл а имеет сине-зеленую окраску, хлорофилл b – светло-зеленую. Они отличаются спектрами поглощения. У первого максимум поглощения отмечается при длине волны 420 и 660 нм, у второго – при 435 и 643 нм, у каротина – при 425, 450 и 480 нм. Такой состав пигментов позволяет листьям растений наиболее полно поглощать кванты света и обеспечивать высокую интенсивность фотосинтеза.

При нормальных условиях увлажнения пигментный состав листьев валерианы лекарственной по всем вариантам опыта представлен преимущественно хлорофиллом а, на долю которого приходится от 53,2 до 59,4 % от содержания всех пигментов (табл. 2). На втором месте каротин – 21,5–26,9 %, на третьем хлорофилл b – 17,2–21,3 %. В условиях недостатка влаги общая закономерность в распределении пигментов сохранялась, однако структура менялась в пользу

увеличения содержания каротина (34,6–36,9 %) при снижении доли хлорофилла а (44,2–52,8) и хлорофилла b (12,7–19,0 %).

Неблагоприятные внешние условия в меньшей степени проявляются на более простых биологических структурах, которым является пигмент каротин  $C_{40}H_{56}$  состоящий из восьми остатков спирта изопрена. В большей степени недостаток влаги влияет на содержание хлорофилла а ( $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ ) и хлорофилла b ( $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ ), которые имеют сложную биологическую структуру и представлены эфирами хлорофиллиновой кислоты и спиртами – фитолом и метанолом.

Таблица 2

**Влияние уровня минерального питания на изменение пигментного состава листьев растений валерианы лекарственной (фаза прикорневой розетки листьев), % на сухую массу**

Вариант	2016–2017 гг. (среднее)				2018 г.			
	1*	2	3	4	1	2	3	4
Фон I – 30 т/га навоза	0,91	0,34	1,25	0,46	0,72	0,29	1,10	0,59
Фон I + $N_{30}P_{20}K_{40}$	1,07	0,31	1,38	0,42	0,85	0,24	1,09	0,59
Фон I + $N_{60}P_{40}K_{80}$	1,08	0,36	1,44	0,45	0,85	0,28	1,13	0,57
Фон I + $N_{90}P_{60}K_{120}$	1,11	0,37	1,48	0,44	0,91	0,22	1,13	0,60
Фон I + $N_{120}P_{80}K_{160}$	1,12	0,40	1,52	0,45	0,87	0,25	1,12	0,60
Фон II – 60 т/га навоза	0,95	0,32	1,26	0,44	0,72	0,31	1,03	0,60
Фон II + $N_{30}P_{20}K_{40}$	1,09	0,35	1,44	0,44	0,89	0,24	1,13	0,63
Фон II + $N_{60}P_{40}K_{80}$	1,12	0,37	1,49	0,43	0,94	0,22	1,16	0,62
Фон II + $N_{90}P_{60}K_{120}$	1,17	0,44	1,61	0,46	0,87	0,32	1,19	0,63
Фон II + $N_{120}P_{80}K_{160}$	1,27	0,41	1,68	0,46	0,94	0,25	1,19	0,65

\* 1 – хлорофилл а; 2 – хлорофилл b; 3 – сумма хлорофиллов; 4 – каротин.

Удобрения оказали определенное влияние на содержание фотосинтетических пигментов в листьях валерианы лекарственной, причем менее существенное действие получено при органических удобрениях. При нормальных условиях увлажнения повышение дозы навоза с 30 до 60 т/га приводило к росту содержания хлорофилла а на 0,04 процентных пунктов (ПП). Количество хлорофилла b снижалось на 0,02 ПП, каротина – снижалось на 0,02 ПП. При недостатке влаги концентрация хлорофилла b увеличилась на 0,02, каротина – на 0,01 ПП.

Гораздо более существенное влияние на пигментный состав оказали минеральные удобрения. При нормальных условиях увлажнения повышение уровня минеральных удобрений с  $N_{30}P_{20}K_{40}$  до  $N_{120}P_{80}K_{160}$  на фоне 30 т/га навоза приводило к росту концентрации хлорофилла а на 0,05, хлорофилла b – на 0,09, каротина – на 0,03 ПП, на фоне 60 т/га – соответственно на 0,18, 0,06, 0,02 ПП. При недостатке влаги действие минеральных удобрений было слабее. На фоне 30 т/га навоза прирост концентрации пигментов составил 0,02, 0,01 и 0,01 ПП, на фоне 60 т/га – 0,05, 0,01, 0,02 ПП соответственно. Таким образом, наиболее благоприятный пигментный состав листьев растений валерианы лекарственной в условиях нормального увлажнения получен на варианте с дозой навоза 60 т/га и высоким уровнем минеральных удобрений  $N_{120}P_{80}K_{160}$ .

Интенсивность образования органического вещества при формировании урожайности, обусловленная ростом продукционных параметров растений валерианы лекарственной под действием органических и минеральных удобрений, связана с отдельными показателями фотосинтетического процесса (табл. 3). Тесная корреляционная связь урожайности корней и корневищ валерианы лекарственной отмечена на более поздних этапах роста и развития (розетка листьев) при нормальных условиях увлажнения с показателями индекса листовой поверхности и с количеством биомассы. Наименее тесная – с общим содержанием хлорофилла и каротина в листьях растений.

Таблица 3

**Коэффициент корреляции между физиологическими параметрами растений валерианы лекарственной и урожайностью корней и корневищ**

Показатель	2016–2017 гг. (среднее)			2018 г.		
	5–7	10–12	розетка	5–7	10–12	розетка
Индекс листовой поверхности	0,92	0,96	0,96	0,70	0,76	0,58
Хлорофилл а + b	0,79	0,84	0,85	0,63	0,72	0,74
Каротин	0,66	0,81	0,82	0,26	0,38	0,38
Биомасса	0,88	0,90	0,84	0,52	0,76	0,70
Хлорофилловый индекс	0,96	0,94	0,98	0,87	0,84	0,82

Определенные перспективы в диагностике продукционного процесса принадлежат показателю хлорофиллового индекса, который представляет общее количество хлорофилла в растительной биомассе сельскохозяйственных растений, что является важнейшим параметром темпов образования органического вещества и формирования урожайности культур. Размерность хлорофиллового индекса (килограмм хлорофилла на гектар) особенно удобна для анализа, так как она соответствует размерности основных элементов минерального питания при обсуждении доз внесения, выноса, потребления и т. п., что обеспечивает однотипность подходов при исследовании закономерностей корневого и воздушного питания растений. Для целей практического использования величины хлорофиллового индекса в системе интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур необходимо, чтобы этот показатель имел тесную корреляционную связь с величиной продуктивности сельскохозяйственных растений, что в конечном итоге определяет величину урожайности. Ранее проведенные исследования [9] показали, что наиболее сильная корреляционная связь этого показателя с продуктивностью растений имеется на поздних этапах роста и развития валерианы лекарственной в августе. Это утверждение нашло подтверждение и в результатах данных исследований. Максимальная тесная связь урожайности корней и корневищ установлена с величиной хлорофиллового индекса на отдельных этапах роста и развития как при нормальных условиях увлажнения, так и при недостатке влаги ( $r = 0,94–0,98$  и  $0,82–0,87$ ) соответственно.

Оптимальные фотосинтетические показатели продукционного процесса, сформировавшиеся под влиянием органических и минеральных удобрений, в конечном итоге и определили величину урожайности корней и корневищ валерианы лекарственной (табл. 4) и их качество (табл. 5).

**Урожайность корней и корневищ валерианы лекарственной  
под действием удобрений**

Вариант	2016-2017 гг. (среднее)				2018 г.			
	1*	2	3	4	1	2	3	4
Фон I – 30 т/га навоза	33,4	–	–	–	26,4	–	–	–
Фон I + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>40</sub>	34,8	1,4	4,2	1,56	27,9	1,5	5,7	1,67
Фон I + N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	40,9	7,5	22,5	4,17	32,9	6,5	24,6	3,61
Фон I + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	48,5	15,1	45,2	5,59	35,2	8,8	33,3	3,26
Фон I + N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>160</sub>	54,2	20,8	62,3	5,78	38,6	12,2	46,2	3,39
Фон II – 60 т/га навоза	43	–	–	–	26,7	–	–	–
Фон II + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>40</sub>	44,2	1,2	2,8	1,33	27,3	0,6	2,2	0,67
Фон II + N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	49,1	6,1	14,2	3,39	33,4	6,7	25,1	3,72
Фон II + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	59,1	16,1	37,4	5,96	36,6	9,9	37,1	3,67
Фон II + N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>160</sub>	61,6	18,6	43,3	5,17	38,8	12,1	45,3	3,36
НСП <sub>05</sub>	2016 – 2,5 ц/га, 2017 – 2,9 ц/га				2,2 ц/га			

\* 1 – урожайность корней и корневищ, ц/га; 2 – прибавка к фону, ц/га; 3 – прибавка к фону, %; 4 – окупаемость 1 кг NPK, кг корней и корневищ.

Повышение дозы органических удобрений с 30 до 60 т/га увеличивало урожайность корней и корневищ на 9,6 при нормальных условиях увлажнения и всего на 0,3 ц/га при недостатке влаги, что тесно соотносится с физиологическими параметрами растений в эти годы. Наиболее высокую эффективность обеспечили минеральные удобрения при нормальных условиях увлажнения. На фоне 30 т/га навоза прибавка корней и корневищ составила 1,4–20,8 ц/га (4,2–62,3 %), на фоне 60 т/га – соответственно 1,2–18,6 ц/га и 2,8–43,3 %. В засушливых условиях эффективность минеральных удобрений была ниже. На первом фоне навоза прибавка 1,5–12,2 ц/га и 5,7–46,2 %, на втором – 0,6–12,1 ц/га и 2,2–45,3 % соответственно. Максимальный эффект от удобрений, независимо от условий увлажнения, был получен при дозе навоза 60 т/га и высоком уровне минеральных удобрений N<sub>120</sub>P<sub>80</sub>K<sub>160</sub>.

Эффективность применения минеральных удобрений определяется окупаемостью одного килограмма NPK полученной продукции. Этот показатель был максимальным при нормальных условиях увлажнения и на фоне 60 т/га навоза – 1,33–5,96, то время как в 2018 г. (недостаток влаги) – всего 0,67–3,72 кг корней и корневищ на 1 кг NPK. Наибольшая окупаемость была получена при повышенном (N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>120</sub>) и высоком (N<sub>120</sub>P<sub>80</sub>K<sub>160</sub>) уровне минеральных удобрений независимо от дозы навоза.

Одним из важнейших параметров качества лекарственного растительного сырья является его экстрактивность, стандартный показатель которого для корней и корневищ валерианы лекарственной по требованиям фармакопеи должен составлять не менее 25 % [10]. Под экстрактивными веществами понимают массу сухого остатка после упаривания вытяжки из лекарственного растительного сырья, полученной с помощью конкретного растворителя. Определение экстрактивных веществ в сырье проводят в тех случаях, когда на организм человека действует комплекс биологически активных соединений, как и в случае с валерианой лекарственной, а не отдельное химическое вещество.

## Качество корней и корневищ валерианы лекарственной

Вариант	2016–2017 гг. (среднее)			2018 г.		
	1*	2	3	1	2	3
Фон I – 30 т/га навоза	30,2	7,9	47,2	32,5	8,9	59,4
Фон I + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>40</sub>	31,4	8,4	49,1	32,7	9,3	65,2
Фон I + N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	32,9	8,5	52,2	33,6	9,7	67,6
Фон I + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	33,3	8,8	53,8	35,2	9,9	69,3
Фон I + N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>160</sub>	34,0	9,2	55,0	36,4	10,4	70,2
Фон II – 60 т/га навоза	30,3	8,6	47,9	32,3	8,8	60,1
Фон II + N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>40</sub>	32,6	9,2	52,7	32,6	9,5	65,0
Фон II + N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	33,9	10,4	55,4	33,8	10,0	67,4
Фон II + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	34,2	11,6	55,9	35,5	10,0	68,4
Фон II + N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>160</sub>	34,6	12,0	63,1	36,1	10,3	70,0

\* 1 – экстрактивность, %; 2 – зольность, %; 3 – содержание нитратов, мг/кг.

В исследованиях установлено, что повышение активности продукционного процесса валерианы лекарственной за счет применения органических и минеральных удобрений увеличивало экстрактивность растительного сырья. В целом этот показатель превышал стандартный в 1,21–1,46 раза. Наиболее эффективными были минеральные удобрения, увеличение уровня которых с низкого N<sub>30</sub>P<sub>20</sub>K<sub>40</sub> до высокого N<sub>120</sub>P<sub>80</sub>K<sub>160</sub> приводило к повышению экстрактивности на 2,0–2,6 процентных пунктов (ПП) на фоне навоза при благоприятных условиях и на 3,5–3,7 ПП при недостатке влаги. Увеличение доз органических удобрений практически не повлияло на экстрактивность лекарственного растительного сырья.

Лекарственное растительное сырье содержит также и минеральные элементы, определенное количество которых является показателем качества продукции. Содержание общей золы не должно превышать 13 % (измельченное сырье) [10]. Таким образом, зольность характеризует накопление всех элементов минерального питания, исключая органогены (С, О, Н, N), которые при сжигании улетучиваются. Наиболее значимое влияние на зольность оказало повышение уровня минеральных удобрений. Прирост этого показателя составил 0,8–2,8 ПП в среднем за 2016–2017 гг. и 3,5–3,7 ПП в 2018 г. В условиях засухи и аридного климата концентрация зольных элементов увеличивается. В целом повышении зольности лекарственного растительного сырья следует признать негативным моментом, однако ни по одному варианту исследования этот показатель не превысил предельно допустимых значений.

Формирование качества растительного сырья тесно связано с азотным обменом в растениях, в том числе и с превращениями нитратного азота. Избыточное содержание нитрат-ионов, поступающих с пищей, в тканях человеческого организма под воздействием ферментов превращается в ионы нитрита, отравляющие организм и нарушающие тканевой газообмен (метгемоглобинемия). Кроме того, нитриты могут реагировать с аминами с образованием нитрозоаминов, которые обладают канцерогенными и мутагенными свойствами.

Содержание нитратов в растениеводческой продукции служит показателем качества при ее реализации на основании применяемых в Республике Беларусь предельно допустимых количеств этих соединений. Однако содержание нитратов в лекарственном растительном сырье не нормируется, поэтому доброкачественность сырья по этому показателю может быть оценена косвенно. Принимая во внимание, что предельная норма потребления нитратов организмом человека в сутки составляет около 200 мг [11] и фактическое содержание нитратов в корнях и корневищах валерианы (таблица 5), видим, что для превышения предельных количеств нитратов общее потребление лекарственного растительного сырья валерианы лекарственной в течение суток должно достигать около 3 кг, что является абсолютно нереальным.

Таким образом, можно говорить о безопасном уровне содержания нитратов в корнях и корневищах валерианы лекарственной в опытах, несмотря на отсутствие ПДК. Тем не менее, в исследованиях установлено, что активизация продукционного процесса растений валерианы, связанная с увеличением норм минеральных и органических удобрений, одновременно приводила к росту концентрации нитратной формы азота на 18–34 %.

