

ISSN 0130-8475

---

**Институт почвоведения и агрохимии**

---

# **ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

*Основан в 1961 г.*

**№ 2(61)  
Июль–декабрь 2018 г.**

Минск  
2018

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

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

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

Главный редактор *В.В. ЛАГА*

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

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

## **ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ**

**2(61)**

***Июль–декабрь 2018 г.***

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

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

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

Подписано в печать 20.12.2018. Формат 70х100 1/16. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 13,65. Уч.-изд. л. 11,12. Тираж 100 экз. Заказ 432.

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», 2018

# СОДЕРЖАНИЕ

## 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

<b>Лапа В. В., Шибут Л. И., Азаренок Т. Н.</b> Перспективы повышения плодородия почв пахотных земель Беларуси (по материалам второго тура кадастровой оценки).....	7
<b>Цырыбка В. Б., Усцінава Г. М., Лагачоў І. А., Касьяненка І. І.</b> Асаблівасці выкарыстоўвання Міжнароднай сістэмы класіфікацыі глеб WRB ў Беларусі .....	14
<b>Дыдышко С. В., Азаренок Т. Н., Шульгина С. В.</b> Взаимосвязь гумуса и гранулометрического состава дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв разной степени агрогенной трансформации .....	20
<b>Генин В. А.</b> Методические подходы к картографированию содержания гумуса по данным дистанционного зондирования земли.....	32

## 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

<b>Цыбулько Н. Н.</b> Вклад азота почвы и удобрений в формирование урожаяев сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах.....	43
<b>Пироговская Г. В., Хмелевский С. С., Сороко В. И., Исаева О. И., Пиларж М., Балек П.</b> Эффективность применения удобрения UREA <sup>stabil</sup> (в технологии возделывания озимой пшеницы) на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах в Беларуси .....	55
<b>Станилевич И. С., Богдевич И. М., Путятин Ю. В.</b> Эффективность минеральных удобрений при возделывании ярового тритикале на разных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой суглинистой почвы обменным магнием .....	72
<b>Станилевич И. С., Путятин Ю. В., Богдевич И. М.</b> Качество зерна ярового тритикале в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием и доз минеральных удобрений.....	80
<b>Вильдфлуш И. Р., Мишура О. И.</b> Эффективность применения систем удобрения при возделывании клевера лугового на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве .....	88
<b>Путятин Ю. В.</b> Обменный кальций почвы и накопление <sup>90</sup> Sr сельскохозяйственными культурами.....	95

<b>Путятин Ю. В., Богдевич И. М., Сидорейко Н. В.</b> Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы на накопление <sup>137</sup> Cs зеленой массой кукурузы.....	102
<b>Цыбулько Н. Н., Жукова И. И., Евсеев Е. Б.</b> Накопление <sup>137</sup> Cs многолетними злаковыми травами на торфянисто-глеевой почве в зависимости от доз калийных удобрений.....	112
<b>Рак М. В., Титова С. А., Николаева Т. Г., Гук Л. Н., Артюх Ю. А.</b> Эффективность некорневых подкормок кукурузы цинком при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы этим элементом .....	120
<b>Иванова Н. С.</b> Влияние микроудобрений АДОБ на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве .....	129
<b>Белявская Ю. А., Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Кирдун Т. М.</b> Эффективность возделывания кабачка в разных системах земледелия на дерново-подзолистой высококультуренной суглинистой почве .....	136
<b>Жабровская Н. Ю., Пироговская Г. В., Семенов Н. Н.</b> Изменение биохимических показателей овощной продукции в зависимости от применения удобрений.....	145
<b>Жабровская Н. Ю., Устинова А. М.</b> Влияние агрохимических показателей дерново-подзолистых почв на урожайность овощных культур .....	152
Рефераты .....	161
Правила для авторов .....	168

---

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

- Lapa V. V., Shibut L. I., Azarenok T. N.** Prospects for increasing soil fertility in arable land in Belarus (based on the second round of the cadastral valuation)..... 7
- Tsyrybka V. B., Ustsinava G. M., Lahachou I. A., Kasyanenko I. I.** Features of using the International soil classification system WRB in Belarus..... 14
- Dydyshka S. V., Azarenok T. N., Shul'gina S. V.** The interrelation of the humus and granulometric texture of the sod-pale-podzolic light loamy soils of a different degree of agrogenic transformation..... 20
- Henin U. A.** Methodological approaches to mapping the content of humus using remote sensing data ..... 32

**2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION**

- Tsybulko N. N.** The contribution of soil nitrogen and fertilizers to the formation of crops of agricultural crops in sod-podzolic soils ..... 43
- Pirahouskaya H. V., Khmialeuski S. S., Saroka V. I., Isaeva A. I., Martin P., Balek P.** Efficiency of application fertilizer UREA<sup>stabil</sup> (in cultivation technology of winter wheat) on sod-podzolic light-loamy soils in Belarus ..... 55
- Stanilevich I. S., Bogdevitch I. M., Putyatin Yu. V.** The spring triticale yield response to fertilizers at different levels of magnesium supply of sod-podzolic light loamy soil..... 72
- Stanilevich I. S., Putyatin Yu. V., Bogdevitch I. M.** The quality of spring triticale grain depending on the exchangeable magnesium supply of sod-podzolic loamy soil and rates of mineral fertilizers ..... 80
- Vildflush I. R., Mishura O. I.** The effectiveness application of systems of fertilizers in the cultivation of red clover on sod-podzolic light loamy soil..... 88
- Putyatin Yu. V.** Exchangeable calcium of soil and <sup>90</sup>Sr accumulation by crops..... 95
- Putyatin Yu. V., Bogdevitch I. M., Sidoreiko N. V.** Influence of agrochemical properties of sod-podzolic sandy soil on the accumulation <sup>137</sup>Cs by green mass of corn..... 102
- Tsybulka N. N., Zhukova I. I., Evseev E. B.** Accumulation of <sup>137</sup>Cs perennial cereal grasses on pearly-glay soil depending from rates of potassium fertilizers ... 112

<b>Rak M. V., Titova S. A., Nikolaeva T. G., Hooke L. N., Artyukh Yu. A.</b> Efficiency of using non-root dressings of winter wheat under different zinc soil availability .....	120
<b>Ivanova N. S.</b> The effect of microfertilities of ADOB on the yield and quality of grain of winter wheat on the sod-podzolic high cultured light loamy soil .....	129
<b>Belyavskaya Y. A., Seraya T. M., Bogatyrova E. N., Kirdun T. M.</b> Efficiency of zucchini cultivation in various farming systems on the sod-podzolic highly cultured loamy soil .....	136
<b>Zhabrovskaja N. Yu., Pirogovskaya G. V., Semenenko N. N.</b> Changes of biochemical indicators of vegetable products depending on the use of fertilizers .....	145
<b>Zhabrovskaja N. Yu., Ustinova A. M.</b> The effect of agrochemical characteristics of sod-podzolic soils on productivity of vegetable cultures .....	152
Summaries .....	161
Instructions for authors .....	168

# 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.452:631.472.17(476)

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ (по материалам второго тура кадастровой оценки)

**В. В. Лапа, Л. И. Шибут, Т. Н. Азаренок**

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

### ВВЕДЕНИЕ

В 2016 году в Беларуси завершился второй тур кадастровой оценки сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств. Согласно методике [1] кадастровая оценка состоит из трех самостоятельных частей (этапов):

- 1) оценка плодородия почв рабочих участков, характеризующая уровень урожайности сельскохозяйственных культур;
- 2) оценка их технологических свойств и местонахождения, характеризующая уровень затрат на выполнение полевых и транспортных работ, связанных с сельскохозяйственным производством;
- 3) обобщающая оценка земли как средства производства (возделывания сельскохозяйственных культур).

Основными показателями, характеризующими качество земель, которые определялись в этом туре оценки, являются: общий балл кадастровой оценки, балл плодородия почв, нормативный чистый доход, дифференциальный доход, кадастровая стоимость. Эти показатели установлены по всем видам земель (пахотные, луговые улучшенные, луговые естественные, сельскохозяйственные в целом) для всех сельскохозяйственных организаций, районов, областей и республики в целом.

Для широкого использования результаты оценки переданы всем сельскохозяйственным организациям, районным и областным управлениям сельского хозяйства и продовольствия, Министерству сельского хозяйства и продовольствия, размещены на сайте Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь и опубликованы в монографии «Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика» [2].

Кроме основных показателей при проведении кадастровой оценки рассчитывается ряд других характеристик, свойств почв или участков, которые, наряду с основными, широко используются для решения различных задач в сфере сельскохозяйственного производства и земельных отношений.

Таковыми дополнительными показателями в разделе «Оценка плодородия почв» являются: исходный балл почв, средневзвешенные поправочные коэффициенты к исходным баллам почв пахотных земель по областям и республике, показатели оценки плодородия почв по сельскохозяйственным культурам, площади почв по гранулометрическому составу, которые опубликованы в выше упомянутой монографии.

Именно исходный балл почв и средневзвешенные поправочные коэффициенты, учитывающие состояние земель (в т.ч. окультуренность, неоднородность почвенного покрова, генезис почвообразующих пород и др.) являются основой для расчета резервов и возможностей повышения плодородия почв на ближайшую перспективу.

В связи с этим целью данной работы является анализ результатов второго тура кадастровой оценки сельскохозяйственных земель Беларуси, установление влияния различных факторов на оценку плодородия почв и возможностей его повышения за счет улучшения и доведения этих факторов до оптимальных параметров.

## **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Оценка плодородия почв является первой и наиболее важной составной частью комплексной кадастровой оценки сельскохозяйственных земель и заключается в определении их пригодности (в баллах) по совокупности природных свойств для возделывания сельскохозяйственных культур [1, 2]. Основой оценки плодородия почв является шкала оценочных баллов. По шкале оцениваются типовые различия, характер и степень увлажнения, гранулометрический состав почвообразующих и подстилающих пород, литологическое строение профиля как наиболее стабильные характеристики, определяющие уровень плодородия почв при оптимальных условиях реализации их генетического потенциала (исходный балл). В современной шкале оценочных баллов в зависимости от типа, увлажнения и гранулометрического состава отражена балльность 332 почвенных разновидностей для возделывания на них 16 сельскохозяйственных культур (или их групп) и средние баллы для пахотных земель.

Другие факторы и характеристики (агрохимические, культуртехнические, климатические, мелиоративные), влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур, учитываются с помощью поправочных коэффициентов. Всего для пахотных земель, земель под постоянными культурами (многолетними насаждениями), улучшенных луговых земель вводятся поправочные коэффициенты на эродированность, каменистость (завалуненность), агрохимические свойства почв (окультуренность), контурность (площадь отдельно обрабатываемого участка, или удельный периметр), мелиоративное состояние осушенных земель, неоднородность почвенного покрова, генезис почвообразующих пород и агроклиматические условия (8 показателей). Для естественных луговых земель – на агрохимические свойства почв, закустаренность и агроклиматические условия (3 показателя).

На основании опытных данных для всех этих характеристик были установлены оптимальные параметры, необходимые для жизнедеятельности растений и проведения сельскохозяйственных работ. Оптимальные параметры агрохимических

свойств зависят от гранулометрического состава почв и вида земель. На пахотных землях они равны:

- для глинистых и тяжелосуглинистых почв: по кислотности (рН) – 6,2–6,8, по содержанию фосфора ( $P_2O_5$ ) – 300–350 мг/кг, калия ( $K_2O$ ) – 250–300 мг/кг, гумуса – 2,8–3,2 %;
- для средне- и легкосуглинистых почв: рН 6,0–6,7;  $P_2O_5$  – 300–350 мг/кг;  $K_2O$  – 200–300 мг/кг, гумус – 2,6–3,0 %;
- для связносупесчаных почв: рН 5,8–6,5;  $P_2O_5$  – 250–300 мг/кг;  $K_2O$  – 190–250 мг/кг, гумус – 2,4–2,8 %;
- для рыхлосупесчаных почв: рН 5,5–6,2;  $P_2O_5$  – 200–250 мг/кг;  $K_2O$  – 170–230 мг/кг, гумус – 2,2–2,6 %;
- для песчаных почв: рН 5,5–5,8;  $P_2O_5$  – 150–230 мг/кг;  $K_2O$  – 120–200 мг/кг, гумус – 2,0–2,4 %;
- для торфяных почв: рН 5,0–5,3;  $P_2O_5$  – 700–1000 мг/кг;  $K_2O$  – 600–800 мг/кг [1].

Оптимальным размером обрабатываемого участка является 25 га. По эродированности оптимальным состоянием считается полное отсутствие признаков эродированности, по каменистости – отсутствие камней или их наличие до 5 м<sup>3</sup>/га, по мелиоративному состоянию – такое состояние мелиоративных систем, при котором не требуется ни реконструкция осушительной сети, ни проведение агро-мелиоративных мероприятий. Исходя из неоднородности почвенного покрова, оптимальным является участок, представленный одной почвенной разновидностью. При установлении поправочных коэффициентов на климатические условия учитывались: сумма температур более 10°, сумма осадков за этот период, гидротермический коэффициент, континентальность климата, наличие заморозков в мае и засушливых явлений в июне.

Затем для каждого из этих факторов были разработаны таблицы поправочных коэффициентов, показывающие снижение плодородия почв при их несоответствии оптимальным параметрам.

Если показатели, характеризующие какой-либо участок, ниже или хуже оптимальных, то при оценке земель последовательно вводятся поправочные коэффициенты к исходным баллам почв, полученным по шкале. В результате получается окончательный (фактический) балл – балл плодородия почв.

Исходя из оценки рабочих участков, были определены средневзвешенные поправочные коэффициенты более крупных территориальных единиц (хозяйств, районов, областей, республики), которые позволили установить влияние всех учитываемых при оценке факторов на плодородие почв.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исходные и фактические баллы, а также снижение (или увеличение) балльной оценки пахотных земель по областям и республике за счет всех этих факторов (характеристик) приведено в табл. 1.

Как видно из таблицы, наибольшее снижение плодородия почв произошло за счет климатических условий (8,3 балла), окультуренности (5,4 балла) и контурности земель (2,3 балла). Эродированность, завалуненность (каменистость), неодно-

родность и мелиоративное состояние осушенных земель в целом по республике играют небольшую роль в оценке земель (0,6–0,3 балла), однако в отдельных областях, и особенно районах, их влияние более существенно, поэтому они также учитываются при оценке. Увеличение плодородия почв произошло только за счет генезиса почвообразующих пород (в среднем по республике – на 0,2 балла, максимальное – на 0,8 балла, Гродненская область). По двум областям оно снизилось: в Брестской – на 0,4 балла, в Гомельской – на 0,1 балла.

Разница между исходными и фактическими баллами показывает не только снижение плодородия почв за счет неудовлетворительного состояния этих факторов, но в то же время и возможные резервы его повышения при уменьшении или ликвидации их отрицательного воздействия (т.е. при доведении до оптимальных параметров).

Таблица 1

**Изменение плодородия почв пахотных земель под влиянием различных факторов**  
(в баллах)

Область	Исходные баллы	Фактические баллы	Общее снижение	В том числе за счет:							
				окультуренности	неоднородности	генезиса	контурности	эродированности	завалуненности	мелиоративного состояния	климатических условий
Брестская	41,7	31,7	10,0	-4,0	-0,6	-0,4	-1,8	-0,2	-0,1	-0,1	-2,8
Витебская	57,2	28,1	29,1	-6,9	-0,5	+0,2	-4,8	-0,9	-0,9	-1,2	-14,1
Гомельская	40,0	28,8	11,2	-2,8	-0,5	-0,1	-1,4	-0,1	0	0	-6,3
Гродненская	50,4	35,7	14,7	-5,5	-0,5	+0,8	-1,9	-1,1	-1,8	-0,1	-4,6
Минская	50,6	33,4	17,2	-5,7	-0,6	+0,3	-1,8	-0,6	-0,4	0	-8,4
Могилевская	55,5	31,7	23,8	-7,0	-0,5	+0,2	-2,0	-1,0	-0,2	-0,1	-13,2
Беларусь	49,5	31,6	17,9	-5,4	-0,6	+0,2	-2,3	-0,6	-0,6	-0,3	-8,3

*Примечание.* Со знаком «-» – снижение плодородия почв; со знаком «+» – повышение плодородия почв.

Все эти факторы, влияющие на оценку земель, делятся на две группы: зависящие от деятельности человека и независящие. К последним относятся климатические условия, генезис почвообразующих пород, неоднородность почвенного покрова. Поэтому эти показатели как резерв повышения плодородия почв нами не рассматривались.

Из оставшихся показателей наибольшее увеличение плодородия почв возможно за счет окультуренности. При доведении агрохимических свойств до оптимальных параметров оно составит в среднем по республике 5,4 балла, изменяясь по областям от 7,0–6,9 балла в Могилевской и Витебской до 2,8 балла в Гомельской (табл. 2).

Однако этот процесс очень длительный и трудоемкий, и к тому же в 90-е годы прошлого и начале этого столетия в связи с уменьшением применения минеральных и органических удобрений он несколько замедлился (а в некоторых районах даже пошел в обратном направлении).

Таблица 2

**Резервы увеличения плодородия почв пахотных земель**

Область	Балл плодородия почв	Возможность увеличения балльной оценки						всего	в том числе до 2025 г.
		за счет							
		окультуренности	контурности	эродированности	завалу-ненности	мелиоративного состояния			
Брестская	31,7	4,0	1,8	0,2	0,1	0,1	6,2	1,2–1,6	
Витебская	28,1	6,9	4,8	0,9	0,9	1,2	14,7	2,5–3,0	
Гомельская	28,8	2,8	1,4	0,1	0	0	4,3	0,9–1,2	
Гродненская	35,7	5,5	1,9	1,1	1,8	0,1	10,4	2,1–2,6	
Минская	33,4	5,7	1,8	0,6	0,4	0	8,5	1,7–2,1	
Могилевская	31,7	7,0	2,0	1,0	0,2	0,1	10,3	2,0–2,5	
Беларусь	31,6	5,4	2,3	0,6	0,6	0,3	9,2	1,8–2,3	

При проведении 1 тура кадастровой оценки земель были использованы агрохимические показатели преимущественно 8 тура агрохимического обследования (1993–1996 гг.), при проведении 2 тура кадастровой оценки – 13 тура агрохимического обследования (2013–2016 гг.). За прошедшие 20 лет значительно увеличилось только содержание калия в почвах (со 176 до 218 мг/кг). Содержание фосфора практически осталось на прежнем уровне (185 мг/кг в 1996 г. и 188 мг/кг в 2016 г.), а по сравнению с 2012 г. даже уменьшилось на 3 мг/кг. Показатель кислотности почв уменьшился с 5,99 до 5,84 (на 0,15 единицы). Это значит, что произошло даже некоторое подкисление почв. Содержание гумуса также уменьшилось с 2,28 до 2,25 % (на 0,03 %). Хотя по сравнению с 12 туром агрохимического обследования содержание гумуса увеличилось на 0,02 % (табл. 3).

Таблица 3

**Динамика агрохимических свойств в пахотных почвах Беларуси [3, 4]**

Агрохимические свойства	Показатели агрохимических свойств по годам						
	1992 (7 тур: 1989– 1992)	1996 (8 тур: 1993– 1996)	2000 (9 тур: 1997– 2000)	2004 (10 тур: 2001– 2004)	2008 (11 тур: 2005– 2008)	2012 (12 тур: 2009– 2012)	2016 (13 тур: 2013– 2016)
pH	5,88	<b>5,99</b>	5,97	5,99	5,91	5,89	<b>5,84</b>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	188	<b>185</b>	182	178	179	191	<b>188</b>
K <sub>2</sub> O, мг/кг	182	<b>176</b>	177	190	191	206	<b>218</b>
Гумус, %	2,25	<b>2,28</b>	2,27	2,26	2,25	2,23	<b>2,25</b>

Общий (средневзвешенный) поправочный коэффициент на агрохимические свойства почв между 1 и 2 турами кадастровой оценки земель в целом по республике изменился с 0,886 до 0,894 (увеличился на 0,008), в результате чего снижение балльной оценки за счет агрохимических свойств уменьшилось на 0,3 балла (с 5,7 до 5,4 балла) [5, 6].

Учитывая тенденцию изменения агрохимических свойств почв за этот период (между турами кадастровой оценки, табл. 3) и применения удобрений в последние годы (табл. 4), можно предположить, что значительного увеличения плодородия почв за счет повышения их окультуренности в ближайшие годы не произойдет.