## ВЫВОДЫ

Развитие продукционного процесса, формирование урожайности и качества корней и корневищ валерианы лекарственной обуславливаются фотосинтетическими параметрами растений, которые в свою очередь определяются уровнем применения органических, минеральных удобрений и особенностями вегетационного периода этой культуры. Наиболее благоприятные параметры для процесса фотосинтеза (биологическая масса, индекс листовой поверхности и содержание пигментов) создаются высоким уровнем питания (60 т/га навоза +  $N_{120}P_{80}K_{160}$ ) при нормальных условиях увлажнения и при недостатке влаги. Этот уровень обеспечивает максимальную по годам урожайность корней и корневищ в пределах 38,8–61,6 ц/га, рост экстрактивности сырья в 1,21–1,46 раза, повышение зольности и количества нитратов (негативный фактор) не выше предельных параметров фармакопеи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тарасенко, С. А.* Физиолого-биохимические основы высокой продуктивности лекарственных растений в агроценозах: монография / С. А. Тарасенко, С. В. Брилева, О. А. Белоус. – Гродно: ГГАУ, 2008. – 178 с.
2. Агробиологические особенности выращивания валерианы лекарственной в почвенно-климатических условиях Республики Беларусь: монография / Г. М. Милоста [и др.]. – Гродно: ГГАУ, 2015. – 236 с.
3. Валериана – корень с корневищем. [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://agroservers.ru/b/valeriana-koren-s-kornevishhem-990547.htm>. – Дата доступа 25.10.2021.
4. *Новиков, Н. Н.* Биохимия растений: учебник / Н. Н. Новиков. – М.: ЛЕОНАД, 2019. – 680 с.
5. *Ламан, Н. А.* Физиологические аспекты теории высоких урожаев сельскохозяйственных культур / Н. А. Ламан, В. Н. Прохоров // IV Съезд о-ва физиологов

растений России. Междунар. конф. «Физиология растений – наука III тысячелетия», Москва, 4–9 окт. 1999 г.: тез. докл. / Ин-т физиологии растений им. К. А. Тимирязева. – М., 1999. – Т. 1. – С. 268.

6. Ламан, Н. А. Концепция биологического потенциала в исследованиях продукционного процесса растений / Н. А. Ламан // Регуляция роста, развития и продуктивности растений: материалы II междунар. науч. конф., г. Минск, 5–8 дек. 2001 г. / Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича. – Минск, 2001. – С. 3–7.

7. Семененко, Н. Н. Инновационные технологии применения азотных удобрений: теория, методология, практика / Н. Н. Семененко; Национальная академия наук Беларуси; Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию. – Минск: Альфа-книга, 2020. – 319 с.

8. Брилева, С. В. Влияние органических, минеральных удобрений и стимуляторов роста на урожайность и качество валерианы лекарственной: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / С. В. Брилева; Учреждение образования «Гродн. гос. аграр. ун-т». – Гродно, 2006. – 145 с.

9. Тарасенко, С. А. Физиолого-агрохимические особенности высокоинтенсивного продукционного процесса сельскохозяйственных культур в западном регионе Беларуси: монография / С. А. Тарасенко. – Гродно: ГГАУ, 2013. – 274 с.

10. Растения для нас: справ. изд. / К. Ф. Блинова [и др.]; под ред. Г. П. Яковлева, К. Ф. Блиновой. – Спб.: Учеб. кн., 1996. – 653 с.

11. Тиво, П. Ф. Нитраты: слухи и реальность / П. Ф. Тиво, Л. А. Саскевич. – Минск: Ураджай, 1990. – 150 с.

## THE INFLUENCE OF FERTILIZERS ON THE PRODUCTION PROCESS, YIELD AND QUALITY OF THE ROOTS AND RHIZOMES OF VALERIAN (VALERIANA OFFICINALIS)

S. A. Tarasenko, O. M. Anufric

### Summary

The most effective level of application of organic and mineral fertilizers (60 t/he of manure +  $N_{120}P_{80}K_{160}$ ) ensures the formation of optimal indicators of the production process of valerian plants (biological mass, leaf surface area, chlorophyll content) causes the formation of the maximum yield of roots and rhizomes within 38,8–61,6 c/he, the increase in the extractivity of raw materials in 1,21–1,46 times more than the standard, the increase in ash content and the amount of nitrates does not exceed the maximum permissible parameters.

Поступила 09.12.2021

## **100 ЛЕТ НА СТРАЖЕ ПЛОДородИЯ** (к юбилею кафедры агрохимии УО БГСХА)

**В. Б. Воробьев, И. Р. Вильдфлуш**

*УО Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,  
г. Горки, Беларусь*

Кафедра агрохимии была создана в 1921 г. в Горецком сельскохозяйственном институте (с 1925 г. – Белорусская сельскохозяйственная академия).

Первым заведующим кафедрой стал известный ученый, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, впоследствии академик АН БССР и ВАСХНИЛ О. К. Кедров-Зихман (1885–1964). Он заведовал кафедрой до 1931 г. Под его руководством защищено 40 кандидатских и 6 докторских диссертаций. Исследования, проведенные в эти годы, позволили сформулировать ряд важнейших положений известкования. Они получили мировую известность и до сих пор являются теоретической основой химической мелиорации почв. Важное место среди этих исследований занимало изучение роли магния в известковых удобрениях, выполненное О. К. Кедровым-Зихманом и его учениками Р. Т. Вильдфлушем, И. Х. Ризовым в Белорусской сельскохозяйственной академии совместно с В. И. Шемпелем и З. П. Гончаровой в Институте агропочвоведения и удобрений Белорусской академии наук. Ими доказано, что высокое содержание магния в известковых удобрениях является полезным для ряда сельскохозяйственных культур. Это обусловило постройку крупнейшего предприятия по производству доломитовой муки (Витебское ОАО «Доломит») на базе месторождения «Руба». В то же время во все учебники по агрохимии вошли положения об отрицательном влиянии известкования на картофель, лен и люпин, а так же о том, что известкование доломитовой мукой способствует повышению содержания магния до значений, снижающих урожай и других культур.

В 1931–1933 гг. кафедрой агрохимии заведовал профессор Ф. И. Метельский, а в 1933–1941 гг. – профессор П. А. Курчатov. В эти годы изучались приемы повышения эффективности удобрений под картофель и зерновые культуры, возможности применения сапропелей.

В послевоенный период (1945–1972) кафедрой заведовал заслуженный деятель науки БССР, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Р. Т. Вильдфлуш (1906–1972).

Роберт Тенисович Вильдфлуш внес большой вклад в создание и развитие факультета агрохимии и почвоведения БСХА (в настоящее время агроэкологический факультет), будучи в 1934–1941 гг. его деканом.

С 1 января 1945 г. по 1 апреля 1948 г. был проректором БСХА по учебной работе. В эти послевоенные годы он принимал активное участие в восстановлении академии, оборудовании учебных и научно-исследовательских лабораторий, подборе и расстановке кадров. В 1967–1971 гг. избирался депутатом Верховного Совета БССР.

Р. Т. Вильдфлуш является создателем научной школы в области питания растений и изучения рациональных способов внесения минеральных удобрений под

сельскохозяйственные культуры. Под его руководством защищено 13 кандидатских диссертаций и 1 докторская.

Под его руководством до 1960 г. главное внимание было уделено исследованию влияния условий питания на обмен веществ в растениях и качество урожая сельскохозяйственных культур. В докторской диссертации Р. Т. Вильдфлуша «Биохимические основы питания растений и применение удобрений» была обоснована необходимость и особенность применения удобрений под отдельные сельскохозяйственные культуры, возделываемые в Белоруссии. В известной мере она послужила предпосылкой для развития дальнейших исследований при разработке различных вариантов системы удобрения в севооборотах, основы которых были заложены в трудах Д. Н. Прянишникова.

В эти же годы было детально изучено действие рядкового удобрения на урожай различных сельскохозяйственных культур, в результате производству были даны соответствующие рекомендации (Р. Т. Вильдфлуш, А. А. Каликинский, А. М. Брагин). Рекомендации были весьма своевременными, так как промышленность начала поставлять сельскому хозяйству комбинированные сеялки.

Проведение дальнейших исследований обусловило необходимость закладки длительных полевых опытов в различных севооборотах. Исследования развернулись под совместным руководством Р. Т. Вильдфлуша и ректора БСХА В. И. Шемпель с учетом результатов опытов, заложенных на экспериментальной базе Института социалистического хозяйства АН БССР «Устье».

Особое место в истории развития кафедры агрохимии занимает Шемпель Виктор Иванович (1908–1975) – заслуженный деятель науки БССР, академик АН БССР. В 1949–1952 гг. В. И. Шемпель был ректором Белорусской сельскохозяйственной академии. Несмотря на большую научно-организационную работу в должности ректора, В. И. Шемпель совместно с Р. Т. Вильдфлушем проводил эффективные исследования по системе и технике внесения удобрений в травопольных севооборотах. В 1950 г. В. И. Шемпель избран академиком АН БССР. Его работа в должности ректора академии продолжалась до 1952 г., когда Виктор Иванович был назначен директором научно-исследовательского института социалистического сельского хозяйства АН БССР.

Своими научными трудами он внес значительный вклад в развитие агрохимической науки, особенно по вопросам разработки эффективных систем применения удобрений на дерново-подзолистых почвах, калийного питания растений, известкования почв. Под его руководством защищено 9 кандидатских диссертаций.

Начало изучению систем удобрения положил длительный опыт на опытном поле «Иваново», где кафедра в 1949 г. ввела пятипольный севооборот с включением льна-долгунца и клевера. По инициативе Р. Т. Вильдфлуша в 1950 г. А. М. Брагиным был заложен длительный опыт по схеме Д. Н. Прянишникова.

Должность доцента в 1957–1962 гг. А. М. Брагин совмещал с должностью проректора по научной работе. В этот период он принял активное участие в открытии второго опытного поля БГСХА «Тушково», на котором первыми были заложены его длительные опыты в двух севооборотах. Под руководством Анатолия Михайловича Брагина выполнено 6 кандидатских диссертаций.

В итоге впервые для дерново-подзолистых легкосуглинистых почв Беларуси были определены нормативы затрат удобрений для урожайности зерновых на уровне 40–50 ц/га и соответствующих урожаев других сельскохозяйственных культур.

тур при бездефицитном балансе гумуса и повышении степени окультуренности почвы на основе изменений агрохимических и агрофизических свойств почвы. Эти нормативы были использованы при разработке республиканских рекомендаций, которые применяются и сейчас.

Дальнейшим стимулом для проведения научных исследований явилось членство кафедры агрохимии (с 1960 г.) в Географической сети опытов с удобрениями ВИАУ, по заданию которой на опытном поле «Тушково» проводилось ежегодно по 5–6 опытов с разными культурами и сортами.

С 1962 г. впервые в Беларуси под руководством Р. Т. Вильдфлуша развернулись фундаментальные исследования по разработке физиологических основ и практических аспектов локального и периодического способов внесения основного минерального удобрения под различные сельскохозяйственные культуры. Под руководством Р. Т. Вильдфлуша исследовалась эффективность локального внесения на картофеле (Б. А. Калько), кукурузе (В. Т. Косарева), озимой ржи и ячмене (Е. Г. Солдатенков), люпине (Э. М. Томсон), льне-долгунце (М. С. Коробова), сахарной и кормовой свекле (Е. Г. Сиротин), овсе (А. Н. Минич). Результаты исследований показали, что при локальном способе внесения удобрений по сравнению с разбросным дозы минеральных удобрений можно снизить на 25–30 % и увеличить урожайность зерновых на 2,5–4,0 ц/га, картофеля – на 30–50, зеленой массы кукурузы – 40–45, кормовой свеклы – на 25–30, сахарной – на 30–50 ц/га. Было установлено, что при ленточном способе внесения удобрения не перемешиваются с почвой и создаются очаги повышенной концентрации элементов питания. При локальном способе коэффициенты использования азота по сравнению с разбросным способом возрастают на 15 %, фосфора – 5–10 и калия – 10–12 %.

В послевоенные годы исследования по применению удобрений были обобщены и подготовлены ряд справочников. Так, Р. Т. Вильдфлушем, А. М. Брагиным, А. А. Каликинским в 1953 г. был издан «Даведнік па ўгнаеннях для калгасаў БССР», а в 1955 г. «Краткий справочник по удобрениям для БССР» (2-е изд. – 1955 г., 3-е изд. – 1960 г.). В 1960 г. Р. Т. Вильдфлушем, А. М. Брагиным, А. И. Горбылевой и Г. Я. Коробовой издан «Справочник по минеральным удобрениям», Р. Т. Вильдфлушем и А. И. Горбылевой – «Справочник по известкованию кислых почв» (1-е изд. – 1964 г., 2-е изд. – 1972 г.). В 1969 г. преподавателями кафедры агрохимии БСХА и сотрудниками Института земледелия и кормов был подготовлен «Справочник по удобрениям», вышедший под редакцией академика В. И. Шемплея и заслуженного деятеля науки БССР, профессора Р. Т. Вильдфлуша.

По инициативе Р. Т. Вильдфлуша в 1964 г. в БСХА открыли проблемную лабораторию с отделом питания растений при кафедре агрохимии. Отдел питания возглавил Р. Т. Вильдфлуш, в дальнейшем руководителями были А. А. Каликинский, А. И. Горбылева, В. А. Ионас. В 1958 г. при кафедре была создана радиоизотопная лаборатория, которой на общественных началах до 1964 г. руководила А. И. Горбылева.

В проблемной лаборатории в отделе питания растений, которая работала с 1964 по 1991 г., в разные годы работали старшими научными сотрудниками В. М. Куруленко, В. М. Комовская, И. М. Кириенко, Г. И. Мангутва, С. Н. Титова, З. Д. Анфимова, В. А. Петровская, А. Власова, Н. М. Горелько, С. Ф. Шекунова, В. М. Курилюк, С. В. Каминская, Л. С. Двойнишникова, М. Н. Тверезовская, А. Ф. Косьяненко, Н. Кривицкая, В. Н. Помазкова, Н. Сидоренко, Т. П. Ковалькова,

В. Рудая, И. Климовцова, В. М. Кувшинов, П. А. Новиков, И. Разуванов, А. В. Белоусов, В. Марыскина, Н. Маркова, Л. Жуйко, Т. Кадаманова, Н. А. Бубенцова, Т. Н. Редкозубова; старшими лаборантами: Н. К. Голуб, Н. М. Красненкова, В. Т. Ляшкевич, Л. И. Напреенко, Т. А. Старикова, Т. Минина. Активное участие в исследованиях проблемной лаборатории принимали профессора А. И. Горбылева, И. Р. Вильфлуш, Т. Ф. Персикова, С. П. Кукреш.

С 1955 по 1980 гг. на кафедре работала Анна Ивановна Горбылева – доктор сельскохозяйственных наук, профессор. Диссертацию на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук она защитила в 1979 г., а с 1981 г. перешла на кафедру почвоведения, где работала профессором, заведующей кафедрой.

Результаты краткосрочных опытов обусловили закладку в 1967 г. двух длительных опытов, на которые, как и на ранее заложенные А. М. Брагиным опыты, были получены паспорта методической комиссии Министерства сельского хозяйства СССР. В этих опытах под руководством А. И. Горбылевой для Беларуси в течение 25 лет изучалась сравнительная эффективность ленточного внесения НРК-удобрений под все культуры двух пятипольных севооборотов и периодического (запасного) внесения РК-удобрений с ежегодным разбросным внесением. Под ее научным руководством защищено 17 кандидатских диссертаций.

В 1973–1990 гг. кафедрой заведовал Заслуженный работник высшей школы БССР, доктор сельскохозяйственных наук, профессор А. А. Каликинский. С 1955 по 1962 гг. работал деканом агрономического факультета, а с 1962 по 1965 гг. – проректором по учебной работе, с 1966 по 1971 гг. – деканом факультета агрохимии и почвоведения, с 1973 по 1991 гг. – заведующим кафедрой агрохимии, с 1991 по 1993 гг. – профессором этой кафедры.

В 1978 г. А. А. Каликинский защитил докторскую диссертацию «Пути повышения эффективности применения минеральных удобрений под зерновые культуры (на примере Белорусской ССР)», а в 1979 г. ему было присвоено звание профессора. Он является автором и соавтором более 100 научных и методических работ, в том числе справочника по удобрениям в 3-х изданиях и учебника для сельскохозяйственных вузов «Агрохимия», также в 3-х изданиях, имеет 3 авторских свидетельства на изобретения. Под его руководством защищено 23 кандидатские диссертации.

Под руководством А. А. Каликинского на поле «Тушково» эффективность локального способа изучалась в 2 севооборотах, заложенных на почвах, отличающихся по уровню плодородия. Самая высокая прибавка урожая от локализации удобрений была получена на почвах с низким уровнем плодородия, самая низкая – на высоком. Одновременно продолжались краткосрочные опыты (2–3-летние) по изучению эффективности способов внесения НРК-удобрений под кукурузу (Л. А. Веремейчик), картофель (В. В. Малашенок), различные сорта ячменя (К. А. Найденова), озимую пшеницу (Т. Е. и Е. В. Комаровы), лен-долгунец (С. Ф. Ходяноква), клевер (Т. Ф. Персикова и С. Н. Янчик), яровую пшеницу (С. Ф. Реуцкая), озимую рожь (О. Н. Макасева и О. В. Поддубная), яровой рапс (С. Д. Курганская). Особенности влияния на растения и почву запасного внесения РК-удобрений были обобщены в докторской диссертации А. И. Горбылевой (1979).

Преподаватели кафедры агрохимии БСХА изучали применения удобрений на сенокосах (Г. Я. Коробова, Е. В. Стрелкова, С. М. Камасин), ТМАУ (В. А. Ионас),

внесения осадка сточных вод (Н. П. Решецкий), соломы (В. Б. Барейша), новых форм удобрений в севооборотах (С. Ф. Шекунова, С. П. Кукреш), микроудобрений под бобовые культуры (Р. Р. Вильдфлуш) и хелатной формы микроудобрений (И. В. Ковалева).

В 1991–1996 гг. кафедрой заведовал доцент В. А. Ионас. Под руководством доктора с.-х. наук, профессора Р. Т. Вильдфлуша он выполнил и в 1963 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Эффективность торфо-минерально-аммиачных удобрений (ТМАУ) на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах». В 1964 г. ему была присуждена ученая степень кандидата сельскохозяйственных наук, а в 1967 г. – присвоено ученое звание доцента по кафедре агрохимии. Виктор Августович выполнял большую научно-организационную работу. С 1963 по 1972 гг. работал заместителем декана заочного отделения агрономического факультета БСХА, а с 1972 по 1987 гг. деканом факультета агрохимии и почвоведения.

За создание комплекса учебной литературы по агрохимии указом Президента Республики Беларусь ему в соавторстве присуждена Государственная премия Республики Беларусь в области науки и техники. Он – соавтор учебника «Агрохимия» (1995, 2001, 2013) и учебного пособия «Система удобрения сельскохозяйственных культур» (1998).

С 1996 по 2020 гг. кафедру возглавлял доктор сельскохозяйственных наук, профессор Игорь Робертович Вильдфлуш. Результаты исследований фосфатного режима дерново-подзолистых почв и приемов эффективного использования минеральных удобрений явились основой докторской диссертации, которую он защитил в 1995 г. на тему: «Формы фосфатов в дерново-подзолистых почвах Республики Беларусь и способы рационального использования минеральных удобрений».

Им создана научная школа по проблемам оптимизации фосфатного режима дерново-подзолистых почв, исследованию эффективности новых форм удобрений, бактериальных диазотрофных и фосфатмобилизирующих биопрепаратов, регуляторов роста растений, разработке энергосберегающей технологии комплексного применения удобрений и средств защиты растений при возделывании сельскохозяйственных культур. Под его руководством и консультировании выполнено 13 диссертаций, в том 2 докторских.

По результатам исследований опубликовано более 470 научных и научно-методических работ, в том числе 41 книга, 3 учебника «Агрохимия», 23 учебных пособий, 8 монографий, «Справочник агрохимика», 23 рекомендации производству, а также ряда научно-популярных книг («Агрохимия в вопросах и ответах» и др.), 155 научных статей в научных журналах СССР, Беларуси и ряда зарубежных стран, получен патент на изобретение.

В 2000 г. избран академиком Белорусской инженерной академии, а в 2009 г. – академиком Международной академии аграрного образования (Россия).

За цикл учебников и учебных пособий (8 работ) по агрохимическим дисциплинам для студентов вузов и учащихся средних специальных учебных заведений аграрного профиля в соавторстве в 2003 г. удостоен Государственной премии Республики Беларусь. В 2006 г. в соавторстве за цикл научных работ «Пути повышения эффективности минеральных удобрений и качества растениеводческой продукции» присуждена премия Национальной академии наук Беларуси. Награж-

ден медалью Франциска Скорины и медалью За трудовые заслуги. За значительный вклад в науку и образование имя Вильдфлуша – в 2016 г. занесено в книгу Славы Могилевщины.

С 1986 по 2012 гг. на кафедре агрохимии работала Т. Ф. Персикова, доктор с.-х. наук, профессор. В 2003 г. она защитила докторскую диссертацию «Научные основы эффективного использования биологического азота в условиях дерново-подзолистых легкосуглинистых почв Беларуси». С 1999 по 2012 гг. была деканом агроэкологического факультета. Под ее руководством защищено 7 кандидатских диссертаций.

С 1981 по 2011 гг. на кафедре агрохимии работал доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Лауреат Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники, академик МАО С. П. Кукреш. Им опубликовано 267 научных работ, из них 46 – за рубежом. Разработаны и изданы в соавторстве с другими учеными 5 монографий, 14 учебников и учебных пособий, 9 научных рекомендаций. Являлся ведущим специалистом в области агрохимии. Основное направление его научных исследований – «Разработка ресурсосберегающих научно обоснованных технологий возделывания льна-долгунца и льна масличного». Под руководством С. П. Кукреша защищены 3 кандидатских диссертации. Им проведены исследования и разработан комплекс агрохимических приемов, способствующих повышению урожайности и качества льнопродукции, основанных на выявлении наиболее эффективных форм, доз и способов внесения и соотношения минеральных удобрений, медленнодействующих азотных и комплексных удобрений с добавками биологически активных веществ гуминовой природы и микроэлементов для 12 новых районированных сортов льна-долгунца различной степени скороспелости на дерново-подзолистых почвах разного уровня кислотности.

В 2003 г. за цикл работ «Создание комплекса учебной литературы по агрохимии для высших и средних специальных учебных заведений» С. П. Кукрешу в соавторстве присуждена Государственная премия Республики Беларусь в области науки и техники.

С 1 января 2020 г. на должность заведующего кафедрой агрохимии назначен доктор сельскохозяйственных наук, доцент Вадим Борисович Воробьев. С 1987 по 1991 гг. он работал ассистентом кафедры почвоведения, затем старшим преподавателем. В 1992 г. был избран на должность доцента кафедры почвоведения. С 1993 по 1998 гг. работал заместителем декана агрономического факультета. В сентябре 1998 г. избран на должность заведующего кафедрой почвоведения, на которой проработал до 2011 г. В этот период при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований руководил научно-исследовательскими темами:

- Изменение группового и химического состава органоминеральных коллоидов и гумусового состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при ее сельскохозяйственном использовании;
- Изменение группового и химического состава органоминеральных коллоидов и гумусового состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы под влиянием водной эрозии.

В рамках государственных программ фундаментальных исследований «Природные ресурсы и ландшафты» (2001–2005 гг.) и «Земледелие и механизация» (2006–2010 гг.) в соответствии с темами научно-исследовательских работ Минис-

терства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь руководил исследованиями по темам:

– Изучение закономерностей в изменениях качественного состава органоминеральных коллоидов при окультуривании дерново-подзолистых легкосуглинистых почв;

– Оценка биологического состояния дерново-подзолистых почв при длительном применении удобрений в целях нормирования антропогенной нагрузки, раздел «Изучить закономерности изменения гумусового состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при различных системах удобрения на фоне минимальной обработки».

Результаты исследований послужили основой докторской диссертации на тему: «Трансформация гумусового состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы под влиянием антропогенной нагрузки», которая, после окончания докторантуры в 2019 г. была защищена в г. Минске в РУП «Институт почвоведения и агрохимии». С декабря 2018 г. В. Б. Воробьев работал доцентом кафедры сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии, с 1 октября 2019 г. – профессором этой же кафедры. Им создана научная почвоведческая школа, занимающаяся проблемами оптимизации гумусового состояния дерново-подзолистых почв, а так же сравнительной оценкой роли различных гумусовых веществ в формировании почвенного плодородия, выявлением закономерностей изменения качественного состава гумуса, его приходной и расходной статей под влиянием основных агротехнических приемов. Под руководством В. Б. Воробьева защищено 4 диссертационные работы на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук.

Результаты исследований опубликованы в монографиях, научных статьях в журналах и сборниках научных трудов, а также при написании учебных пособий, учебных программ, рекомендаций производству.

Им опубликовано 144 научных и учебно-методических работ, в том числе более 100 научных статей, 2 монографии, 4 учебных пособия с грифом Министерства образования.

В настоящее время на кафедре агрохимии преподаются дисциплины: агрохимия, система применения удобрений, методы агрохимических исследований, методы агрохимического обследования почв, экологическая агрохимия и защита растений (для магистрантов). Выше названные дисциплины преподаются на агроэкологическом, агрономическом факультетах БГСХА, а также для слушателей курсов системы повышения квалификации и переподготовки кадров для агропромышленного комплекса. Кафедра имеет лаборатории агрохимического анализа растений, агрохимического анализа удобрений, агрохимического анализа почв и химического анализа растений, оснащенных современным оборудованием и приборами, в которых проводятся лабораторно-практические и практические занятия, компьютерный класс на 12 посадочных мест.

Для проведения научно-исследовательской работы аспирантами, магистрантами, студентами и преподавателями предназначена научно-исследовательская лаборатория питания растений и плодородия почв, входящая в состав учебно-научно-исследовательского института агроэкологии. Кафедра имеет опытное поле в Тушково на территории УНЦ «Опытные поля БГСХА», где проводят опыты аспиранты, магистранты, студенты и преподаватели.

Открыты филиалы кафедры в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» и учебно-опытном хозяйстве Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.

В РУП «Институт почвоведения и агрохимии» проводится учебная и производственная практика студентов агроэкологического факультета, проходят стажировку преподаватели. С этим институтом кафедра наладила тесное научное сотрудничество.

В учхозе БГСХА проводится учебная практика студентов агроэкологического и агрономического факультетов, а также занятия в производственных условиях. В учхозе БГСХА проходят производственную проверку результаты научных исследований кафедры и их внедрение в производство.

Научно-исследовательская работа на кафедре ведется по направлениям изыскания рациональных способов внесения удобрений, изучению новых форм минеральных, органических, микроудобрений, бактериальных препаратов, регуляторов роста, позволяющих снизить энергозатраты, связанные с применением удобрений, уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду и получать экологически чистую растениеводческую продукцию, исследованию эффективности комплексного применения средств химизации при возделывании озимых и яровых зерновых культур, люпина, гороха, кукурузы, картофеля, ярового рапса, горчицы белой, редьки масличной.

На протяжении ряда лет преподаватели кафедры являлись руководителями научно-технических программ или их разделов (по гранту Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь, государственных научно-технических программ «Агропромкомплекс», «Агропромкомплекс – возрождение села», «Земледелие и растениеводство», «Биорациональные пестициды», «Биопродуктивность», «Агропромкомплекс – устойчивое развитие», «Инновационные системы земледелия» и другие).

С 2001 г. на кафедре агрохимии было выполнено и защищено 24 кандидатских (К. А. Гурбан, А. С. Мастеров, М. Н. Каль, Д. Н. Прокопенков, О. И. Мишура, А. А. Цыганова, С. М. Мижуй, Э. М. Батыршаев, А. Г. Подоляк, А. В. Какшинцев, А. А. Ходянков, Н. Л. Почтовая, С. Д. Курганская, М. В. Царева, В. П. Дуктов, А. В. Шершнева, Е. А. Плевко, И. Полховская, О. В. Мурзова, Е. Л. Ионас, Н. В. Барбасов, Ю. В. Коготько) и три докторские диссертации (С. П. Кукреш, Т. Ф. Перскова, В. Б. Воробьев).

В 2006 г. И. Р. Вильдфлушу в соавторстве с В. В. Лапа и А. Р. Цыгановым за цикл научных работ «Пути повышения эффективности минеральных удобрений и качества растениеводческой продукции» была присуждена премия Национальной академии наук Беларуси.

Длительное время на кафедре работали доценты, кандидаты сельскохозяйственных наук Г. Я. Коробова (1945–1964), Э. М. Томсон (1946–1982), Р. Р. Вильдфлуш (1956–1986), С. М. Камасин (1969–2000), Н. К. Закревская (1974–2005), С. Ф. Кукреш-Ходянова (1987–2012), С. Ф. Шекунова (1986–2016), ассистент, кандидат сельскохозяйственных наук С. Ф. Реуцкая (1979–2003). Непродолжительное время работали также ассистенты Л. А. Макарова, Т. А. Коляда, Е. В. Стрелкова, А. А. Ходянков.

В разные годы на кафедре работали старшие лаборанты К. С. Клименков, Л. А. Кудрявцева, З. И. Решецкая, В. Н. Лагунова, заведующая учебной лабора-

торией Н. К. Голуб, лаборанты В. Т. Тетерский, А. Е. Латушкина, З. А. Авдеева, А. М. Капустина, Е. И. Максимова, Н. М. Таткина, И. В. Михалева, Т. А. Соловьева, Л. В. Жук.