**Внесение минеральных и органических удобрений  
на пахотных землях Беларуси [7]**

Удобрения	Годы						
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Минеральные (кг д.в./га)	313	283	274	236	209	158	155
Органические (т/га)	10,3	9,9	9,5	10,7	10,3	9,7	9,8

Большое влияние на плодородие почв оказывает контурность (размер обрабатываемых участков). В среднем по республике увеличение плодородия почв за счет укрупнения обрабатываемых участков и доведения их до оптимальных размеров может составить 2,3 балла (по первому туру кадастровой оценки земель было 2,9 балла). Максимальный резерв имеется в Витебской области (4,8 балла), минимальный – в Гомельской (1,4 балла). Увеличение размеров обрабатываемых участков происходит в результате проведения мелиоративных (осушение заболоченных участков и создание более крупных массивов, особенно закрытым дренажом) и культуртехнических работ (уборка кустарников), внутрихозяйственного землеустройства (ликвидация ненужных дорог, нарезка более крупных полей), при проведении работ по оптимизации землепользования (малые участки исключаются из пашни и передаются в другие виды использования). Однако коренным образом увеличить размеры полей в районах с преобладанием холмисто-моренного ландшафта с очень высокой естественной расчлененностью территории невозможно. Поэтому и влияние контурности на плодородие почв исключить полностью нельзя.

Резерв повышения плодородия почв за счет проведения противоэрозионных мероприятий, уменьшающих отрицательное влияние эрозии на их плодородие, в среднем по республике составляет 0,6 балла. По областям он изменяется от 0,9–1,1 балла в Витебской, Могилевской и Гродненской областях до 0,1–0,2 балла в Гомельской и Брестской. Путем проведения противоэрозионных мероприятий можно замедлить развитие эрозионных процессов или даже их остановить, можно повысить плодородие эродированных почв внесением дополнительных доз органических и минеральных удобрений. Однако, чтобы полностью ликвидировать потери питательных веществ на эродированных почвах, необходимо очень длительное время.

В среднем по республике увеличение балльной оценки почв за счет уборки камней составляет также 0,6 балла. Максимальное увеличение возможно в Гродненской области – 1,8 балла. Практически нет завалуненных почв в Гомельской области, небольшие их площади также в Брестской и Могилевской областях. Хотя полностью убрать камни на сильнокаменистых почвах практически невозможно, так как они постоянно выпахиваются из подпахотного горизонта.

В связи с изношенностью оборудования мелиоративных сетей и небольшими темпами их реконструкции в последние годы на значительных площадях произошло их зарастание, заиление и, в конечном итоге, вторичное заболачивание территории, что отрицательно сказалось на плодородии почв. В целом по республике снижение плодородия почв за счет неудовлетворительного состояния осушенных земель небольшое и составляет 0,3 балла, достигая максимального значения (1,2 балла) в Витебской области. Проведение агро-мелиоративных мероприятий и реконструкция осушительной сети на таких землях позволит повысить их плодо-

родие. Однако провести эти работы на всех землях, требующих мелиоративного улучшения, в ближайшее время не представляется возможным.

Теоретически за счет вышеперечисленных факторов оценка плодородия почв по республике может быть увеличена на 9,2 балла. Однако, как уже отмечалось, полностью устранить влияние неблагоприятных факторов в настоящее время практически невозможно. Исходя из сложившейся ситуации, можно предположить, что в ближайшие 7–10 лет выполнить эту задачу удастся не более чем на 20–25 %, что, соответственно, приведет к повышению плодородия почв в среднем по республике на 1,8–2,3 балла (табл. 2).

## ВЫВОДЫ

1. Оценка плодородия почв Беларуси основывается на установлении исходных оценочных баллов по шкале с последующим введением поправочных коэффициентов на ряд других факторов (культуртехнических, климатических, мелиоративных и др.), оказывающих влияние на производительную способность почв и оцениваемых участков, и расчетом окончательных (фактических) баллов.

2. Это позволяет определить снижение балльной оценки за счет неблагоприятных факторов, а также возможные резервы ее увеличения при их (факторов) улучшении, или ликвидации (т.е. при доведении до оптимальных параметров).

3. Анализ результатов кадастровой оценки показывает, что в Беларуси имеются значительные резервы повышения плодородия пахотных почв за счет их дальнейшего окультуривания, увеличения контуров пашни, борьбы с эрозией почв, уборки камней, улучшения мелиоративного состояния осушенных земель.

4. Всего за счет улучшения агрохимических свойств почв, культуртехнического и мелиоративного состояния земель оценка плодородия пахотных почв республики в ближайшее время (7–10 лет) может увеличиться на 1,8–2,3 балла.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств. Содержание и технология работ / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. – Минск, 2011. – 137 с.

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

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

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

5. Мороз, Г. М. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель / Г. М. Мороз // Земля Беларуси. 2001: справочное пособие; под ред. Г. И. Кузнецова, Г. В. Дудко. – Минск, 2002. – С. 70–80.

6. Шибут, Л. И. Резервы повышения плодородия почв Беларуси (по материалам кадастровой оценки) / Л. И. Шибут // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 2 (37). – С. 40-43.

7. Лапа, В. В. Плодородие почв – основа устойчивого развития аграрной отрасли Республики Беларусь / В. В. Лапа. // Земледелие и защита растений. Приложение к журналу № 2(117). – 2018. – С. 3–9.

## PROSPECTS FOR INCREASING SOIL FERTILITY IN ARABLE LAND IN BELARUS (BASED ON THE SECOND ROUND OF THE CADASTRAL VALUATION)

V. V. Lapa, L. I. Shibut, T. N. Azarenok

### Summary

The article briefly describes the methodology for assessing the fertility of soils in the second round of cadastral valuation of agricultural lands in Belarus. The characteristics of all factors taken into account in assessing land are given, their optimal parameters necessary for plant life and agricultural work are given. The influence of various factors on the assessment of soil fertility and the possibility of its increase by improving and bringing them to optimal parameters has been established. In total, due to the improvement of the cultural and meliorative condition of the working areas, the improvement of soil cultivation, the fertility of soils can be increased by 9,2 points, including 1,8–2,3 in the next 7–10 years.

*Поступила 08.11.18*

УДК 631.44

## АСАБЛІВАСЦІ ВЫКАРЫСТОЎВАННЯ МІЖНАРОДНАЙ СІСТЭМЫ КЛАСІФІКАЦЫІ ГЛЕБ WRB У БЕЛАРУСІ

В. Б. Цырыбка<sup>1</sup>, Г. М. Усцінава<sup>1</sup>, І. А. Лагачоў<sup>2</sup>, І. І. Касьяненка<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Інстытут глебзнаўства і аграхіміі,  
г. Мінск, Беларусь*

<sup>2</sup>*Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт,  
г. Мінск, Беларусь*

### УВОДЗІНЫ

Класіфікацыя глебаў з'яўляецца незаменным інструментам для фундаментальных і прыкладных даследаванняў. Картаграфаванне глебаў, характарыстыкі структуры, грануламетрычнага складу і ўласцівасцяў, колькаснай і якаснай ацэнкі, прыдатнасці для сельскагаспадарчых культур, усе віды меліярацыйных уздзеянняў на глебы і абароны ад дэградацыі немагчымы без дэталёвай класіфікацыі ўсёй разнастайнасці глебавага покрыва [1].

У Рэспубліцы Беларусь выкарыстоўваецца генетычная класіфікацыя глебаў, якая з'яўляецца рабочым і навуковым інструментам глебава-картаграфічных, навукова-метадычных і іншых работ, якія патрабуюць навукова абгрунтаванага падыходу да выкарыстання зямельных рэсурсаў рэспублікі. Але развіццё міжнароднага супрацоўніцтва глебазнаўцаў прыводзіць да неабходнасці суадносін нацыянальнай схемы класіфікацыі глебаў і Сусветнай даведачнай базы па глебавым рэсурсам – WRB (IUSS 2015) [2].

У значнай колькасці краін Усходняй і Цэнтральнай Еўропы былі праведзены карэляцыі нацыянальнай класіфікацыі глебаў з WRB. У Польшчы [3], Латвіі [4] Румыніі [5], Венгрыі [6] таксама былі спробы карэляцыі амаль што ўсіх найбольш вядомых класіфікацыйных схем [7]. Спробы суаднесці нацыянальную сістэму з міжнароднай таксама праводзіліся і ў нашай краіне [8–10]. Гэта паказвае актуальнасць дадзенай класіфікацыі глебаў.

Карэляцыя агульнапрынятай у Беларусі глебавай класіфікацыі з міжнароднай WRB, а таксама некаторыя праблемы гэтай сістэмы былі мэтамі гэтага даследавання.

## **АБ'ЕКТЫ І МЕТАДЫ ДАСЛЕДАВАННЯЎ**

Аб'ектам даследаванняў з'яўлялася ўся разнастайнасць глеб Беларусі. Карэляцыя паміж класіфікацыямі вялася на падставе параўнальнага аналізу падыходаў і крытэрыяў да выдзялення таксонаў у гэтых дзвюх сістэмах, разглядзе раней прапанаваных айчыннымі і замежнымі навукоўцамі карэляцыі, а таксама на асабістым вопыце аўтараў па дыягностыцы глеб згодна ключу вызначэння глеб па WRB [11].

## **ВЫНІКІ ДАСЛЕДАВАННЯЎ І ІХ АБМЕРКАВАННЕ**

Асноўнай праблемай суадносін паміж разглядаемымі класіфікацыямі глебаў з'яўляецца адрозненне ў падыходах да выдзялення таксанамічных адзінак. У сістэме WRB класіфікацыя ажыццяўляецца на аснове субстантыўнага падыходу: дыягнастычных гарызонтаў, прызнакаў, якія маюць дакладныя колькасныя характарыстыкі, не прымаючы да ўвагі фактары і асаблівасці глебаўтваральных працэсаў. У класіфікацыі агульнапрынятай ў Беларусі вядучым прынцыпам ідэнтыфікацыі тыпаў глебаў з'яўляецца генетычны падыход, у якім акцэнт зроблены на ўмовах глебаўтварэння. Гэтыя падставы ствараюць вялікія цяжкасці для дакладнай карэляцыі таксанамічных адзінак дзвюх сістэм, таму неабходна адзначыць, што прапанаваная схема (табл. 1) дае толькі агульнае прадстаўленне на высокім таксанамічным ўзроўні. І павінна выкарыстоўвацца толькі для прыблізнага вызначэння асаблівасцей глебаў пры знаёмстве з замежнымі навуковымі артыкуламі або пры публікацыі вынікаў сваіх даследаванняў, якія не маюць непасрэднага дачынення да класіфікацыі глебаў для міжнароднай навуковай супольнасці. У іншых выпадках неабходна карыстацца афіцыйным выданнем FAO [2] або другімі інструкцыямі, распрацаванымі на гэтай аснове [12].

Пры правядзенні карэляцыі ў першую чаргу намі былі вылучаны рэфератыўныя групы глебаў, якія, верагодна, існуюць на тэрыторыі рэспублікі. Абапіраючыся на афіцыйнае апісанне, мы вызначылі наступныя групы: Histosols, Technosols, Leptosols, Podzols, Planosols, Stagnosols, Gleysols, Phaeozems, Retisols, Luvisols,

Arenosols, Fluvisols, і Antrosols (аднак правесці карэляцыю з беларускай класіфікацыяй немагчыма для апошняй рэфератыўнай групы).

Табліца 1

**Карэляцыя паміж тыпамі глеб, ужываемымі ў Беларусі, і рэфератыўных груп міжнароднай сістэмы WRB**

Тып глеб	Рэфератыўная група WRB
Дзярнова-карбанатныя	Leptosols, Phaeozems
Бурыя лясныя	Luvisols (Cambisols)
Падзолістыя	Podzols
Дзярнова-падзолістыя	Arenosols, Luvisols
Падзолістыя забалочаныя	Gleyic Podzols
Дзярнова-падзолістыя забалочаныя	Stagnosols, Stagnic Luvisols, Planosols, Gleyic Arenosols, Retisols
Балотна-падзолістыя	Histic/ Folic Podzols
Дзярновыя забалочаныя	Stagnic Phaeozems, Stagnosols, Gleyic Phaeozems, Gleysols
Тарфяна-балотныя нізінныя	Histic/ Folic Gleysols, Hemic Histosols
Тарфяна-балотныя верхавыя	Histic/ Folic Stagnosols, Fibric Histosols
Алювіяльныя дзярновыя і дзярновыя забалочаныя	Fluvisols, Fluvic Gleysols
Алювіяльныя балотныя	Fluvic Histic / Folic Gleysols, Fluvic Histosols
Антрапагенна-ператвораныя	Technosols, et al.

З табліцы відаць, што дакладныя суадносіны вызываюць цяжкасці, асабліва пры карэляцыі дзярнова-падзолістых глебаў. Таксама неабходна адзначыць, што тыпу антрапагенна-ператвораных глеб дакладна адпавядае толькі рэфератыўная група Technosols. Карэляцыю для гэтага тыпа глебаў складана правесці, таму ў даследаваннях кожную глебу патрэбна разглядаць асобна.

Паспрабуем удакладніць, якія глебы адносяцца да розных рэфератыўных груп, але аднаго тыпу глебы. Бурыя лясныя звычайна беларускімі даследчыкамі адносяцца да групы Cambisols [10], але ў іншых краінах часцей да – Luvisols [13], таму лічым, што кожны профіль патрэбна разглядаць асобна.

Дзярнова-карбанатныя тыповыя адпавядаюць групе Leptosols, вышчалачаныя – Phaeozems, а аподзоленыя складана аднесці да пэўнай таксанамічнай адзінкі WRB, таму лічым найлепшым не праводзіць карэляцыю.

Дзярнова-падзолістыя легкага грануламетрычнага складу ў сваёй большасці адпавядаюць рэфератыўнай групе Arenosols, а глебы цяжкага складу – Luvisols.

Найбольш складана правесці карэляцыю дзярнова-падзолістых забалочаных глеб, якім адпавядае шэраг таксанамічных адзінак з класіфікацыі WRB. Stagnosols – дзярнова-падзолістыя паверхнева-аглееныя глееватыя і глеевыя сугліністага і гліністага грануламетрычнага складу. Stagnic Luvisols – дзярнова-падзолістыя паверхнева-аглееныя слабаглееватыя такога ж складу. Planosols – для іх выдзялення патрэбна рэзкая змена грануламетрычнага складу, таму ім адпавядаюць дзярнова-падзолістыя паверхнева-аглееныя слабаглееватыя легкага грануламетрычнага складу, падсцілаемыя суглінкамі з глыбіні да аднаго метра (ва

ўмовах Беларусі гэта найбольш верагодна пяшчаныя і супяшчаныя водна-ледавіковыя, падсцілаемыя марэннымі суглінкамі). Gleyic Arenosols – дзярнова-падзолістыя грунтова-аглееныя лёгкага грануламетрычнага складу. Retisols – дзярнова-падзолістыя паверхнева-аглееныя слабаглееватыя лёгкага грануламетрычнага складу, без рэзкай змены грануламетрычнага складу.

Дзярновыя забалочаныя паверхнева-аглееныя – Stagnosols, Stagnic Phaeozems – пры ўтрыманні арганічнага вугляроду больш за 0,6 %, а таксама насычаннасці асаваннямі ад паверхні да глыбіні аднаго метру больш за 50 %. Дзярновыя забалочаныя грунтова-аглееныя – Gleysols, Gleyic Phaeozems (умовы для вызначэння, як і ў Stagnic Phaeozems).

Вызначэнне арганагенных глеб згодна ключу WRB праводзіцца па велічыні тарфянага гарызонту (больш 40 см – Histosols, менш – Histic/ Folic Gleysols, Histic/ Folic Stagnosols у залежнасці ад тыпу). Алювіяльныя дзярновыя і дзярновыя забалочаныя глебы звычайна беларускімі глебазнаўцамі адносяцца да Fluvisols, але замежнымі ў асноўным да Fluvic Gleysols [13], такія ж адрозненні сустракаюцца пры карэляцыі алювіяльных балотных глеб.

Пры дакладным вывучэнні ключу вызначэння WRB магчыма дапусціць існаванне на тэрыторыі рэспублікі рэфератыўнай групы Chernozems. Верагодна гэта будуць дзярновыя старапойменныя карбанатныя глебы Тураўскага аполля. Такое меркаванне падгрунтоўваецца асаблівасцямі і ўласцівасцямі даных глебаў [14]. Так, супадаюць амаль што ўсе абавязковыя крытэрыі для выдзялення гарызонта Chernic. Ніжэй пералічаны крытэрыі, а ў дужках паказаны ўласцівасці апісанай глебы:

- утрыманне фізічнай гліны больш за 20 % (29,4 %);
- крупністая, дробнакамкаватая або дробнаарэхаватая структура (дробнакамкавата-крупністая);
- утрыманне арганічнага вугляроду больш за 1 % (няма дадзеных);
- магутнасць гарызонту больш за 25 см (больш 70 см);
- чорны або амаль чорны колер гарызонту (цёмна-шэрага амаль чорнага);
- насычаннасць асаваннямі больш за 50 % ва ўсім гарызонце (82,4 % і больш).

На падставе напісанага вышэй магчыма дапусціць існаванне гэтай рэфератыўнай групы на тэрыторыі Беларусі, але для абсалютнага вызначэння патрэбны дадатковыя даследаванні.

У нашым даследаванні прыведзена прыблізная адпавядальнасць таксанамічных адзінак розных класіфікацыйных схем. Для класіфікацыі глеб у сістэме WRB існуе вялікая колькасць кваліфікатараў: больш значныя пішучца наперадзе назвы рэфератыўнай групы, менш – пасля назвы і ў дужках. Для параўнання пакажам назвы некалькіх глеб (табл. 2).

Табліца 2

**Назвы глебаў у розных класіфікацыях**

Беларуская класіфікацыя	Міжнародная класіфікацыя WRB
Дзярнова-падзолістая рыхласупесковая, якая развіваецца на водна-ледавіковых рыхлых супесках, зменнай з глыбіні 0,7 м лёгкім марэнным суглінкам	Albic Luvic Planosol (Anoarenic, Aric, Endoloamic, Endoraptic)
Дзярнова-глееватая намытая сярэдне-сугліністая, якая развіваецца на марэнным сярэднім суглінку	Endogleyic Phaeozem (Aric, Colluvic, Loamic)
Тарфяна-балотная верхавая сярэднемагутная, якая развіваецца на сфагнавым торфу	Dystric Fibric Histosol (Hyperorganic)

У цяперашні момант актыўна выкарыстоўваюць класіфікацыю WRB у асноўным краіны, якія не маюць нацыянальнай схемы. Актыўна гэтую сістэму вывучаюць у краінах Цэнтральнай і Ўсходняй Еўропы, праводзяць навуковыя канферэнцыі і семінары па яе практычным выкарыстанні. Нават некаторыя прапануюць пераходзіць на яе, некаторыя плануюць гарманізаваць свае класіфікацыйныя сістэмы (напрыклад, актыўна гэтым займаюцца глебазнаўцы Польшчы). Былі спробы аб'яднаць генетычны падыход і прынцып выкарыстання дыягнастычных гарызонтаў, што было зроблена ў класіфікацыі глеб Расіі 2004 годзе [15], улічваючы тое, што актыўна выкарыстоўваецца класіфікацыя глеб СССР 1977 года, яны не зусім удалыя.

На нашу думку не патрэбна адыходзіць ад генетычнага падыходу ці спрабаваць аб'яднаць два прынцыпова розных падыхода распрацоўкі глебавых класіфікацый. Тым больш, што пры дэталёвым вывучэнні сістэмы WRB у ёй знаходзіцца шэраг праблем. Па-першае, не зразумела па якім прынцыпам вызначаліся асаблівасці дыягнастычных гарызонтаў. Напрыклад, для вызначэння рэфератыўнай групы Histosols магутнасць тарфянога гарызонту (Histic) павінна быць больш за 40 см, у той жа час для вызначэння Antrosols магутнасць антрапагенных гарызонтаў (Hortic, Plaggic, et al.) павінна быць больш 50 см. Для выдзялення групы Chernozems дастаткова ўтрымання арганічнага вугляроду больш за 1 % у верхнім гарызонце, у той час як у чарназёмах, вызначаных у генетычнай класіфікацыі, доля вугляроду складае 3–4 % [16]. Па-другае, у сістэме WRB немагчыма працаваць пры вывучэнні працэсаў эрозіі і дэфляцыі, бо ў ёй адсутнічаюць кваліфікатары для вызначэння гэтых працэсаў, таму глебы рознай ступені эрадзіраванасці і дэфліраванасці верагодна будуць аднесены да розных рэфератыўных груп.