В настоящее время на кафедре трудятся 7 преподавателей (В. Б. Воробьев, заведующий кафедрой, доктор сельскохозяйственных наук, доцент; И. Р. Вильдфлуш, доктор с.-х. наук, профессор; Э. М. Батыршаев, доцент, кандидат сельскохозяйственных наук; О. И. Мишура, доцент, кандидат сельскохозяйственных наук; Ю. В. Коготко, старший преподаватель; М. Л. Радкевич, старший преподаватель; Н. В. Барбасов, старший преподаватель, кандидат сельскохозяйственных наук) и 3 сотрудника обслуживающего персонала (К. А. Гурбан, заведующий лабораторией, кандидат сельскохозяйственных наук; С. В. Волкова, заведующая лабораторией; лаборант 1 категории А.Ф. Картавенко), занимаются наукой 4 аспиранта.

УДК 631.4

## **ВКЛАД АКАДЕМИКА НИКОЛАЯ ИВАНОВИЧА СМЕЯНА В РАЗВИТИЕ АГРОПОЧВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛАРУСИ**

*(к 90-летию со дня рождения)*

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

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

Почвенная наука нашей страны насчитывает не один десяток имен известных ученых, чьи глубокие теоретические разработки были поставлены на службу сельскохозяйственного производства. Однако особое место среди них занимает Николай Иванович Смян – заслуженный деятель науки Республики Беларусь, лауреат Государственной премии БССР, академик НАН Беларуси. 3 января 2022 г. исполняется *90 лет со дня рождения Николая Ивановича Смяна*.

Его научная, организационная, педагогическая и общественная деятельность получила широкую известность не только на Родине, но и далеко за ее пределами. Именно с именем Н. И. Смяна связан период становления, развития и укрепления агропочвенных исследований на территории республики, когда глубокие теоретические разработки были поставлены на службу сельского хозяйства Беларуси.

Первыми его учителями были замечательные ученые – П. П. Роговой, А. Г. Медведев, Н. П. Булгаков. После непродолжительного периода работы в Институте социалистического сельского хозяйства АН БССР переведен в Институт почвоведения АСХН БССР. Здесь Н. И. Смян прошел свой трудовой и научный путь от инженера-почвоведа до заместителя директора, от младшего научного сотрудника до академика НАН Беларуси, ведущего в стране почвовед-исследователя.

Для обеспечения рационального сельскохозяйственного использования почвенно-земельных ресурсов у нас в стране по решению правительства республики в 1957 г. были начаты работы по крупномасштабному почвенно-геоботаническому обследованию земель колхозов и совхозов. Выполнение этих работ было возложено на почвенные отряды, организованные при Белорусском научно-исследовательском институте почвоведения (ныне РУП «Институт почвоведения и агрохимии»), при всех областных сельскохозяйственных опытных станциях и некоторых учебных заведениях. В результате крупномасштабных почвенных исследований все сельскохозяйственные организации республики к 1964 г. получили материалы, содержащие полную характеристику почвенного покрова их территории (почвенные карты и очерки, агрохимические картограммы, картограммы агрогрупп и рационального использования земель). На основе материалов этих исследований впервые были составлены районные (1:50000), областные (1:200000) почвенные карты сельскохозяйственных земель республики.

Свою научную работу Н. И. Смяян начал с полевых исследований как участник I и II туров крупномасштабного картографирования почв сельскохозяйственных земель республики. Это направление исследований и составило основу всей его дальнейшей научной деятельности, совершенствуясь и расширяясь.

В период 1958–1969 г. Н. И. Смяян приобрел богатый опыт крупномасштабного полевого исследования и картографирования почв земель колхозов и госхозов БССР. Он принимал непосредственное участие в проведении обширных почвенно-картографических работ на территории Могилевской области и ряда других районов республики, составлении сводных районных и областных почвенных карт. Накопленные в это время знания и научный материал о развитии почв БССР, их свойствах и плодородии позволили ему подготовить и успешно защитить в 1969 г. кандидатскую диссертацию на тему «*Почвы Бельничского и Круглянского районов Могилевской области и пути их рационального использования*» [1].

В последующие десятилетия Н. И. Смяян продолжает начатые ранее работы по исследованию почвенных ресурсов республики, их рациональному использованию. Особое внимание при этом уделяется построению схем классификации почв, агрономической их оценке, разработке приемов повышения продуктивности почв сельскохозяйственных земель, методическим аспектам картографирования и оценки почв.

В 1973 г. впервые в республике по результатам совместных научных и полевых исследований сотрудников БелНИИ почвоведения и агрохимии при участии почвоведов почвенных отрядов «Белгипрозема» и областных (зональных) агрохимических и лабораторий под редакцией Н. И. Смяяна и И. Н. Соловья выходят «*Методические указания по почвенно-геоботаническим и агрохимическим крупномасштабным исследованиям в БССР*» [2], в которых представлен единый методический подход по вопросам картографирования почв колхозов, совхозов и лесхозов, выполнения лабораторных анализов, камеральной обработки почвенных материалов и передачи их производству.

К X Международному конгрессу почвоведов (г. Москва) в 1974 г. под редакцией члена-корреспондента АН БССР Т. Н. Кулаковской, академика АН БССР П. П. Рогового, кандидата сельскохозяйственных наук Н. И. Смяяна в Институте почвоведения и агрохимии подготовлена и издана монография «*Почвы Белорусской ССР*» [3]. Это была вторая монография о почвах республики, однако впервые

для условий Беларуси в ней был представлен итог исследований по изучению условий почвообразования, закономерностей географического распространения важнейших свойств, определяющих уровень плодородия сельскохозяйственных земель Беларуси и мероприятий его повышения. В этом издании Н. И. Смеян явился автором и соавтором многочисленных глав этого уникального научного издания. За цикл работ по изучению почв республики в 1976 г. ему в числе других сотрудников института присуждена Государственная премия БССР в области науки.

В период обобщения материалов первого тура крупномасштабных почвенных исследований появились и первые работы Н. И. Смеяна по важнейшему направлению агропочвоведения – классификации почв: «Основные принципы классификации и диагностики почв Белорусской ССР» (1972), «Бурые лесные почвы Белоруссии» (1973) и раздел «Классификация почв» в монографии 1974 г. «Почвы Белорусской ССР» [4–6], в которых на основании результатов исследований усовершенствуется существовавшая на то время классификация почв А. Г. Медведева, Н. П. Булгакова, Ю. И. Гавриленко (1960) [7]. Из группы дерново-карбонатных почв выведены бурые лесные почвы и включены в классификацию на уровне самостоятельного типа. В это же время в автоморфных почвах в районах лессовидных отложений выделены и вторичнооподзоленные почвы с двумя гумусовыми горизонтами, которые раньше Я. Н. Афанасьевым назывались «темноцветными», а А. Г. Медведевым – «дерновыми оподзоленными высококовскипающими». Основными соавторами Н. И. Смеяна были Т. А. Романова и И. Н. Соловей.

Уже в 1977 г. Николай Иванович Смеян являлся соорганизатором и активным участником важнейшего почвоведческого научного форума на территории Беларуси – V съезда Всесоюзного общества почвоведов. Обсуждение результатов научных исследований у почвенных разрезов позволило участникам съезда познакомиться с почвами республики, которые по своим свойствам во многом схожи с почвами Нечерноземья. Выбранный оргкомитетом маршрут 4-дневной экскурсии, охватывал основные почвенно-геоморфологические районы республики и заложенные на территории разрезы способствовали полному ознакомлению с природными условиями и уровнем сельскохозяйственного использования наиболее распространенных почв Белоруссии. Первый маршрут экскурсии был посвящен ознакомлению с почвами Минской возвышенности, развивающимися на лессовидных суглинках. Второй маршрут знакомил с почвами Центрально-Березинской равнины и Минской возвышенности. Третий маршрут посвящен знакомству с почвами Верхне-Березинской равнины на двучленных и мощных песках. Четвертый маршрут знакомил с почвами Поозерья. В многочисленных научных докладах ученых БССР, других республик и зарубежных исследователей отразилась важная идея – для правильного выбора и разработки путей повышения плодородия почв требуется их глубокое и всестороннее изучение, применение дифференцированной системы всех агротехнических приемов возделывания сельскохозяйственных культур тесным образом, связано с особенностями почв. Подчеркивалась особая роль и значение почвоведения в решении важнейших задач, стоящих перед сельским хозяйством [9].

В этом же году по результатам обобщения региональных исследований по географии и картографии почв республики Н. И. Смеян и И. Н. Соловей завершили создание *Почвенной карты Белорусской ССР* масштаба 1:600 000, которая и по

настоящее время является единственным изданным картографическим документом такого рода [10].

К 1980 г. Н. И. Смян обобщает накопленные исследования по географии, классификации и плодородию почв Беларуси сельскохозяйственных земель, подготавливает докторскую диссертацию на тему: «*Агропроизводственная группировка и районирование почв БССР в соответствии с их пригодностью под основные сельскохозяйственные культуры*» [11] и публикует монографию «*Пригодность почв БССР под основные сельскохозяйственные культуры*» [8]. В этих трудах была представлена новая схема генетической классификации почв Беларуси, которая до сих пор является действующей с рядом дополнений. В ней все почвы республики, в зависимости от их водного режима, разделены на три ряда: автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные. К автоморфным отнесены почвы, профиль которых не содержит цветовых признаков оглеения. Полугидроморфными считаются почвы, в профиле которых образуются глеевые пятна, а в нижней части – сплошные глеевые горизонты. Ряд гидроморфных составляют почвы, генетический профиль которых состоит из органических и глеевых горизонтов. По характеру выветривания минералов и превращению органических веществ указанные ряды почв разделены на пять классов (дерновые, подзолистые, подзолисто-глеевые, дерново-глеевые, органогенные). В классах выделено 11 типов. Здесь на уровне самостоятельного типа выделены дерново-подзолистые почвы, которые во всесоюзной классификации почв (1977) [12] занимали уровень подтипа в типе подзолистых. Дается обоснование такого выделения. Тип подзолистых почв формируется на хорошо дренированных водораздельных участках рельефа, сложенных бескарбонатными песчаными породами, под хвойными лесами с моховым и лишайниково-моховым наземным покровом, а тип дерново-подзолистых почв формируется в тех же условиях рельефа и климата, что и подзолистые, но преимущественно на связных бескарбонатных породах под листовенно-хвойными и хвойно-широколиственными лесами с мохово-травянистым или травянистым наземным покровом. Встречаются они и на сравнительно богатых по минералогическому составу супесях и песках. Диагностируются подзолистые почвы по отсутствию в профиле гумусового горизонта ( $A_1$ ). Оподзоливание начинается с самой поверхности, сразу под лесной подстилкой, в то время как в дерново-подзолистых почвах горизонт  $A_1$  выражен довольно отчетливо. Кроме различия в морфологическом строении этих двух типов приводится объяснение, основанное на различии почвообразующих пород и растительности и, как следствие, развитии и степени выраженности разных почвообразовательных процессов. Также в этой классификации из подзолистого типа исключен подтип освоенных подзолистых почв, а оставлен только подтип окультуренных.

В разработанной Н. И. Смяном классификационной схеме, как и в общесоюзной, выделение почв на подтиповом уровне основывается на изменении почвенного профиля, связанном с различной степенью проявления налагающихся процессов. Исходя из этого, среди целинных дерново-подзолистых почв Беларуси выделено два подтипа вместо трех, выделявшихся ранее в республиканской классификации по степени оподзоливания. Среди освоенных дерново-подзолистых почв также выделено два новых подтипа. Роды выделяются главным образом по генезису и характеру строения почвообразующих пород, а также степени прояв-

ления процессов преобразования почв в современных условиях. В классе полу-гидроморфных и гидроморфных почв выделение родов основывается на степени насыщенности профиля основаниями, его ожелезнении, гумусной иллювиальности. На видовом уровне почвы ранжировались по выраженности признаков, характеризующих основные элементарные процессы. При разделении почв на виды использованы критерии союзной классификации 1977 года [12]. Следует отметить, что в эту классификацию вошли также исследования, на основании которых было установлено, что наличие признаков кратковременного избыточного увлажнения в профиле подзолистых почв, не создающего, однако, ясных признаков его оглеения, не дает основания для отнесения таких почв к типу заболоченных, куда они входили согласно классификации 1960 г. Таким образом, из типов заболоченных почв были выведены оглеенные внизу и слабogleеватые подтипы и выделены на уровне подродов в почвах автоморфного ряда.

Важнейшей частью монографии стала новая общая агропроизводственная группировка почв, принципиально отличающаяся от предыдущей своей теоретической обоснованностью. В основу этой группировки положены генетические свойства почв, определяющие их нуждаемость в гидротехнической и химической мелиорациях, при использовании под пашню. На основании этого признака почвы республики объединены в 7 больших групп. Дальнейшее деление этих групп осуществлялось по идентичности мероприятий, необходимых для устранения свойств почв, отрицательно влияющих на продуктивность сельскохозяйственных культур. Эти признаки послужили основой для выделения 19 агропроизводственных групп почв. Для каждой группы были разработаны мероприятия по повышению их плодородия. Здесь же выявлены количественные зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от свойств почв, отражающих их различия от типового уровня до разновидности; осуществлено группирование и районирование почвенного покрова по их пригодности. Предложены отдельные методические подходы оценки соответствия существующей структуры посевных площадей административных районов республики характеру их почвенного покрова. Разработана новая структура для групп районов с примерно одинаковыми почвенно-экологическими условиями, учитывающая отношение высеваемых культур к свойствам почв и уровню их эффективного плодородия.

Николай Иванович и в последующем продолжал работать над совершенствованием теоретических вопросов агропроизводственной группировки почв, установления степени их пригодности под основные сельскохозяйственные культуры в целях оптимизации структуры посевных площадей и севооборотов [13]. И в 1990 г. Н. И. Смян издает свою новую монографию *«Почвы и структура посевных площадей»* [14], где излагается агрономическая характеристика пахотных почв; дается оценка их эффективного плодородия в количественных величинах по степени пригодности под зерновые культуры и картофель; разрабатывается группировка почв, отражающая степень пригодности каждой группы для выращивания указанных культур; для каждой из агрогрупп определяется рациональный набор сельскохозяйственных культур, способных наиболее полно использовать почвенное плодородие при формировании урожая; даны предложения по построению рациональной, отвечающей почвенным условиям, структуры посевных площадей и оптимизации севооборотов в республике. Именно агропроизводственная группировка почв, предложенная Николаем Ивановичем в этой монографии

заслуживает особого внимания. Согласно ей, все почвы республики объединены в 10 групп, для которых установлена степень пригодности для возделывания основных сельскохозяйственных культур или их групп (наиболее пригодные, пригодные, малопригодные, непригодные). Эта группировка почв сыграла важную роль в формировании оптимальной структуры посевных площадей в республике.

На основании новой классификации почв [8] при непосредственном участии Н. И. Смяна совместно с Г. А. Ржеуцкой и Т. Н. Пучкаревой в БелНИИПА, в 1990 г. были разработаны методические указания «*Полевое исследование и картографирование почв БССР*» [15], которые с момента публикации стали основным научным изданием для проведения почвенно-картографических работ в республике, а также явились базовой основой, созданного в 2020 г. первого в республике ТКП 651-2020 (33520) «Почвенное обследование земель и создание, обновление почвенных карт» [16].