Але больш сур'ёзныя праблемы міжнароднай сістэмы вызначаюцца пры дэталёвым разгляданні прынцыпаў яе стварэння. Па-сутнасці гэта не глебавая класіфікацыя ў поўным сэнсе гэтага словазлучэння, так як адсутнічаюць крытэрыі вызначэння таксанамічных адзінак. Існуюць дыягнастычныя гарызонты для адрознення рэфератыўных груп і кваліфікатары двух узроўняў: асноўныя і дадатковыя, якія характарызуюць уласцівасці глеб, пры гэтым няма ніякай іерархічнай падпарадкаванасці. Пры напісанні поўнай назвы глебы кваліфікатары ідуць проста ў алфавітным парадку.

Найбольшыя недахопы вызначаюцца пры асэнсаванні таго, што сістэма WRB не ўлічвае пры вызначэнні груп глебаўтваральныя фактары. Так, не ўлічваючы фундаментальную ролю часу, глебы, якія фарміруюцца ў аднолькавых умовах, але рознага ўзросту, будуць аднесены да розных таксонаў. Напрыклад, назва дзярнова-глеёвай карбанатнай глебы ў сістэме WRB пры паступовым нааплаванні гумусу будзе змяняцца: Gleysol, Gleyic Phaeozem і нават магчыма Gleyic Chernozem. Аднак найгоршым уяўляецца ігнараванне такога фактару як клімат. Па сутнасці знікаюць занальныя глебы, так як рэфератыўныя групы могуць быць вызначаны ў розных геаграфічных умовах. А на наш погляд, гэта недапушчальна, бо глеба – частка прыродных геасістэм, ад яе залежыць фарміраванне расліннага і жывельнага свету, і ў той жа час яна фармуецца пад іх уплывам. Глебавыя пакроў – неаддзельная частка геасістэм, якая падпарадкоўваецца закону геаграфічнай занальнасці.

У выніку атрымліваецца, што міжнародная сістэма WRB – гэта дыягностыка грунтоў, якая дазваляе параўноўваць іх уласцівасці. Вядома, што сучасная беларуская глебавая класіфікацыя таксама мае шэраг праблем, якія агучаны ў працах айчынных глебазнаўцаў [17], але дапрацоўваць яе лепш у напрамку, які прапануваецца рознымі навукоўцамі [18–19], пры захаванні генетычнага падыходу.

## ВЫВАДЫ

Прапанаваная карэляцья агульнапрынятай класіфікацыі глеб ў Беларусі і міжнароднай WRB адлюстроўвае цяжкасці суадносін таксанамічных адзінак паміж гэтымі сістэмамі. Прынцыпова розныя падыходы да іх стварэння з'яўляюцца прычынамі гэтага. Аднак вынікі карэляцья магчыма выкарыстоўваць навукоўцам у сваіх работах, калі яны не маюць дачынення да класіфікацыі і вывучэння асобных глебавых разнастайнасцей.

Таксама даследаванне падкрэсліла шэраг праблем і недахопаў у міжнароднай класіфікацыйнай сістэме. Асабліва трэба вызначыць найбольш істотную праблему: ігнараванне глебаўтваральных фактараў, што прыводзіць да згублення сэнсу функцыявання глебы як часткі геасістэм.

## СПІС ЛІТАРАТУРЫ

1. О новой классификации почв Беларуси / Н.И. Смян и [др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларуси Сер. аграр. наук. – 2006. – № 2. – С. 49–52.
2. World Reference Base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. World Soil Resources Report 106. – Rome: IUSS Working Group WRB, 2015. – 188 pp.
3. *Kabala, C.* Correlation between the Polish Soil Classification (2011) and international soil classification system World Reference Base for Soil Resources (2015) Soil / C. Kabala, M. Switoniak, P. Charzynski // Soil Science Annual. – 2016. – № 2 (67). – P. 88–100.
4. *Karklins A.* A comparative study of the Latvian soil Classification with WRB / A. Karklins // Soil Classification 2001. European Soil Bureau Research Report. – 2002. – № 7. – P. 199–204.
5. *Secu, C. V.* Aspects regarding the correlation of the Romanian Soil Taxonomy System (2003) with WRB (2006) / C. V. Secu, C. Patriche, I. Vasiliniuc // Soil Science. – 2008. – № 9. – P. 55–62.
6. Soil taxonomic distance, a tool for correlation: As exemplified by the Hungarian Brown Forest Soils and related WRB Reference Soil Groups / V. Lang [et al.] // Geoderma. – 2013. – 192. – P. 269–276.
7. A Handbook of Soil Terminology, Correlation and Classification/ Ed. P. Krasilnikov, M. J.-J. Ibáñez, R. Arnold, S. Shoba. – London: Routledge, 2009. – 449 pp.
8. *Романова, Т. А.* Диагностика почв Беларуси и их классификация в системе ФАО-WRB / Т. А. Романова. – Минск, 2004. – 428 с.
9. *Клебанович, Н. В.* Опыт составления почвенных карт Беларуси в международной системе WRB / Н.В. Клебанович, С.Н. Прокопович Е.В. Харламова // Земля Беларуси. – 2011. – № 2. – С. 41–47.
10. *Клебанович, Н. В.* Почвы Беларуси – наше богатство / Н. В. Клебанович // Земля Беларуси. – 2015. – № 2. – С. 51–61.
11. *Tsyrybka, V.* Soil classification in Belarus: history and current problems / Viktor Tsyrybka, Hanna Ustsinava // Bulletin of Geography. Physical Geography Series – 2018. – № 1(14). – P. 37–47.
12. Guidelines for soil description and classification Central and Eastern European Students Version – Torun: Polish society of soil science, 2018. – 286 pp.
13. Soil sequences atlas / M. Switoniak, P. Charzynski, 2014. (Eds.). – Torun: Wydawnictwo Naukowe UMK, 2014. – 212 p.

14. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В.В. Лапы, А.Ф. Черныша; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 170 с.

15. Классификация и диагностика почв России – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 343 с.

16. *Мамонтов, В. Г.* Влияние сельскохозяйственного использования чернозема типичного на его структурное состояние и содержание органического углерода в агрегатах разного размера / В. Г. Мамонтов [и др.] // Известия ТСХА. – 2016. – № 6. – С. 22–31.

17. *Клебанович, Н. В.* Почвообразование в Беларуси: традиции и современность / Н. В. Клебанович // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 2. – С. 11–19.

18. *Романова, Т. А.* Естественная классификация почв Беларуси / Т. А. Романова, В. Ф. Берков // Наука и инновации. – 2016. – № 6 (160). – С. 69–72.

19. *Nikiforova A. A.* A universal soil classification system from the perspective of the General Theory of Classification: a review / A. A. Nikiforova, M. E. Fleis // Bulletin of Geography. Physical Geography Series. – 2018. – № 1(14). – P. 5–13.

## FEATURES OF USING THE INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION SYSTEM WRB IN BELARUS

V. B. Tsyrybka, G. M. Ustsinava, I. A. Lahachou, I. I. Kasyanenko

### Summary

The article presents the correlation of the Belarusian soil classification with the international WRB system. Announced the problem of correlation due to fundamental differences in the approach to the development of classification schemes. Emphasized the most striking deficiencies WRB system, which cast doubt on the practical significance of this classification.

*Поступила 22.10.18*

УДК 631.435:630\*114.441.2

## ВЗАИМОСВЯЗЬ ГУМУСА И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДЕРНОВО-ПАЛЕВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЛЕГКОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ АГРОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

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

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

### ВВЕДЕНИЕ

Почва – важнейший компонент биосферы и один из основных природных ресурсов, обуславливающих социальное и экономическое развитие общества. Используя почву в качестве объекта труда и средства производства, человек активно

вмешивается в почвообразовательный процесс, изменяя естественные условия почвообразования.

Дерново-подзолистые почвы, сформировавшиеся на лессовых и лессовидных суглинках, занимают около 14 % [1] пахотных земель республики и являются самыми плодородными и наиболее интенсивно используемыми в сельскохозяйственном производстве. Оценка их устойчивости к антропогенным воздействиям должна быть основана на определенных качественных и количественных критериях, наиболее информативно характеризующих пространственно-временные изменения свойств. Обнаружить происходящие изменения состава и свойств почв, оценить направленность их эволюции возможно при условии наличия «нулевой точки отсчета», а именно естественных эталонных почв.

В исследованиях последних лет все больше внимания уделяется установлению влияния длительного сельскохозяйственного использования на содержание и качество их органического вещества – важнейшего естественного энергетического источника, определяющего формирование главного свойства почв – плодородия [2–4]. Почва, характеризующаяся оптимальным сочетанием показателей гумусного состояния, отличается максимальной и стабильной производительной способностью и устойчивостью к действию разрушающих факторов.

Анализ литературных источников показывает, что на территории Беларуси исследования качественного состава гумуса лесных почв различной типовой принадлежности приурочены к 60–80 гг. XX ст. [5–7]. Имеются единичные публикации о характере трансформации качественного состава гумуса дерново-подзолистых почв (в ряду лес-пашня), приуроченные преимущественно к 80-м гг. XX ст. [5, 7–9], а также сведения о влиянии различных мероприятий по окультуриванию [1, 6, 9–10], влиянию эрозионных процессов на качественный состав гумуса дерново-подзолистых почв [11–12] опытных и отдельных рабочих участков.

В республике существуют немногочисленные публикации, в которых в качестве критериев устойчивости дерново-подзолистых почв предложены показатели общего содержания гумуса, отдельные показатели гранулометрического и минералогического состава, физико-химических свойств [13–16]. Системные же сведения о характере трансформации гумусного состояния дерново-подзолистых почв, критериях его устойчивости к антропогенным воздействиям, согласно которым можно объективно оценить их агроэкологическое состояние, отсутствуют.

Устойчивость почв к внешним воздействиям зависит как от состояния самой почвы, так и от ее динамических свойств и вещественного состава. Однако основными показателями, определяющими саморегуляцию и устойчивость почв, являются значения соотношения гранулометрических фракций, связь этих фракций с другими важнейшими элементами почвенной системы, в частности, с гумусом почвы.

Анализ публикаций, связанных с проблемой оценки взаимосвязи гранулометрического состава и гумусности почв, показал, что в большинстве случаев обнаруживается высокая степень зависимости между содержанием гумуса и количеством физической глины в почвах [17–20]. Фракция физической глины является наиболее подвижной среди фракций гранулометрического состава, поскольку она состоит из мельчайших частиц и включает илистую фракцию, в которой концентрируется до 55–90 % органического вещества [4] и от которой зависит плодородие почв. Однако при одном и том же содержании физической глины наблюдается

значительное варьирование в ней иловатой и пылеватой составляющих, что оказывает существенное влияние на содержание и качественный состав гумуса. Поэтому изучение взаимосвязей гумусного состояния и гранулометрического состава является актуальным и указывает на необходимость поиска новых методов для оценки степени устойчивости почв.

Цель исследований – установить взаимосвязь гумуса и гранулометрического состава дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв для определения устойчивости почв к агрогенным воздействиям.

## ОБЪЕКТЫ МЕТОДЫ И ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследования выбрана catena, характеризующая естественную дерново-палево-подзолистую легкосуглинистую почву, развивающуюся на мощных лессовидных суглинках (разрез 8–17), ее хорошоокультуренный (разрез 6–17), высокоокультуренный (разрез 9–17), среднесмытый аналоги (разрез 7–17) (рис.).



Разрез 8–17,  
естественная

Разрез 6–17,  
хорошо окуль-  
туренная

Разрез 9–17,  
высокоокуль-  
туренная

Разрез 7–17,  
среднесмытая

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

**Разрез 8–17** заложен в лесу на территории ГЛХУ «Минский лесхоз» ( $53^{\circ}48'9,50''$  с.ш.;  $27^{\circ}29'6,82''$  в.д.;  $h = 227$  м) Минского района Минской области 21.04.2017 г. Растительность: ель, береза; в подлеске – осина, рябина, лещина, крушина; напочвенный покров: кислица, папоротник, волчье лыко, жимолость, малина; водное питание атмосферное.

**Разрез 6–17** заложен на пахотных землях ОАО «Гастелловское» ( $53^{\circ}47'16,35''$  с.ш.;  $27^{\circ}30'46,86''$  в.д.;  $h = 233$  м) Минского района Минской области 06.05.2017 г., выровненное повышение, посеяны яровые, в прошлом году была сахарная свекла, водное питание атмосферное.

**Разрез 9–17** заложен на пахотных землях ОАО «Гастелловское» ( $53^{\circ}47'16,35''$  с.ш.;  $27^{\circ}30'46,86''$  в.д.;  $h = 233$  м) Минского района Минской области

06.05.2017 г., выровненное повышение, посеяны яровые, в прошлом году была сахарная свекла, водное питание атмосферное.

**Разрез 7–17** заложен на пахотных землях ОАО «Гастелловское» (53°49' 2,20" с.ш.; 27°29'54,32" в.д.; h = 227 м) Минского района Минской области 21.04.2017 г., рельеф холмистый, почвы эродированные, запахали навоз, в прошлом году была кукуруза, водное питание атмосферное.

Определение содержания общего гумуса в почвах проведено по методике И. В. Тюрина (ГОСТ 26213-91) [21–22], гранулометрического состава – методом пипетки по Н.А. Качинскому.

Для выявления взаимосвязей фракций гранулометрического состава и содержания гумуса использована методика В. С. Крыщенко [19]. Выполнены расчеты следующих показателей: базовое значение ила ( $a_{dt}$ , %) и пыли ( $b_{dt}$ , %) в физической глине, насыщенность физической глины илом/пылью ( $V_a/V_b$ , %), константы динамического равновесия ( $K_a$ ,  $K_b$ ), содержание гумуса в физической глине ( $x_p$ , %) и насыщенность физической глины гумусом ( $W$ , %). Формулы для расчета вышеперечисленных показателей приведены ниже:

$y_p$  – содержание физического песка в почве, %;

$z$  – содержание физической глины в почве, %;

$k_1 = 100/z = 1 + y_p/z$  – коэффициент динамической взаимосвязи физического песка и физической глины почвы;

$a_\phi$  – содержание илистой фракции, %;

$b_\phi$  – содержание пылеватых фракций физической глины, %;

$k_2 = z/a_\phi = 1 + b_\phi/a_\phi$  – коэффициент динамической взаимосвязи илистой и пылевой фракций физической глины;

$a_{dt} = 0,01z^2$  – базовое детерминантное расчетное содержание илистой фракции в почве как статистически наиболее вероятная величина для данного значения  $z$ , %;

$k_1/k_2 = 100/z \cdot z/a_\phi = 100a_\phi/z^2 \rightarrow a_\phi = a_{dt} = 0,01z^2$ .

Базовое значение ила ( $a_{dt}$ ) равно квадрату массы физической глины, деленное на 100.  $b_{dt} = z - a_{dt} = 0,01y_p z$  – базовое расчетное содержание пылеватых фракций физической глины почвы, %:

$K_a = a_\phi/a_{dt}$  – константа динамического равновесия почвы при  $a_\phi > b_\phi$ ;

$K_b = b_\phi/a_{dt}$  – константа динамического равновесия почвы при  $b_\phi > a_\phi$ ;

$K_a$  и  $K_b$  могут принимать значения  $>1,0$  (физическая глина насыщена илом (пылью)),  $<1,0$  (физическая глина не насыщена илом (пылью)) и равные 1,0 (в квазистационарном равновесном состоянии почвы при  $a_\phi = a_{dt}$ );

$V_a = 100a_\phi/z$  – степень насыщенности физической глины илом при  $a_\phi > b_\phi$ , %;

$V_b = 100b_\phi/z$  – степень насыщенности физической глины пылью при  $a_\phi < b_\phi$ , %;

$y_r$  – содержание гумуса в почве, %;

$x_p = y_r K_{a,b}$  – расчетное содержание гумуса в физической глине при  $K_j > 1,0$ , %;

$x_p = y_r / K_{a,b}$  – расчетное содержание гумуса в физической глине при  $K_j < 1,0$ , %;

$W = 100x_p/z$  – степень насыщенности физической глины гумусом, %.

Классификация исследуемых почв по содержанию физической глины и насыщенности физической глины илом/пылью в зависимости от преобладающей фракции проведена согласно методике В.С. Крыщенко с соавторами [19].

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Почвенной системе, являющейся системой природной, гетерогенной, открытой и саморегулирующейся, присуще стремление к состоянию устойчивого динамического равновесия между элементами. Взаимосвязь показателей гранулометрического состава и гумуса позволяет охарактеризовать устойчивость почв на основании значений содержания ила, гумуса почвы, гумуса физической глины, полученными в результате лабораторных анализов.

При исследовании гумус-гранулометрических отношений показатели условно разделяются на два блока [19]: первый характеризует гранулометрические фракции почвенных образцов, второй – их гумусированность. В пределах первого блока представляются фактический гранулометрический состав почвенных образцов ( $z$ ,  $a_{\text{ф}}$ ,  $b_{\text{ф}}$ ), базовые (эталонные) значения ила ( $a_{\text{ит}}$ ), степень насыщенности физической глины илом или пылью (по преобладающей фракции) ( $V$ ), а также константы динамического равновесия ( $K_a$ ,  $K_b$ ). Термин «константа» введен в связи с тем, что данный показатель состояния почвы всегда зависит от базового значения ила ( $a_{\text{ит}}$ ), которое для каждого содержания физической глины является величиной постоянной. Константы динамического равновесия сводятся к тому, чтобы привести к единому масштабу показатели содержания гумуса в почве и сопоставить друг с другом, т. к. они приводятся к общему знаменателю. Следовательно, константа динамического равновесия выполняет функцию универсального коэффициента пропорциональности между гранулометрическим составом, гумусностью почв и ее физической глиной. Базовое значение ила используется нами в качестве эталона сравнения. Во втором блоке дается характеристика почвенных образцов по двум показателям: содержанию гумуса почвы в целом ( $y_r$ ) и содержанию гумуса в физической глине ( $x_p$ ).

Исследуемые почвы относятся к классу легкосуглинистых, поскольку содержание физической глины ( $z$ ) в верхних горизонтах почв равно, либо превышает 20,0 % [19]: в почве под лесом содержание физической глины составляет 21,2 % в горизонте  $A_1$  на глубине 4–9 см, в хорошо окультуренной и среднесмытой – 22,1 % и 22,0 % соответственно в горизонте  $A_n$  (5–25 см) и в горизонте  $A_nB$  (5–15 см), а в высокоокультуренной – 20,2 % в горизонте  $A_n$  на глубине 5–25 см.