Результаты второго тура крупномасштабного почвенного картографирования земель сельскохозяйственных предприятий показали, что компонентный состав почвенного покрова под воздействием антропогенных факторов претерпел такие изменения, которые требуют незамедлительных совершенствований диагностики и классификации почв. И в 1991 г. Н. И. Смян со своими коллегами и учениками (А. Ф. Чернышем, Л. И. Шибутом, Г. С. Цытрон, И. И. Бубеном, Л. М. Муслимовой) разрабатывают и издают «*Методические указания по диагностике и классификации почв, образовавшихся после сработки торфа*» [17], в которых, практически одновременно с соавторами из БГУ [18], была представлена схема классификации почв, образовавшихся в результате сработки торфа и методика определения гранулометрического состава дегроторфяных почв с содержанием органического вещества <20,0 %.

В классификационной схеме деградированные торфяные почвы выделялись на уровне самостоятельного типа. В этом типе было выделено три подтипа: торфяно-минеральные, минеральные остаточно-торфянистые и минеральные после сработки торфа, которые на уровне рода разделялись по химизму почвообразующих и гранулометрическому составу подстилающих пород, а на видовом уровне выделялись по остаточному содержанию органического вещества в верхнем горизонте. Представленная в классификационной схеме морфологическая диагностика позволяла диагностировать деградированные торфяные почвы в полевых условиях на уровне подтипов с последующим уточнением видовых уровней после проведения аналитических исследований по определению зольности. Эта классификация отличалась краткостью номенклатуры, отражающей последовательность процесса деградации торфяных почв и понятностью диагностических признаков для их полевой идентификации при крупномасштабном почвенном картографировании. Пороговым значением отделения торфяных почв от деградированных торфяных, кроме морфологической диагностики, было содержание органического вещества менее 50 % в последних, установленное согласно существующему тогда ГОСТ [19]. Только установление диагностических параметров и признание самостоятельным типом деградированных торфяных почв в классе антропогенно-преобразованных с выделением подтипов позволили четко отделить эти почвы от торфяных и минеральных и провести корректировочные работы по выделению их на почвенных картах хозяйств республики с последующим количественным и качественным учетом.

В этом же году выходят и «*Временные дополнения к методическим указаниям по полевому исследованию и картографированию почв БССР*» [20], в которых впервые приводятся системные сведения о разнообразии и диагностике специфической групп почв – антропогенно-преобразованных для выделения Разработанные вышеуказанные методические аспекты диагностики деградированных почв и в настоящее время применяются при проведении почвенно-картографических работ по обследованию почв осушенных сельскохозяйственных земель.

С конца 90-х гг. Н. И. Смян со своими учениками активно способствовал укреплению научно-методической базы проведения почвенно-картографических работ в республике для объективного отображения всего разнообразия почв сельскохозяйственных земель республики, систематизации сведений о почвах республики.

Полученные обновленные данные о распространении почв сельскохозяйственных земель по результатам корректировки II тура почвенно-картографических работ позволили создать практическое пособие «*Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь*» [21]. В нем обобщены в виде сборника таблиц площадей по административным районам, областям и республике в целом. Сборник содержит данные о распределении сельскохозяйственных земель по генетическим типам почв, по гранулометрическому составу почвообразующих и подстилающих пород, степени заболоченности, подверженности эрозионным процессам. Это практическое пособие под научной редакцией Н. И. Смяна и до настоящего времени является единственным официальным источником площадного распределения почв в республике.

В этот период выходит обновленный «*Номенклатурный список почв Беларуси*» [22], в основу которого положена классификация почв 1980 г., а также методические указания 1991 и 2001 гг. [17, 23], позволившие отразить разнообразие антропогенно-преобразованных почв почв республики. Николай Иванович явился соавтором ряда карт по разделу «Почвы и земельные ресурсы» (М 1:250000 и 1:300000) для *Национального атласа Беларуси* [24].

Н. И. Смян являлся соавтором методик по созданию районных и областных почвенных карт [25–27], заложив научные основы генерализации в почвенной картографии. На основании этих методик по результатам корректировочных почвенно-картографических работ почти на всю территорию республики составлены районные почвенные карты (М 1:50000) и обновлены 2 областные карты (М 1:200000).

Под руководством Николая Ивановича заложены методические основы проведения почвенного мониторинга в республике [28]. Совместно с ведущими специалистами Проектного Института «Белгипрозем», его дочерних предприятий, управлений сельского хозяйства райисполкомов осуществлял подбор объектов для мониторинга земель в Беларуси. На всех подобранных объектах на пахотных землях сельскохозяйственных предприятий изучалось влияние антропогенных факторов на изменение почвенного покрова в разных почвенно-геоморфологических условиях. Все теоретические и научно-методические вопросы проведения почвенно-картографических и мониторинговых работ на территории Беларуси он обсуждал с со специалистами-практиками на республиканских семинарах.

Н. И. Смян внес значительный вклад для ознакомления зарубежных и отечественных научных и общественных кругов с достижениями белорусской почвенной

науки, постоянно выступая с докладами на национальных и международных конгрессах и совещаниях, в Национальной академии наук Беларуси, Министерстве сельского хозяйства и продовольствия, областных и районных комитетах по сельскому хозяйству и продовольствию, Белгипрозе и его дочерних организациях, уделяя внимание вопросам рационального использования почв в обеспечении устойчивого социального и экономического развития и экологической безопасности Беларуси.

С именем академика Н. И. Смяна связано создание ОО «Белорусского общества почвоведов» (БОП) в 1993 г. на базе Белорусского отделения Всесоюзного общества почвоведов, главой которого он был до последних дней своей жизни. Под руководством Николая Ивановича на высоком научном и организационном уровне были проведены ряд международных научно-практических конференций и 4 съезда БОП. Решением делегатского собрания IV съезда БОП оно переименовано в ОО «Белорусское общество почвоведов и агрохимиков».

Он являлся активным участником создания Европейской географической почвенной базы данных (SOTER), реализованной через издание Атласа почв Европы (Soil Atlas of Europe, 2005 г.) [29], «Цифровой базы данных стран бывшего СССР», «Базы данных почв и суши по деградации и оценке их чувствительности стран Центральной и Восточной Европы» и др. Эти и другие пионерные работы [30] показали специфику почв Беларуси в рамках международных почвенных исследований.

Значительный период научной деятельности академика Н. И. Смяна связан с *бонитировкой почв и качественной оценкой земель*. Первый тур землеоценочных работ в Беларуси был завершен в 1969 г., а все последующие (II – 1974–1975 гг.; III – 198–1985 гг.) проходили при непосредственном участии Н. И. Смяна и под его научно-методическим руководством. Результаты оценок широко использовались при решении различных задач сельскохозяйственного производства.

В разработанных научно-методических изданиях [31–36] почва рассматривается как естественноисторическое тело, обладающее плодородием и как основное средство сельскохозяйственного производства с учетом современного агрохимического и культуртехнического состояния. Основными критериями балльной оценки почв являются их природные и приобретенные в результате антропогенного воздействия свойства, наиболее тесно коррелирующие с урожайностью сельскохозяйственных культур. Результаты проведенных землеоценочных работ показали, что в условиях Беларуси наиболее значительное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур оказывают свойства почв, определяющиеся их типовыми различиями. Внутри типа сильное влияние на продуктивность культур оказывает гранулометрический состав и характер строения почвообразующих пород. В значительной мере плодородие почв зависит от агрохимических свойств, степени завалуненности и подверженности эрозии. Однако недостатком этих оценок являлось то, что они выполнялись на межхозяйственном уровне с установлением баллов, отражающих общий уровень плодородия почв по видам земель в хозяйстве, которые позволяли сравнивать качество земель между хозяйствами в районах. А полученные баллы не давали информации о производительной способности конкретной почвы при выращивании определенной культуры и качество почв отдельных бригад, полей и участков не устанавливалось. Поэтому в 90-х годах прошлого века, в связи с реформированием рыночных отношений в

сельском хозяйстве, назрела необходимость в проведении более углубленной оценки земель, позволяющей получать оценочные показатели по отдельным земельным участкам внутри хозяйств, при возделывании на них различных культур, а также устанавливать размеры платежей за предоставленные во временное пользование или собственность земельные участки. В связи с этим было принято решение о проведении в республике поучастковой кадастровой оценки земель.

Под руководством Н. И. Смеяна при проведении IV тура оценочных работ в 1997–1999 гг., этому вопросу уделено особое внимание.

Разработанные к этому времени методика оценки земель сельскохозяйственных предприятий была названа кадастровой, так как явилась составной частью государственного земельного кадастра республики. В ней оценочная шкала основывалась на учете свойств почв и биологических особенностей районированных в республике сельскохозяйственных культур. Она была построена в виде таблицы, где по строкам указывался тип почв, степень увлажнения, гранулометрический состав почвообразующих пород, а по графам – баллы бонитета пахотных почв при использовании их под сельскохозяйственные культуры. Оценка была проведена по 13 культурам.

В 1997–1998 гг. по этой методике в республике проведен I тур поучастковой кадастровой оценки земель сельскохозяйственных предприятий [35]. Отличие этой оценки от предыдущих состояло в следующем:

1) первичной территориальной единицей оценки являлся рабочий (оценочный) участок;

2) оценка проводилась как в целом по видам земель, так и под отдельные сельскохозяйственные культуры (всего 13 культур или их групп);

3) шкала оценочных баллов почв дает характеристику почвенным участкам, обладающим комплексом оптимальных для роста и развития сельскохозяйственных культур свойств почв и их культуртехнического состояния: отсутствие эродированности и завалуненности почв, оптимальные параметры их агрохимических свойств, площадь отдельно обрабатываемых участков, входящих в состав рабочего участка, более 15 га. На участках, имеющих отклонение от оптимальных, в имеющийся бонитировочный балл участка вводятся соответствующие поправочные коэффициенты;

4) качество земель оценивалось не одним показателем (баллом), как было ранее, а четырьмя: баллом плодородия почв, нормативным чистым доходом, дифференциальным доходом, общим баллом кадастровой оценки земель.

Такой методологический подход позволил получить по каждому полю, хозяйству и району два балла, один из которых отражает потенциальное плодородие почв при оптимальном мелиоративном, агрохимическом и культуртехническом их состоянии (исходный балл) и устанавливается по республиканской оценочной шкале. А другой – полученный с учетом вводимых поправочных коэффициентов (фактический балл), отражает современный уровень их плодородия. Таким образом, предметом оценки земельных участков на первом этапе явилась каждая из отмеченных сторон качества (бонитировка почв и качественная оценка земель), а затем, на основании данных проведенных оценок, были определены обобщающие (синтезирующие) показатели кадастровой оценки земли как средства сельскохозяйственного производства.

После завершения I-го тура кадастровой оценки земель в республике не прекращались работы по совершенствованию методики ее выполнения. Следует отметить, что и агропроизводственные группировки и оценочные шкалы совершенствовались на основании новых данных о почвах республики, получаемых в ходе выполнения работ очередного тура крупномасштабного почвенного обследования. При жизни Николая Ивановича прошло 2 тура таких обследований, в 1986–2000 гг. проведена их корректировка. С 2006 г. по настоящее время на основании «Методических указаний по корректировке почвенных материалов осушенных и прилегающих к ним земель в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь» [37] проводится новый этап почвенно-картографических работ в республике.

Идеи и теоритические разработки академика Н. И. Смяяна и его учеников нашли свое продолжение и для научно-методического обеспечения второго тура кадастровой оценки земель. За истекший после первого тура период (более 15 лет), произошли существенные изменения в составе, названиях и границах землепользований сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств. Новые данные о компонентном составе почвенного покрова и свойствах почв в связи с проведенными работами по корректировке материалов мелиорированных земель, новому агрохимическому обследованию, отмечены изменения и в агроклиматических условиях Беларуси. В связи с этим Советом Министров Республики Беларусь было принято решение (№ 06/307-341 от 25 июня 2008 г.) о проведении в республике второго тура кадастровой оценки земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств.

Для этих целей в Институте почвоведения и агрохимии проведена масштабная исследовательская работа по усовершенствованию методических подходов к построению общей и частных агропроизводственных группировок почв (разделены понятия «принципов» и «критериев» их построения), а на основе новых данных о их современном агроэкологическом состоянии разработаны новые агропроизводственные группировки под озимую и яровую пшеницу, озимое тритикале, ячмень, лен, сахарную свеклу, рапс. Общая агропроизводственная группировка в настоящее время включает 15 агрогрупп почв, по которым приводится оценка степени их пригодности для 16 сельскохозяйственных культур [38]. По сравнению с предыдущей группировкой (1990 г.) количество агрогрупп было увеличено на 5:

- добавлены две группы почв тяжелого гранулометрического состава, так как последний оказывает существенное влияние на ведение сельскохозяйственного производства, особенно в северных районах республики: 1 – глинистые и тяжелосуглинистые слабogleеватые, 2 – глинистые и тяжелосуглинистые глееватые и глеевые;
- проведена более подробная группировка агродерново-подзолистых автоморфных почв: выделено 5 групп против 4 в предыдущей;
- группировка дегроторфяных почв была дана согласно новой классификации почв: в отдельную группу выделены торфяно-минеральные почвы с разделением их в зависимости от подстилания, в другую группу объединены минеральные остаточнo-торфяные и постторфяные с разделением их по гранулометрическому составу на суглинистые, супесчаные, песчаные.

Также в новую группировку почв включена их оценка для озимого тритикале и рапса, дана отдельная оценка под яровую пшеницу и ячмень, разделены также

почвы по пригодности под люцерну и клевер, в то время как в предыдущей группировке они оценивались вместе.

Основой оценки плодородия почв является шкала оценочных баллов. Для второго тура кадастровой оценки земель она была значительно расширена и дополнена (по сравнению с предыдущей) за счет включения в нее новых почвенных разновидностей и культур, которые ранее не оценивались, а также уточнения балльной оценки некоторых разновидностей, по которым были получены новые данные о их производительной способности. В ней отражены исследования по влиянию генезиса почвообразующих пород на производительную способность дерново-карбонатных легкосуглинистых почв. В шкале оценочных баллов тип автоморфных дерново-карбонатных почв разделен на две группы на уровне подтипа (в предыдущем туре кадастровой оценки этот тип на подтипы не разделялся). В первую группу вошли типичные и выщелоченные (согласно новой классификации почв), которые в шкале представлены как автоморфные. Во вторую группу вошли оглеенные почвы (поверхностно-оглеенные, контактно-оглеенные, оглеенные внизу). Причем максимальными баллами оценены дерново-карбонатные оглеенные почвы, типичные и выщелоченные оценены в среднем на 12 баллов ниже (по культурам снижение составляет 8–16 баллов);

Установлено влияние песчаной прослойки в профиле дерново-подзолистых и дерновых почв различной степени гидроморфизма на их производительную способность. Проведенные исследования показали, что плодородие почв зависит от глубины залегания песчаной прослойки и ее мощности, а также от степени увлажнения почв. С увеличением степени увлажнения влияние песчаной прослойки на урожайность культур уменьшается, поэтому среди автоморфных почв для каждого вида гранулометрического состава выделяется по 3 разновидности, включающие песчаную прослойку различной мощности и глубины залегания; для слабоглееватых (временно избыточно увлажненных) – две почвенные разновидности с прослойкой песка различной мощности; для глееватых и глеевых – одна почвенная разновидность с прослойкой песка на глубине до 1,0 м. Была усовершенствована оценка антропогенно-преобразованных почв. В результате проведенных исследований оценка дегроторфяных почв (минеральных остаточно-торфяных и минеральных постторфяных) по их пригодности под культуры дифференцирована по гранулометрическому составу (суглинистые, супесчаные, песчаные); введены в список дегроторфяные порошисто-слитые почвы, выгоревшие торфяные с подразделением по мощности остаточного слоя торфа, нарушенные почвы на мелах и доломитах; в типе деградированных эрозионных почв добавлены почвы овражно-балочного комплекса, крутосклонов, которые были выделены в «*Примерном номенклатурном списке почв Республики Беларусь*» [39].