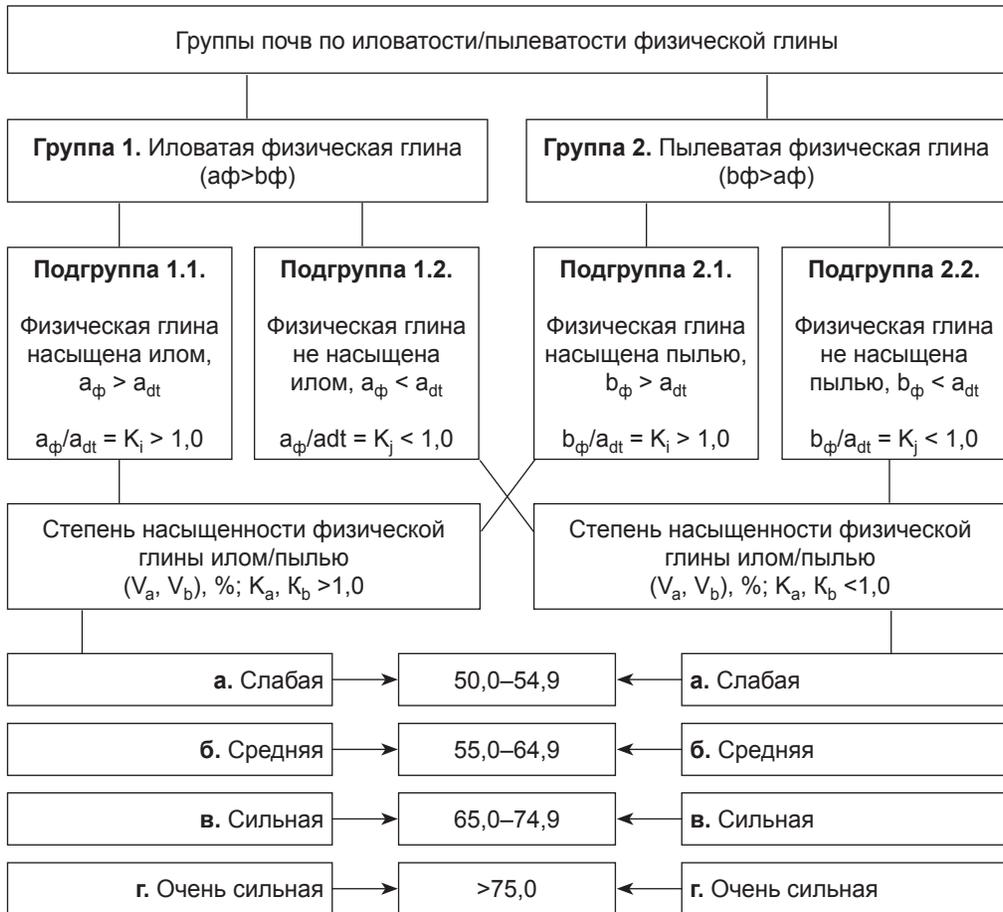
Естественная почва относится к группе 2 (табл. 1, 2) (с пылевой физической глиной – фактическое содержание пылевых фракций ( $b_{\text{ф}}$ ) в гумусовом аккумулятивном горизонте  $A_1$  превышает фактическое содержание илистой фракции ( $a_{\text{ф}}$ ): 14,9 против 6,3 %) и подгруппе 2.1 (физическая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

Хорошо и высокоокультуренная почвы также относятся к группе 2 (с пылевой физической глиной – фактическое содержание пылевых фракций ( $b_{\text{ф}}$ ) в горизонтах  $A_n$  превышает фактическое содержание илистых фракций ( $a_{\text{ф}}$ ): 17,4 против 4,7 % в хорошо окультуренной почве и 15,5 против 4,7 % в высокоокультуренной почве соответственно) и подгруппе 2.1 (физическая глина насыщена пылью – фактическое содержание пылевых фракций ( $b_{\text{ф}}$ ) больше базового содержания

илистой фракции ( $a_{dt}$ ): 17,4 % против 4,88 % и 15,5 против 4,08 % соответственно). Степень насыщенности физической глины пылью ( $V_b$ ) составляет 78,73 и 76,73 % в хорошо и высококультуренной почвах соответственно, что позволяет отнести их к почвам с очень сильной степенью насыщенности физической глины пылью (г). На илистую составляющую приходится только 21,27 % и 23,27 %, т. е. содержание пыли/ила в данных горизонтах соотносится в среднем как 78:22.

Таблица 1

**Классификация почв по параметрам гумусности  
(для верхнего почвенного горизонта) [19]**



Среднесмытая почва относится к группе 1 (с иловатой физической глиной – фактическое содержание илистой фракции ( $a_{\phi}$ ) в горизонте  $A_nB$  превышает фактическое содержание пылеватых фракций ( $b_{\phi}$ ): 11,9 против 10,1 %) и подгруппе 1.1 (физическая глина насыщена илом – фактическое содержание илистой фракции ( $a_{\phi}$ ) больше базового содержания илистой фракции ( $a_{dt}$ ): 11,9 % против 4,84 %). Степень насыщенности физической глины илом ( $V_a$ ) среднесмытой почвы составляет 54,09 %, что позволяет отнести ее к почвам со слабой степенью насыщенности физической глины илом (а). На пылеватую составляющую в данном горизонте приходится 45,91 %, т.е. соотношение содержания ила/пыли составляет 54:46.

Таблица 2

**Взаимосвязи гранулометрического состава и гумусности почв разной степени агрогенной трансформации  
Ошмянско-Минского ПЭР [19]**

Горизонт, глубина отбора образца, см	Фактическое содержание фракций, %				Базовое содержание фракций, %				Насыщенность физической глины илом, %	Насыщенность физической глины пылью, %	Константы динамического равновесия	Гумус, %		Насыщенность физической глины гумусом, %
	<0,01 мм		0,001–0,01 мм		<0,001 мм		0,001–0,01 мм					в почве	в физической глине	
	a <sub>ф</sub>	b <sub>ф</sub>	a <sub>dt</sub>	b <sub>dt</sub>	a <sub>ф</sub>	b <sub>ф</sub>	Y <sub>г</sub>	X <sub>р</sub>						
<i>Естественная почва (8–17), класс легкоосушливистые, группа 2, подгруппа 2.1, а</i>														
A <sub>1</sub> , 4–9	21,2	6,3	14,9	4,49	16,71	29,72	70,28	3,32	4,80	15,94	75,19	4,80	15,94	75,19
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> , 25–30	19,4	6,4	13,0	3,76	15,64	32,99	67,01	3,45	1,40	4,83	24,90	1,40	4,83	24,90
B <sub>1</sub> , 45–50	22,2	9,3	12,9	4,93	17,27	41,89	58,11	2,62	0,41	1,07	4,82	0,41	1,07	4,82
B <sub>1</sub> , 60–70	28,0	18,0	10,0	7,84	20,16	64,29	35,71	2,30	0,35	0,81	2,89	0,35	0,81	2,89
BC, 85–95	23,6	12,6	11,0	5,57	18,03	53,39	46,61	2,26	0,23	0,52	2,20	0,23	0,52	2,20
<i>Хорошо окультуренная почва (6–17), класс легкоосушливистые, группа 2, подгруппа 2.1, а</i>														
A <sub>1п</sub> , 5–25	22,1	4,7	17,4	4,88	17,22	21,27	78,73	3,56	2,60	9,26	41,90	2,60	9,26	41,90
A <sub>2</sub> , 30–40	18,4	7,8	10,6	3,39	15,01	42,39	57,61	3,13	0,44	1,38	7,50	0,44	1,38	7,50
B <sub>1</sub> , 45–65	27,5	18,6	8,9	7,56	19,94	67,64	32,36	2,46	0,41	1,01	3,67	0,41	1,01	3,67
BC, 85–95	23,2	12,6	10,6	5,38	17,82	54,31	45,69	2,34	0,32	0,75	3,23	0,32	0,75	3,23
<i>Высокоокультуренная почва (9–17), класс легкоосушливистые, группа 2, подгруппа 2.1, а</i>														
A <sub>1п</sub> , 5–25	20,2	4,7	15,5	4,08	16,12	23,27	76,73	3,80	2,71	10,30	50,99	2,71	10,30	50,99
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> , 35–45	21,1	7,4	13,7	4,45	16,65	35,07	64,93	3,08	0,99	3,05	14,45	0,99	3,05	14,45
B <sub>1</sub> , 50–85	22,1	8,9	13,2	4,88	17,22	40,27	59,73	2,70	0,82	2,21	10,00	0,82	2,21	10,00
BC <sub>г</sub> , 100–110	18,9	5,7	13,2	3,57	15,33	30,16	69,84	3,70	0,65	2,41	12,75	0,65	2,41	12,75
<i>Среднесытая почва (7–17), класс легкоосушливистые, группа 1, подгруппа 1.1, а</i>														
A <sub>1</sub> B, 5–15	22,0	11,9	10,1	4,84	17,16	54,09	45,91	2,46	1,81	4,45	20,23	1,81	4,45	20,23
B <sub>1</sub> , 60–70	27,2	12,7	14,5	7,40	19,80	46,69	53,31	1,96	0,40	0,78	2,87	0,40	0,78	2,87
BC, 90–100	19,3	11,6	7,7	3,72	15,58	60,10	39,90	3,11	0,29	0,90	4,66	0,29	0,90	4,66

Необходимо отметить, что насыщенность физической глины пылью/илом изменяется с увеличением глубины почвенного профиля: в верхней части профиля лесной почвы (горизонты  $A_1$ ,  $A_1A_2$  и  $B_1$ ) и в ее хорошо окультуренном аналоге (горизонты  $A_n$  и  $A_2$ ) глина насыщена пылью, а в нижней части профиля в аналогичных почвах (горизонты  $B_t$  и  $BC$ ) – илом; в высокоокультуренной почве по всему профилю физическая глина насыщена пылью; в среднесмытом аналоге наблюдается дифференциация по насыщенности физической глины пылеватыми фракциями (горизонт  $B_t$ ) или илом (горизонты  $A_nB$  и  $BC$ ).

Так, в почве под лесом до глубины 45–50 см физическая глина насыщена пылью, причем степень насыщенности снижается от 70,28 % в гумусовом горизонте  $A_1$  до 58,11 % в иллювиальном горизонте  $B_1$ , и наоборот, возрастает насыщенность илом с 29,72 до 41,89 %. С глубины 60 см и ниже в иллювиальном текстурном горизонте  $B_t$  и переходном к почвообразующей породе горизонте  $BC$  наблюдается превышение фактического содержания ила ( $a_{ф}$ ) по сравнению с фактическим содержанием пылеватых фракций ( $b_{ф}$ ) и базовым содержанием ила ( $a_{dt}$ ). Поэтому в нижней части профиля естественной почвы физическая глина насыщена илом: степень насыщенности илом в горизонте  $B_t$  возрастает до 64,29 %, а насыщенность пылью снижается до 35,71%; в горизонте  $BC$  степень насыщенности илом снижается до 53,39 %, а насыщенность пылью возрастает до 46,61 %.

В хорошо окультуренной почве до глубины 30–40 см физическая глина насыщена пылью, причем степень насыщенности снижается от 78,73 % в горизонте  $A_n$  до 57,61 % в элювиальном горизонте  $A_2$ , а насыщенность илом возрастает с 21,27 до 42,39 % соответственно. С глубины 45 см и ниже в горизонтах  $B_t$  и  $BC$ , как и в почве под лесом, физическая глина насыщена илом, а степень насыщенности возрастает до 67,64 % в горизонте  $B_t$  и снижается до 54,31 % в горизонте  $BC$ , а насыщенность пылью возрастает с 32,36 % до 45,69 % в аналогичных горизонтах.