Расширена оценочная шкала за счет новых сельскохозяйственных культур, которые ранее в нее не входили. Так, например, в последнее время в республике значительно увеличились посевные площади озимого тритикале, поэтому в новой шкале на основании результатов исследований, дана оценка почв под эту культуру. Дифференцирована оценка почв по пригодности под яровую пшеницу и ячмень, так как в предыдущем туре они оценивались вместе, а результаты проведенных исследований показали, что яровая пшеница является культурой более требовательной к почвенным условиям, чем ячмень. Расширен перечень почв и следовательно их оценка по пригодности для возделывания кукурузы за счет тор-

фяных и дегроторфяных почв, в связи с тем, что в настоящее время она занимает более 10 % в структуре посевных площадей республики и часто размещается на торфяных почвах (особенно в южных районах).

В новой шкале в зависимости от типа, увлажнения и гранулометрического состава отражена балльность 332 почвенных разновидностей для возделывания на них 16 сельскохозяйственных культур. В типах заболоченных почв все баллы установлены отдельно для осушенных и неосушенных почвенных разновидностей. В шкале представлены также средние баллы для пахотных, улучшенных луговых и естественных луговых земель по всем почвам. Всего в шкале приведено более 6 тысяч показателей (баллов), характеризующих все разнообразие почв республики при их различном использовании (пахотные или луговые земли) и возделывании на них сельскохозяйственных культур.

Исходя из проведенных исследований, были введены поправочные коэффициенты на генезис почвообразующих пород для дерново-подзолистых автоморфных, оглеенных внизу и на контакте и временно избыточно увлажненных (слабоглеуватых) почв по следующим генетическим группам: моренные, лессовидные, лессовые и древнеаллювиальные разного гранулометрического состава (средне- и легкосуглинистые, связносупесчаные, рыхлосупесчаные и песчаные). Уточнены поправочные коэффициенты на каменистость и эродированность для зерновых, пропашных, льна, многолетних трав и в среднем для всех культур, обновлены оптимальные параметры агрохимических свойств почв различного гранулометрического состава, уточнены рабочие формулы для расчета индекса окультуренности. Были предложены поправочные коэффициенты для учета влияния заморозков и засух. Все эти и другие изменения нашли отражение в новой монографии *«Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика»* [40].

В настоящее время в республике, основными показателями, характеризующими качество земель, которые определялись в этом туре оценки, являлись: балл плодородия почв, нормативный чистый доход, дифференциальный доход и общий балл кадастровой оценки земель. Они были установлены по всем видам земель (пахотные, под постоянными культурами, луговые улучшенные, луговые естественные и в среднем все сельскохозяйственные земли) для всех хозяйств, районов, областей и республики в целом.

Кроме основных показателей оценки, используют ряд дополнительных показателей и характеристик, которые могут в дальнейшем использоваться для различных целей. Это – информация о технологических свойствах и местоположении земельных участков, климатические характеристики на время проведения оценки, исходный балл почв, поправочные коэффициенты на неблагоприятные факторы ведения сельскохозяйственного производства, баллы почв под отдельные культуры, гранулометрический состав почв и его сравнение с предыдущим туром кадастровой оценки и др.

Современная методика кадастровой оценки земель предусматривает ежегодное обновление ее результатов с учетом новых исходных данных, полученных за каждый, прошедший после завершения оценки (или предыдущей корректировки), год: новое почвенное обследование, очередной тур агрохимического обследования, перевод одних видов земель в другие, изменение границ землепользований

и т. д. Такие корректировки уже проведены в 2017–2020-х гг., а результаты по хозяйствам, районам и областям также ежегодно публикуются на сайте Госкомимущества.

Из всех показателей кадастровой оценки наиболее важным и значимым является балл плодородия почв. Он характеризует пригодность земель для возделывания сельскохозяйственных культур по совокупности природных свойств: почвенного покрова, учитываемого по шкале оценочных баллов (исходный балл) и наличия других факторов, также влияющих на урожайность: культуртехнических, агрохимических, мелиоративных, климатических (учитываемых с помощью поправочных коэффициентов к исходному баллу). Балл плодородия почв используется для расчета других показателей оценки, а также может самостоятельно применяться для решения различных задач в сфере сельскохозяйственного производства.

Эта научно-практическая разработка служит для совершенствования качественного и количественного учета земельных ресурсов, расчета балла эффективного плодородия почв рабочих участков сельскохозяйственных земель всех землепользователей республики при проведении землеоценочных работ, установления нормативного чистого дохода, дифференциального дохода, кадастровой стоимости земель, установления ставок и определения суммы земельного налога сельскохозяйственным организациям и крестьянским (фермерским) хозяйствам, для оптимизации размещения посевов 16 сельскохозяйственных культур и их групп, исходя из совокупности природных свойств земельных участков, обоснования проектов внутрихозяйственного землеустройства, определения размеров убытков сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств в связи с изъятием или временным занятием земельных участков, решения задач по организации труда и управлению сельскохозяйственным производством. Анализ современного положения бонитировки почв в республике позволяет заключить, что применяемая методика оценки почв дает возможность достаточно точно оценить качество почвенного покрова, учитывает все территориальные особенности и фактическое состояние земель на момент оценки.

Под руководством академика Н. И. Смяяна научную школу прошли более 30 почвоведов, из которых 2 стали докторами и 22 кандидатами.

В 2017 г. учениками Н. И. Смяяна создан «Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь» [41], в котором обобщены материалы исследований современного состояния почв и почвенного покрова сельскохозяйственных земель Республики Беларусь по типам почвообразования, степени увлажнения, гранулометрическому составу, кадастровой оценке. Представлена генетическая характеристика физико-химических, агрохимических, водно-физических свойств, минералогического состава почв с учетом ранжирования на почвенно-экологические провинции – северную, центральную и южную. Обобщены результаты многолетних исследований по характеристике эродированных почв на моренных, лёссовидных и лёссовых почвообразующих породах.

В 2018 г. издано пособие «Осушенные торфяные и деградаторфяные почвы в составе сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практическое пособие» [42], которое содержит актуальные сведения о площадном распространении, свойствах и пространственно-временной изменчивости торфяных и деградаторфяных почв на видовом уровне классификации и используется для

количественного учета земельных ресурсов, разработки научно обоснованных мероприятий по оптимальному размещению сельскохозяйственных культур на территории районных землепользований республики.

Наиболее важным и значимым событием для агропочвенных исследований стал выход новой монографии «Почвы Республики Беларусь» [43]. Еще в 2006 г. Н. И. Смян планировал подготовку новой монографии о почвах республики. Осталось на память ее содержание, подписанное Николаем Ивановичем. За этот значительный промежуток времени его учениками была проделана огромная практическая и теоретическая работа по накоплению научного материала о свойствах почв республики. В новой монографии впервые на основе систематизированных разновременных данных научных и крупномасштабных почвенно-картографических исследований, разработанного методического подхода проведена агроэкологическая оценка эволюционных изменений строения, состава и свойств почв сельскохозяйственных земель страны под влиянием антропогенного фактора за более чем 40-летний период со времени опубликования научного труда «Почвы Белорусской ССР» (1974). На основе сравнительного анализа данных свойств естественных почв и их разновременных пахотных аналогов, проведены расчеты величин отклонений критериев почв пахотных земель от соответствующих значений в исходном состоянии, использована шкала степени изменения критериев свойств почв, расчетные величины коэффициентов их трансформации. Основными критериями для оценки трансформации почв были предложены: содержание илистой фракции, реакция почвенной среды (рН), содержание и запасы гумуса, сумма поглощенных оснований, емкость поглощения, степень насыщенности основаниями, содержание подвижных форм фосфора и калия в верхних гумусово-аккумулятивных (пахотных) горизонтах.

Анализ пространственно-временной трансформации количественных показателей физико-химических, агрохимических, водно-физических свойств, гумусного состояния, гранулометрического, валового химического, минералогического составов исследуемых почв с учетом генезиса, степени увлажнения, строения почвообразующих и подстилающих пород, аналитических данных 16-ти почвенных объектов естественных и пахотных земель, представленных в монографии 1974 г., позволил установить, что за более чем 40-летний период эволюционного развития почвы пахотных земель республики претерпели «сильную» трансформацию строения, состава и свойств по отношению к их естественному потенциалу.

Создана Почвенная Информационная Система Беларуси (ПИСБ), которая постоянно пополняется информацией о свойствах почвенного покрова республики и отдельных его компонентов на различных уровнях обобщения (рабочий участок – сельскохозяйственное предприятие – административный район – административная область – Республика Беларусь). Усовершенствуются методы почвенной картографии и инвентаризации информации о почвах с применением ГИС-технологий, создание Почвенной Информационной Системы Беларуси и разработка справочно-аналитических систем поддержки ведения сельскохозяйственного производства по рациональному использованию почвенных ресурсов с применением ГИС в целях обеспечения ресурсосберегающей, почвозащитной технологии производства растениеводческой продукции за счет оптимизации посевных площадей основных сельскохозяйственных культур для землепользователей [44, 45].

Все, изложенное выше, позволяет констатировать тот факт, что идеи академика Николая Ивановича Смеяна, воплощенные им в жизнь, и сегодня продолжают развиваться, способствуя укреплению агропочвенной науки, и достойно служат на благо своей страны – рационального использования основного ее богатства – почв.



На полевой экскурсии II Съезда белорусского общества почвоведов (2001 г.)



Н. И. Смеян и В. С. Столбовой (доктор географических наук, в. н. в. главный научный сотрудник, заведующий отделом единого государственного реестра почвенных ресурсов ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», г. Москва) за работой над проектом SOTER, 2004 г.



Выступление на международной конференции, посвященной 165-летию БГСХА (г. Горки, 2005 г).



Пленарный доклад Н. И. Смяяна на III съезде БОП (2006 г.)



Выступление Н. И. Смяна на полевой научной экскурсии в СПК «Агрофирма» «Лучники» Слуцкого района Минской области в рамках Республиканского научно-производственного семинара «Преобразованные в процессе антропогенного использования почвы Республики Беларусь и задачи землеустроительной службы республики по оценке сельскохозяйственных земель при проведении очередного тура кадастровых работ» для специалистов РУП «Проектный Институт Белгипрозем», 2007 г.



Николай Иванович проводит научную консультацию для специалистов РУП «Проектный институт Белгипрозем»

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смеян, Н. И.* Почвы Бельничского и Круглянского Могилевской области и пути их наиболее рационального использования: автореф. дис. ...к анд. с.-х. наук / Н. И. Смеян; БелНИИЗ. – Минск, 1968. – 24 с.
2. Методические указания по почвенно-геоботаническим и агрохимическим крупномасштабным исследованиям в БССР / под ред. Н. И. Смеяна (отв.), И. Н. Соловей. – Минск: Ураджай, 1973. – 300 с.
3. Почвы Белорусской ССР / под ред. Т. Н. Кулаковской, П. П. Рогового, Н. И. Смеяна. – Минск: Ураджай, 1974. – 328 с.
4. *Смеян, Н. И.* Основные принципы классификации и диагностики почв Белорусской ССР / Н. И. Смеян, И. Н. Соловей, Т. А. Романова // Второе региональное совещание почвоведов северо- и среднетаежной подзон европейской части СССР: тезисы докл. – Сыктывкар, 1972. – С. 47–48.
5. Бурые лесные почвы Белоруссии / Н. И. Смеян [и др.] // Почвоведение. – 1973. – № 5 – С. 3–14.
6. *Смеян, Н. И.* Классификация почв / Н. И. Смеян, И. Н. Соловей, Т. А. Романова // Почвы Белорусской ССР / под ред. чл.-корр. БССР Т. Н. Кулаковской, акад. АН БССР П. П. Рогового, канд. с.-х. наук Н. И. Смеяна. – Минск: Ураджай, 1974. – С. 83–86.
7. *Медведев, А. Г.* Руководство по почвенному исследованию земель колхозов и совхозов БССР / А. Г. Медведев, Н. П. Булгаков, Ю. И. Гавриленко. – Минск, 1960. – 176 с.
8. *Смеян, Н. И.* Пригодность почв БССР под основные сельскохозяйственные культуры / Н. И. Смеян. – Минск: Ураджай, 1980. – 173 с.
9. По почвам Белоруссии: путеводитель экскурсии V делегатского съезда ВОП. – Минск: Ураджай, 1977. – 112 с.
10. Почвенная карта Белорусской ССР (масштаб 1:600 000) / сост. Н. И. Смеян, И. Н. Соловей; картограф Л. Г. Ровенко; под общ. ред. акад. ВАСХНИЛ Т. Н. Кулаковской и акад. АН БССР П. П. Рогового. – М.: Гл. упр. геодезии и картографии при совете Министров СССР, 1977.
11. *Смеян, Н. И.* Агропроизводственная группировка и районирование почв БССР в соответствии с их пригодностью под основные сельскохозяйственные культуры автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.03 / Н. И. Смеян; Почвенный институт им. В. В. Докучаева. – М., 1980. – 39 с.
12. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 224 с.
13. Методические рекомендации по организации и ведению севооборотов в условиях интенсификации земледелия в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях Белорусской ССР (временные). – Минск, 1988. – 45 с.
14. *Смеян, Н. И.* Почвы и структура посевных площадей / Н. И. Смеян. – Минск: Ураджай, 1990. – 150 с.
15. Полевое исследование и картографирование почв БССР (методические указания) / под ред. Н. И. Смеяна, Г. А. Ржеутской, Т. Н. Пучкаревой. – Минск, 1990. – 221 с.
16. ТКП 651-2020 (33520) «Почвенное обследование земель и создание, обновление почвенных карт» / Проектный институт Белгипрозем; Институт почвоведения и агрохимии. – Госкомимущество, 2020.

17. Методические указания по диагностике и классификации почв, образовавшихся после сработки торфа (для целей крупномасштабного картографирования) / Н. И. Смян [и др.]. – Минск, 1991. – 8 с.
18. Зайко, С. М. Классификация минеральных почв, образовавшихся на месте сработанных торфяных / С. М. Зайко, Л. Ф. Вашкевич, А. В. Горблюк // Почвоведение. – 1997. – № 1. – С. 36–41.
19. ГОСТ 21123-85 Торф. Термины и определения. Издание официальное. Госкомитет СССР по стандартам. – М., 1985. – 46 с.
20. Временные дополнения к методическим указаниям по полевому исследованию и картографированию почв БССР / Н. И. Смян [и др.]. – Минск, 1991. – 13 с.
21. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.
22. Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования) / Н. И. Смян [и др.]. – Минск, 2003. – 43 с.
23. Смян, Н. И. Методические указания по полевому исследованию и картографированию антропогенно-преобразованных почв Беларуси / Н. И. Смян, Г. С. Цытрон, И. И. Бубен. – Минск, 2001. – 19 с.
24. Нацыянальны атлас Беларусі. – Мінск, 2002. – С. 98–110.
25. Временные указания по составлению областных почвенных карт. – Минск, 1989. – 8 с.
26. Методические указания по составлению районных почвенных карт и подсчету площадей почв (по данным корректировки почвенных материалов). – Минск, 1999. – 34 с.
27. Методические указания по составлению областных почвенных карт / Н. И. Смян [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2007. – 35 с.
28. Смян, Н. И. К методике исследований в агропочвенном мониторинге / Н. И. Смян, Г. А. Ржеустская, А. Ф. Черныш // Почвоведение и агрохимия: сб. науч. тр. / БелНИИ почвоведения и агрохимии; редкол.: И. М. Богдевич (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Ураджай, 1991. – Вып. 27. – С. 3–8.
29. Soil atlas of Europe. European soil bureau network european comission / pr. Ed. A. Jones, I. Montanarella, R. Jones. – Istra, 2005. – 128 p.
30. Интеграция данных о почвах России, Белоруссии, Молдавии и Украины в почвенную географическую базу данных Европейского Союза / В. Столбовой [и др.] // Почвоведение. – 2001. – № 7. – С. 773–790.
31. Качественная оценка земель в колхозах и совхозах БССР / под ред. акад. ВАСХНИЛ Т. Н. Кулаковской. – 2-е изд. – Минск: Ураджай, 1977. – 200 с.
32. Оценка плодородия почв Белоруссии / Н. И. Смян [и др.]; под общ. ред. Н. И. Смяна. – Минск: Ураджай, 1989. – 359 с.
33. Внутрихозяйственная оценка земель по эффективности возделывания основных сельскохозяйственных культур в колхозах и госхозах Белорусской ССР (методические указания) / Г. М. Мороз [и др.]. – Минск, 1990. – 118 с.
34. Внутрихозяйственная качественная оценка (бонитировка) почв Республики Беларусь по их пригодности для возделывания основных сельскохозяйственных культур (методические указания) / Н. И. Смян [и др.]. – Минск, 1998. – 25 с.
35. Кадастровая оценка земель сельскохозяйственных предприятий: методические указания / Г. И. Кузнецов [и др.]; Госкомзем. – Минск, 2001. – 116 с.

36. Земля Беларуси, 2001: справ. пособие / под ред Г. И. Кузнецова, Г. В. Дудко. – Минск, 2002. – 120 с.
37. Методические указания по корректировке почвенных материалов осушенных и прилегающих к ним земель в сельскохозяйственных организациях республики Беларусь / Н. И. Смяян [и др.]. – Минск: РУП ИГА НАН Беларуси, 2005. – 17 с.
38. Совершенствование шкалы оценочных баллов для очередного тура кадастровой оценки земель / Л. И. Шибут [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 2(41). – С. 17–24.
39. Примерный номенклатурный список почв Республики Беларусь / Г. С. Цытрон [и др.] // Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии; Проектный институт Белгипрозем. – Минск, 2013. – 64 с.
40. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика» / Г. М. Мороз [и др.]; под ред Г. М. Мороза, В. В. Лапы. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 208 с.
41. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (справочное пособие) / 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.
42. Осушенные торфяные и дегроторфяные почвы в составе сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практическое пособие / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапы; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 215 с.
43. Почвы Республики Беларусь: монография / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапы; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 632 с.
44. Методика сбора, ввода, обработки и интерпретации информации о почвах Беларуси (для создания геоинформационной системы характеристики почвенного покрова) / Г. С. Цытрон [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2008. – 34 с.
45. Методические указания по созданию Почвенной Информационной Системы Беларуси / Г. С. Цытрон [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 49 с.

## ПАМЯТИ ВЛАДИМИРА ДАНИЛОВИЧА ЛИСИЦЫ

(к 90-летию со дня рождения)



В 2022 году исполняется 90 лет со дня рождения известного белорусского почвоведом и геолога – Владимира Даниловича Лисицы, кандидата геолого-минералогических наук, ученого в области минералогии, микроморфологии и отражательной способности почв.

Владимир Данилович родился 15 февраля 1932 г. в д. Вишенька Червенского района Минской области. В 1953 г. окончил среднюю школу № 1 г. Червеня с серебряной медалью и поступил в Белорусский государственный университет на философское отделение исторического факультета, после расформирования которого перевелся на 3 курс геологического отделения биолого-почвенного факультета, успешно окончил его в 1958 г., получив специальность инженера-геолога.

Август 1958 г. является точкой отсчета насыщенной и продуктивной трудовой деятельности Владимира Даниловича в Институте почвоведения (БелНИИПА), куда был принят на должность младшего научного сотрудника.

С именами В. Д. Лисицы и профессора П. С. Самодурова связано создание в институте лаборатории минералогии почв, освоение новых методов исследования почв и почвообразующих пород: иммерсионного, термического, микроморфологического, рентгендифрактометрического, электронно-микроскопического.

С поступлением в 1963 г. в аспирантуру Института почвоведения и агрохимии научные исследования Владимира Даниловича посвящены изучению первичных и глинистых минералов почв и почвообразующих пород Беларуси, результаты которых воплотились в кандидатской диссертации «Химико-минералогический состав и петрографическая характеристика дерново-подзолистых почв и почвообразующих пород Белорусского Поозерья», успешно защищенной в 1970 г. в совете Лаборатории геохимических проблем АН БССР и Института геологических наук СССР.

Пройдя немалый путь профессионального становления В. Д. Лисица с 1980 г. возглавлял лабораторию микроморфологии и спектрофотометрии БелНИИПА, а с 1982 г. – сектор микроморфологии, спектрофотометрии и дистанционных методов исследования почв, после расформирования которого в 1996 году работал ведущим научным сотрудником сектора методики картографирования и бонитировки почв до 2002 г.

На протяжении всего периода научной деятельности Владимир Данилович значительное внимание уделял развитию микроморфологических исследований почв в республике, разработке методики их микрофотографирования. Именно изучение микроморфологических особенностей почв, сформировавшихся на збровидных песчаных отложениях и лессовидных суглинках, позволило ему выдвинуть

нуть гипотезу как о происхождении этих почв, так и формировании ортзандов и псевдофибров. Благодаря ему в научной литературе закреплён термин «глинофибры». Результаты же изысканий Владимира Даниловича были представлены мировой научной общественности на XV Международном конгрессе почвоведов, проходившем в 1994 г. в г. Акапулько (Мексика), а также опубликованы в журналах «Вести Академии аграрных наук Беларуси. Серия земледелие и почвоведение» (1994), «Почвоведение» (ред. Г. В. Добровольский, 2000). Микроморфологические исследования почв Беларуси позволили установить генезис отдельных типов почв лесных и пахотных земель республики: бурых лесных, дерново-карбонатных, дерново-подзолистых, сформировавшихся на лессовидных и связнопесчаных отложениях, дерново-подзолистых заболоченных почв, сформировавшихся на лессовидных породах, дерново-заболоченных, а также выявить характер и направленность антропогенной трансформации дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых, деградированных торфяных почв после осушения.

Многолетние детальные исследования в области минералогии почв, проведенные В. Д. Лисицей совместно с профессором П. С. Самодуровым, С. А. Тихоновым, В. Т. Сергеенко, академиком Н. И. Смеяном, профессором Т. А. Романовой, позволили получить фундаментальные данные о качественном и количественном составе крупно- и тонкодисперсных минералов основных типов почв и почвообразующих пород республики, установить их генетическую принадлежность, выявить характер и направленность изменения минералов илистой фракции под влиянием природных и агрогенных процессов, разработать метод установления и разграничения почвенных новообразований – псевдофибров и седиментационных прослоек – глинофибров, выявить физико-химические особенности поглощения ионов калия из минеральных удобрений, установить влияние естественного и техногенного изотопа калия-40 на степень радиоактивного загрязнения почв сельскохозяйственных земель, научно интерпретировать минералого-микроморфологические особенности фиксации цезия-137 в почвах загрязненных территорий после аварии на ЧАЭС.

Научные гипотезы и идеи В. Д. Лисицы всегда отличались оригинальностью. Он пропагандировал и отстаивал научную идею об использовании почвообразующих пород в качестве почвенного субстрата для создания искусственных почв с заданными агрохимическими свойствами, прежде всего для территорий радиоактивного загрязнения, что отражено в совместных публикациях, одна из которых «Достать почву из-под земли (о концептуальной возможности радикально обезвреживания территорий, которые загрязнены радионуклидами)» (Промышленная безопасность, 2000, № 2, с. 38–39). В начале 2000-х гг. Владимиром Даниловичем с соавторами впервые предложена новая ресурсо- и энергосберегающая технология производства известковых мелиорантов: «Вместо муки – гранулы» (Промышленная безопасность, 2001, № 7, с. 42–43). Он стоял у истоков исследований спектральной отражательной способности почв для дистанционного зондирования земель республики. В его научных планах значилось создание «Атласа спектральной отражательной способности почв Беларуси».

Владимир Данилович являлся одним из основателей Белорусского общества почвоведов (1995 г.), ныне – Белорусское общество почвоведов и агрохимиков. С именами В. Д. Лисицы, Н. И. Смеяна, Т. А. Романовой связана организация V съезда Всесоюзного общества почвоведов в 1977 г., а затем и последующих

съездов почвоведов, проводимых в республике. Даже пребывая на заслуженном отдыхе, Владимир Данилович оставался равнодушным к его деятельности и на общественных началах принимал активное участие в популяризации знаний о почвах. Так, с 2003 по 2011 гг. им единолично и в соавторстве опубликовано 25 научных и научно-популярных статей, получены 3 патента на изобретение, подготовлена и издана монография «Глинистые минералы почв Беларуси» (в соавторстве с В. Т. Сергеенко, ред. А. Ф. Черныш).

Всего В. Д. Лисица опубликовал 125 научных работ, в том числе 4 патента на изобретения, 1 монографию, подготовил 19 научных отчетов, 125 отзывов на кандидатские и докторские диссертации из Беларуси, России, Азербайджана, Грузии, Литвы, Латвии, Молдовы, Украины.

Результаты научной деятельности В. Д. Лисицы внесли неоценимый вклад в развитие генетического почвоведения Беларуси, фундаментальных исследований в области минералогии и микроморфологии почв, решение теоретических и прикладных задач почвоведения, агрохимии и агроэкологии на современном этапе и в будущем.

Владимир Данилович был неординарным человеком с пытливым и острым умом, неиссякаемой энергией, разносторонними энциклопедическими знаниями, всегда принципиальным и твердо отстаивающим свою позицию. Он всегда находился в научном и творческом поиске ответов на актуальные вопросы почвоведения, геологии, истории, его научные взгляды опережали время.

До последних дней своей жизни он оставался преданным науке, мудрым учителем, интересным собеседником, заботливым отцом для своих любимых дочерей, исследователем истории родной страны.

Владимир Данилович Лисица ушел из жизни в ноябре 2017 г. Светлая память о нем навсегда останется в сердцах родных, коллег и друзей.

# РЕФЕРАТЫ

## 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.459:631.445.2:633

**Цыбулько Н. Н., Устинова А. М., Юхновец А. В., Цырибко В. Б., Касьяненко И. И.** Влияние эродированности дерново-подзолистых почв на продуктивность сельскохозяйственных культур (результаты длительных полевых опытов) // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 7.

Зерновые культуры снижают урожайность на дерново-подзолистых слабосмытых почвах в среднем 5–7 % по сравнению с незэродированными почвами, на средне- и сильносмытых почвах на 10–11 и 18–20 % соответственно. Недоборы урожайности рапса на слабо- и среднесмытых почвах такие же, как и для зерновых культур, а на сильносмытых почвах в среднем 26 %, в отдельные годы – до 30 %. Наиболее существенно реагируют на эродированность почв зернобобовые культуры. Продуктивность их на слабо-, средне- и сильносмытых почвах на 10–30 % и до 40 % ниже, чем на незэродированных почвах.

На дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках влияние эродированности почвы на урожайность сельскохозяйственных культур проявляется в меньшей степени, чем на дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках. На склонах северных экспозиций урожайность сельскохозяйственных культур на смытых почвах по отношению к несмытым почвам снижается более существенно, чем на склонах южных экспозиций. Различия составляют в среднем 4–5 %.

Табл. 4. Рис. Библиогр. 8.

УДК 631.4

**Азарёнок Т. Н., Л. И. Шибут, Дыдышко С. В., Матыченкова О. В., Ананько Е. Д.** / Динамика гранулометрического состава почв Беларуси (по данным крупномасштабных почвенных обследований и землеоценочных работ сельскохозяйственных земель) // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 18.

Представлена характеристика гранулометрического состава почв пахотных земель Беларуси как одного из основных факторов плодородия почв, показано относительное плодородие почв различного гранулометрического состава по современной шкале оценочных баллов почв, проведен анализ динамики гранулометрического состава почв по материалам различных туров крупномасштабного почвенного обследования (I–III тур) и кадастровой оценки (I–II тур) как в разрезе областей, так и по республике в целом, и выявлены тенденции и причины его изменений.

Табл. 5. Рис. 4. Библиогр. 31.

УДК 579.67:632.15

**Михайловская Н. А., Барашенко Т. Б., Погирницкая Т. В., Дюсова С. В.** Скрининг зональных изолятов *Pseudomonas* sp. По устойчивости к глифосату и его утилизации как источника углерода и фосфора // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 35.

Скрининг зональных изолятов *Pseudomonas* sp. при культивировании на твердых и жидкой питательных средах с разными источниками углерода и фосфора на фоне возрастающих концентраций глифосата позволил определить перспективные целевые объекты, способные метаболизировать гербицид глифосат как источник фосфора. Результаты скрининга показали, что зональные фосфатрастворяющие бактерии *Pseudomonas* sp. практически не способны использовать глифосат как единственный источник углерода для метаболизма.

Табл. 5. Рис. 1. Библтогр. 37.

## 2. ПЛОДРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.86

**Серая Т. М., Богдевич И. М., Богатырева Е. Н., Станилевич И. С.** Повышение запасов органического вещества в почвах пахотных земель Республики Беларусь // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 49.

В статье представлен анализ динамики органического вещества в почвах и распределение почв пахотных и луговых земель по группам содержания гумуса по последним данным крупномасштабного агрохимического обследования почв республики (2015–2018 гг.). С целью повышения запасов органического вещества предложены оптимальные соотношения пропашных культур и многолетних трав в структуре посевных площадей, определена потребность в органических удобрениях и приведен расчет возможных объемов производства органических удобрений и других источников для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель. В процессе применения органических удобрений представлены технологические аспекты повышения эффективности их использования.

Табл. 9. Рис. 1.

УДК 631.821.1

**Пироговская Г. В., Сороко В. И., Хмелевский С. С., Максимчук А. С., Ермолович И. Е., Даниленко К. В., Леонтьев В. Б., Кривко И. А., Коваленко О. Н., Гапечкина А. С.** Эффективность сыромолотого доломита в действии и последствии на дерново-подзолистых супесчаных и легкосуглинистых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 64.

В статье приводятся данные по эффективности доломитовой муки и сыромолотого доломита в звене севооборотов (2019–2021 гг.) на дерново-подзолистых

рыхлосупесчаных почвах (Минская область), на пахотных дерново-подзолистых легкосуглинистых и на связносупесчаных и легкосуглинистых, используемых под пастбища (Витебская область). Показано влияние известковых мелиорантов на урожайность культур звена севооборотов, их продуктивность, содержание элементов питания в основной продукции, сдвиг почвенной кислотности от 1 т СаСО<sub>3</sub> в 1 год действия и 1–2 год их последствий. Рассчитана экономическая эффективность применения доломитовой муки и сыромолотого доломита в звене севооборота просо (2019 г.)–овес (2020 г.)–ячмень (2021 г) на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве.

Табл. 7. Библиограф. 23.

УДК 631.8:633.11

**Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Кирдун Т. М., Мачок Т. В., Бирюкова О. М., Белявская Ю. А., Торчило М. М.** Эффективность систем удобрения озимой пшеницы на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 78.

В полевом технологическом опыте проанализирована агроэкономическая эффективность минеральной и органоминеральной систем удобрения озимой пшеницы с применением подстилочного навоза КРС и соломы. Наиболее оптимальной для озимой пшеницы на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве была система удобрения, включающая внесение N<sub>70+40+40</sub>P<sub>65</sub>K<sub>115</sub> на фоне соломы с компенсирующей дозой азота, обеспечившая получение урожайности зерна 64,1 ц/га с содержанием сырого протеина 14,24 %, клейковины – 28,94 %, коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем: N – 1,4, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 1,2, K<sub>2</sub>O – 2,5, условный чистый доход при условии реализации зерна как продовольственного – 455 USD/га, рентабельность применения удобрений – 195 %, при использовании на фураж – 71 USD/га и 31 % соответственно.

Табл. 5. Библиогр. 13.

УДК 631.8:633.11:631.559:631.445.2

**Вильдфлуш И. Р., Пироговская Г. В., Кулешова А. А.** Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на продукционные процессы и урожайность яровой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 88.

Установлено положительное влияние комплексных удобрений, микроудобрений, регуляторов роста и комплексного микроудобрения с регуляторами роста на динамику накопления биомассы, площадь листовой поверхности, фотосинтетическую деятельность и урожайность яровой пшеницы. Максимальная площадь листовой поверхности отмечена в варианте с применением МикроСтим-Медь Л на фоне N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> – 50,1 тыс. м<sup>2</sup>/га, а наибольшее накопление сухого вещества (1488,3 и 1495,2 г/100 растений) было в вариантах с внесением МикроСтим-Медь Л и Нутривант плюс на фоне N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub>.

Значения фотосинтетического потенциала и чистой продуктивности при этом составили 0,66–0,64 млн м<sup>2</sup> сут/га и 2,7–2,9 г/м<sup>2</sup> сутки.

Некорневая подкормка пшеницы микроудобрениями Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л на фоне N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> повышала урожайность зерна на 4,3 и 5,8 ц/га зерна. Обработка посевов комплексными удобрениями Нутривант плюс, Кристалон и Адоб Профит в фазе кущения на фоне N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> дала прибавку урожайности зерна пшеницы сорта Бомбона 6,8; 4,4 и 5,3 ц/га.

Применение нового комплексного удобрения для яровых зерновых культур (NPK) марки 16-12-20 с 0,20 % Си и 0,10 % Мп по сравнению с вариантом, где в эквивалентной дозе (N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>) применяли карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий, увеличивало урожайность пшеницы на 8,4 ц/га.

Наиболее высокая урожайность зерна яровой пшеницы (69,7 и 70,3 ц/га) получена при некорневой подкормке микроудобрением МикроСтим-Медь Л и комплексным удобрением Нутривант плюс на фоне N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub>.

Табл. 4. Библиогр. 13.

УДК: 631.438:631.83

**Путятин Ю. В.** Влияние калийных удобрений и обеспеченности почвы подвижным калием на накопление <sup>137</sup>Cs зернофуражными культурами // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 100.

В полевом стационарном эксперименте на дерново-подзолистой супесчаной почве внесение возрастающих доз калийных удобрений оказало существенное влияние на снижение поступления <sup>137</sup>Cs в зерно озимого тритикале. Внесение N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> по сравнению с контрольным вариантом снизило переход <sup>137</sup>Cs в зерно тритикале на 51 %, внесение N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>120</sub> на 55 %. Минимальная удельная активность зерна по <sup>137</sup>Cs – 2,29 Бк/кг отмечена при внесении N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>180</sub>. В маршрутных исследованиях установлена достаточно тесная отрицательная связь между содержанием в почве подвижного калия и накоплением <sup>137</sup>Cs зерном различных культур. Содержание подвижного калия, при котором отмечено минимальное накопление <sup>137</sup>Cs яровой пшеницей составляет 419 мг/кг, ячменем 413 мг/кг, кукурузой 432 мг/кг и горохом 350 мг/кг.

Табл. 3. Рис. 2. Библиогр. 13.

УДК 631.438.2:631.44:631.8

**Цыбулько Н. Н., Шашко А. В.** Накопление <sup>137</sup>Cs в растениях и продуктивность разнокомпонентных бобово-злаковых травосмесей на торфяно-глеевой почве при внесении макро- и микроудобрений // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 108.

Не установлено существенного влияния вида бобового компонента в бобово-злаковой травосмеси на накопление <sup>137</sup>Cs в сене. На торфяно-глеевой почве фосфорные и калийные удобрения в дозах P<sub>60</sub>K<sub>180</sub> снижают активность <sup>137</sup>Cs в сене первого укоса на 28–37 %, в сене второго укоса – на 23–34 %. Азотные

удобрений в дозе  $N_{30}$  и совместно с микроэлементами (Cu, B, Mo) способствуют уменьшению концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в травах до 2 раза.

Размещение бобово-злаковых травосмесей на торфяно-глеевых почвах имеет ограничения при использовании сена мясному поголовью. При получении сена второго укоса без применения удобрений допустимая плотность загрязнения почв не превышает 7–9 Ки/км<sup>2</sup>, при внесении только фосфора и калия в дозах  $P_{60}K_{180}$  – 8–13 Ки/км<sup>2</sup>. При применении  $N_{30-60}P_{60}K_{180}$  с микроэлементами нормативно чистое сено трав с участием лядвенца возможно производить при плотности загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  до 23–27 Ки/км<sup>2</sup>, сено трав с участием клевера – до 18–20 Ки/км<sup>2</sup> и сено трав с участием галеги – до 16–19 Ки/км<sup>2</sup>.

Наиболее высокую продуктивность обеспечила бобово-злаковая травосмесь с галеей восточной, которая составила при внесении  $N_{60}P_{60}K_{180}$  + микроэлементы 144,4 ц/га сена или 75,1 ц/га кормовых единиц и окупаемости минеральных удобрений 13,9 к. ед.

Табл. 4. Рис. 1. Библиограф. 3.

УДК 631.438:631.8:633.1

**Хмелевский С. С., Пироговская Г. В., Сороко В. И., Даниленко К. В., Максимчук А. С., Ермолович И. Е.** Влияние новых форм комплексных удобрений на урожайность и накопление  $^{137}\text{Cs}$  яровыми зерновыми культурами на загрязненной радионуклидами дерново-подзолистой связносупесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 118.

В статье приводятся данные по влиянию новых форм комплексных удобрений на урожайность (основной и побочной продукции), содержание элементов питания и накопление  $^{137}\text{Cs}$  яровыми зерновыми культурами (ячмень, овес) в условиях 2020–2021 гг. на загрязненной радионуклидами дерново-подзолистой связносупесчаной почве. Выявлены перспективные формы комплексных удобрений с модифицирующими добавками положительно влияющие на урожайность яровых зерновых культур, при накоплении радионуклидов ниже республиканских допустимых уровней.

Табл. 4. Рис. 2. Библиограф. 32.

УДК 633.15:631.8:631.559:636.086.255

**Мосур С. С.** Влияние макро-, микроудобрений и регулятора роста на динамику накопления сухого вещества, урожайность зеленой массы кукурузы и вынос элементов питания с урожаем // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 132.

Кукуруза – одна из важнейших сельскохозяйственных культур в мире.

Значительному накоплению сухого вещества, повышению продуктивности фотосинтеза способствует применение удобрений, что в свою очередь положительно влияет на увеличение урожая кукурузы.

В опытах также исследовали вынос элементов питания полученным урожаем зеленой массы кукурузы, ее качество и химический состав.

Применение органоминеральной системы удобрения способствовало получению наибольшей урожайности зеленой массы кукурузы, содержания сухого вещества, а также наибольшее содержание в ней азота и сырого протеина среди всех применяемых систем удобрения. При внесении 60 т навоза +  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  и 60 т/га навоза +  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  + МикроСтим-Цинк урожайность зеленой массы составила 697 и 737 ц/га. Максимальное количество сухого вещества получено в варианте с применением навоз +  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  + МикроСтим-Цинк (фаза вымётывание – 126,33 ц/га, фаза молочно-восковая спелость – 204,66 ц/га), что и обеспечило максимальную урожайность зеленой массы. Максимальное содержание азота (1,79 %) и сырого протеина (11,23 %) было в варианте с применением навоза на фоне  $N_{90}P_{70}K_{120}$  +  $N_{30}$ . Удельный вынос по азоту была максимальным в вариантах навозно-минеральной системы удобрения (навоз 60 т/га +  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  и навоз 60 т/га +  $N_{90+30}P_{70}K_{120}$  + МикроСтим-Цинк (75 г/га Zn) и составил 4,5 и 4,7 кг/10 ц.

Минимальный удельный вынос азота, фосфора и калия был в варианте без применения удобрений. По фосфору удельный вынос в удобряемых вариантах был довольно стабильным и колебался в незначительных пределах – 1,3–2,0 г/т. Максимальный удельный вынос меди и цинка отмечен в варианте с применением некорневой подкормки микроудобрением МикроСтим-Цинк, Медь – 4,7 и 25,4 г/10 ц соответственно.

Табл. 5. Библиогр. 14.

УДК 631.8:633.521

**Корнейкова Ю. С., Вильдфлуш И. Р.** Влияние комплексного применения минеральных удобрений, регуляторов роста и биопрепаратов на урожайность и качество льна масличного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 143.

В статье приведены результаты исследований в среднем за три года со льном масличным сорта Брестский, проведенных в северо-восточной части Беларуси на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. В полевых опытах изучалось влияние комплексного использования минеральных удобрений, регуляторов роста растений и биопрепаратов на урожайность и качество льнопродукции.

Наиболее эффективным оказалось использование брассиностероидов (эпина и гомобрассинолида) в два приема: с семенами при их инкрустировании и опрыскивании посевов в фазу «елочки» на фоне полного минерального удобрения в дозе  $N_{45}P_{60}K_{90}$ . При этом, урожайность семян составила 16,7–17,2 ц/га с содержанием в них масла – 49,7–50,1 %; урожайность соломы – 41,7–42,3 ц/га при среднем номере 0,5–1,0 ед. Отмечена высокая эффективность инокуляции семян льна бинарным микробным препаратом Биолинум на фоне полного минерального питания ( $N_{45}P_{30}K_{90}$ ). При таком уровне питания в опытах получено в среднем за три года 17,6 ц/га семян с содержанием в них жира 50,8 % и 42,2 ц/га соломы средним номером 0,75–1,00 ед.

Табл. 4. Библиогр. 16.

---

УДК 633.888:631.8:581.43

**Тарасенко С. А., Ануфрик О. М.** Влияние удобрений на продукционный процесс, урожайность и качество корней и корневищ валерианы лекарственной // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 155.

Наиболее эффективный уровень применения органических и минеральных удобрений (60 т/га навоза +  $N_{120}P_{80}K_{160}$ ) обеспечивает образование оптимальных показателей продукционного процесса растений валерианы лекарственной (биологическую массу, размер листовой поверхности, содержание хлорофилла), вызывает формирование максимальной урожайности корней и корневищ в пределах 38,8–61,6 ц/га, рост экстрактивности сырья в 1,21–1,46 раза больше стандарта, повышение зольности и количества нитратов не более предельных допустимых параметров.

Табл. 5. Библиогр. 10.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия», согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 30 января 2020 г. № 22 (с изменениями, внесенными приказами ВАК от 09.03.2020 № 62; от 08.07.2020 № 156; от 22.09.2020 № 200; от 20.10.2020 № 230; от 11.11.2020 № 266; от 20.11.2020 № 271), включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований. Направляемые статьи должны являться оригинальными материалами, не опубликованными ранее в других печатных изданиях.

Текст научной статьи должен быть подготовлен в соответствии с требованиями главы 5 Инструкции по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации (утверждена Постановлением ВАК Республики Беларусь от 28.02.2014 № 3) и иметь следующую структуру: индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК); введение; основную часть (разделы – методы и объекты исследований, результаты исследований и их обсуждение), выводы, список цитированных источников. К статье прилагается аннотация на русском и английском языках (с переводом названия статьи, фамилий авторов). Статья должна быть подписана всеми авторами.

Объем статьи не должен превышать 10 страниц формата А4. Все материалы представляются в электронном виде.

Электронный вариант должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word шрифтом Arial (размер кегля – 10 пт, через одинарный интервал, абзац – 0,75). Рисунки даются в формате TIF, JPG 300–600 точек на дюйм. Текст на рисунках также должен быть набран гарнитурой Arial, размер кегля соизмерим с размером рисунка. Подписи к рисункам и схемам делаются отдельно. Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

Размерность всех величин, используемых в статьях, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ).

Сведения об источниках оформляются в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 7.80-2000 «Библиографическая Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 25.06.2014, 7/2786 9 запись. Заголовок. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.82-2001 «Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.12-93 «Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.11-2004 «Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных европейских языках», государственным стандартом Республики Беларусь СТБ 7.12-2001 «Библиографическая запись. Сокращение слов на белорусском языке. Общие требования и правила».

Поступившая статья направляется на рецензию, затем визируется членом редколлегии и рассматривается на заседании редколлегии. Возвращение статьи автору на доработку не означает, что она принята к печати. Статьи не по профилю журнала возвращаются авторам после заключения редколлегии.

Редакция оставляет за собой право вносить в текст редакционную правку.