В высокоокультуренной почве по всей толще профиля физическая глина насыщена пылеватыми фракциями. Степень насыщенности снижается от 76,73 % в горизонте  $A_n$  до 59,73 % в горизонте  $B_t$ , а насыщенность илом в аналогичных горизонтах возрастает с 23,27 до 40,27 %. В горизонте  $BC$  насыщенность физической глины пылью возрастает до 69,84 %, а насыщенность илом соответственно снижается до 30,16 %.

В среднесмытой почве наблюдается дифференциация по профилю: в горизонтах  $A_n$  и  $BC$   $a_{ф}$  превышает  $b_{ф}$  и  $a_{dt}$  – соответственно физическая глина насыщена илом ( $V_a = 54,09$  и  $60,10$  %, а  $V_b$  снижается до 45,91 и 39,90 % в аналогичных горизонтах; в горизонте  $B_t$  преобладают пылеватые фракции –  $V_b = 53,31$  %, а на илистую фракцию приходится 46,69 %).

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

случае содержание гумуса в физической глине намного превышает его содержание в почве, а константы динамического равновесия имеют наибольшие значения.

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

Как видно из табл. 2, в естественной почве в горизонте  $A_1$  содержание гумуса в почве составляет 4,80 %, а в физической глине – 15,94 % (т.е. в 3,32 раза больше). В горизонте  $A_1A_2$  на глубине 25–30 см константа достигает значения 3,45, а содержание гумуса в почве и в физической глине 1,40 и 4,83 % соответственно. В горизонте  $A_n$  хорошо окультуренной почвы содержание гумуса в физической глине в 3,56 раза превышает его содержание в почве – 9,26 против 2,60 % соответственно. В горизонте  $A_n$  высокоокультуренной почвы константа динамического равновесия достигает максимального значения – 3,80, а содержание гумуса в физической глине – 10,30 против 2,71 % в почве. Причем в иллювиальной части профиля высокоокультуренной почвы (горизонты  $B_t$  и  $BC$ ) содержание гумуса в почве и физической глине выше по сравнению с лесной, хорошо окультуренной и среднесмытой почвами. Содержание большего количества гумуса в естественной почве по сравнению с окультуренными аналогами для легкосуглинистых почв подтверждаются исследованиями Н.И. Туренкова [7]. В пахотном постэрозионном горизонте  $A_nB$  среднесмытой почвы отмечается наименьшее содержание гумуса в физической глине и почве – 4,45 против 1,81 % соответственно. Необходимо отметить, что в горизонте  $BC$  высокоокультуренной и среднесмытой почвы константы динамического равновесия возрастают, что приводит к возрастанию содержания гумуса в физической глине относительно горизонта  $B_t$ , хотя в почве его содержание снижается.

Важное теоретическое и практическое значение имеет степень насыщенности физической глины гумусом ( $W$ ). Этот показатель совокупно выражает общий принцип связи гранулометрического состава и гумусности почв, учитывая все многообразие отношений гранулометрических фракций во взаимосвязи с гумусностью физической глины ( $x_p$ ) и содержанием гумуса почвы ( $y_r$ ). Согласно полученным данным насыщенность физической глины гумусом имеет наибольшее значение в естественной почве – 75,19 %, в высокоокультуренной – 50,99 %, в хорошо окультуренной снижается до 41,90 %, а в среднесмытой почве имеет минимальное значение – 20,23 %. В высокоокультуренной почве показатели насыщенности физической глины гумусом достаточно высокие по всей толще профиля, как и показатели содержания гумуса в физической глине, что связано с возрастанием агрогенного воздействия на всю толщу почвенного профиля.

Таким образом, в естественной и хорошо окультуренной почве показатели констант динамического равновесия ( $K_{a,b}$ ), содержания гумуса в почве ( $y_r$ ), содержания гумуса в физической глине ( $x_p$ ) и насыщенность физической глины гумусом ( $W$ ) имеют тенденцию к снижению вниз по профилю. В высокоокультуренной и среднесмытой почве аналогичные показатели снижаются до глубины 50–85 см и 60–70 см в горизонте  $B_t$  и возрастают в горизонте  $BC$  (за исключением показателя  $y_r$ ) относительно последнего, что свидетельствует об их большей подверженности агрогенным воздействиям.

## ВЫВОДЫ

Результаты исследования позволили заключить:

– естественная, хорошо и высококультуренная почвы относятся к почвам с пылевой физической глиной, причем естественная почва характеризуется сильной степенью насыщенности пылью, а хорошо и высококультуренные – очень сильной; среднесмытые почвы относятся к почвам с иловатой физической глиной со слабой степенью насыщенности илом;

– в естественной почве насыщенность физической глины пылью/илом (в зависимости от преобладающей фракции) соотносится в среднем как 70:30 на глубине 4–30 см в горизонтах  $A_1$  и  $A_1A_2$ , в окультуренных почвах – 78:22 на глубине 5–25 см в пахотных горизонтах  $A_n$ , в среднесмытой – 54:46 на глубине 5–15 см в горизонте  $A_nB$ ;

– в естественной, хорошо и высококультуренной почве и их среднесмытом аналоге фактическое содержание ила ( $a_{\phi}$ ) с глубиной возрастает, что приводит к снижению константы динамического равновесия ( $K_{a,b}$ ) и, соответственно, к понижению разбавляющего эффекта, что, в свою очередь, способствует снижению содержания гумуса в физической глине ( $x_p$ ) и насыщенности физической глины гумусом ( $W$ ). В горизонте BC высококультуренной и среднесмытой почвы фактическое содержание ила ( $a_{\phi}$ ) снижается по сравнению с горизонтом  $B_t$ , что приводит к возрастанию констант ( $K_{a,b}$ ), показателей содержания гумуса в физической глине ( $x_p$ ) и степени насыщенности ее гумусом ( $W$ );

– в гумусово-аккумулятивном горизонте  $A_1$  естественной почвы отмечаются наибольшие показатели содержания гумуса в почве ( $y_r$ ) – 4,80 %, содержания гумуса в физической глине ( $x_p$ ) – 15,94 % и степени насыщенности физической глины гумусом ( $W$ ) – 75,19 %; в горизонте  $A_n$  высококультуренной почвы данные показатели снижаются и составляют соответственно 2,71 %, 10,30 % и 50,99 %; в горизонте  $A_n$  хорошо окультуренной почвы – 2,60 %, 9,26 % и 41,90 % соответственно; а в горизонте  $A_nB$  среднесмытой почвы показатели минимальные и составляют соответственно 1,81 %, 4,45 % и 20,23 %. Показатели  $y_r$ ,  $x_p$  и  $W$  уменьшаются в следующем порядке: естественная, высококультуренная, хорошо окультуренная, среднесмытая почва. Причем в высококультуренной почве вышеперечисленные показатели достаточно высокие по всему профилю, что связано с возрастанием агрогенного воздействия на всю толщу почвенного профиля;

– в естественной и хорошо окультуренной почве показатели констант динамического равновесия ( $K_{a,b}$ ), содержания гумуса в почве ( $y_r$ ), содержание гумуса в физической глине ( $x_p$ ) и насыщенность физической глины гумусом ( $W$ ) имеют тенденцию к снижению вниз по профилю. В высококультуренной и среднесмытой почве аналогичные показатели снижаются до горизонта  $B_t$  и возрастают в горизонте BC (за исключением показателя  $y_r$ ) относительно последнего, что свидетельствует об их большей подверженности агрогенным воздействиям.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / Г. И. Кузнецов [и др.]; под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смеяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.

2. *Иванов, И. А.* Гумусное состояние пахотных дерново-подзолистых почв Северо-запада России и его трансформация в современных условиях / И. А. Иванов, А. И. Иванов // *Агрохимия*. – 2000. – № 2. – С. 22–26.
3. *Пономарева, В. В.* Гумус и почвообразование / В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова. – Л.: Наука, 1980. – 221 с.
4. *Травникова, Л. С.* Закономерности гумусонакопления: новые данные и их интерпретация / Л. С. Травникова // *Почвоведение*. – № 7. – 2002. – С. 832–843.
5. *Ивахненко, Н. Н.* Мелиоративные особенности почв, развитых на лессовидных суглинках Центральной Белоруссии: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Н. Н. Ивахненко; Белорус. НИИ почвоведения. – Минск, 1988. – 24 с.
6. Подзолистые почвы Белорусской ССР / Н.И. Смяян [и др.] // Подзолистые почвы запада Европейской части ССР: науч. тр.; под ред. Н. А. Ногиной, А. А. Родэ. – М.: Колос, 1977. – С. 31–110.
7. *Туренков, Н. И.* Палево-подзолистые почвы Белоруссии / Н. И. Туренков. – М.: Наука и техника, 1980. – 215 с.
8. *Клебанович, Н. В.* Изменение морфологических признаков, основных свойств и плодородия дерново-подзолистых супесчаных почв в процессе окультуривания: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Н. В. Клебанович; БелНИИ почвоведения и агрохимии. – Минск, 1984. – 257 с.
9. Агрогенная трансформация дерново-подзолистых легкосуглинистых почв (на примере СПК «Агрофирма Лучники» Слуцкого р-на) / Г. С. Цытрон [и др.] // *Земляробства і ахова раслін*. – 2008. – № 2 (57) – С. 49–52.
10. *Горбачева, Е. В.* Агроземы культурные и их качественная оценка: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Е.В. Горбачева; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2012. – 21 с.
11. *Жилко, В. В.* Эродированные почвы Белоруссии, их плодородие и использование: автореф. дис. ... док. с.-х. наук: 06.01.03 / В.В. Жилко; БелНИИПА. – Минск, 1974. – 54 с.
12. *Чистик, О. В.* Агрохимические свойства дерново-подзолистых пылевато-суглинистых эродированных почв и особенности применения удобрений / О. В. Чистик; автореф. дис. ... док. с.-х. наук: 06.01.03; 06.01.04; РУП «Институт почвоведения и агрохимии. – Минск, 1992. – 34 с.
13. *Романова, Т. А.* Устойчивость пахотных почв Республики Беларусь к химическому загрязнению тяжелыми металлами / Т. А. Романова, Н. Н. Ивахненко // *Почвоведение*. – 2003. – № 6. – С. 754–763.
14. О сенсорности (чувствительности) почв Беларуси к антропогенным воздействиям / Г. С. Цытрон [и др.] // Структура и морфогенез почвенного покрова в условиях антропогенного воздействия: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., 17–20 сент. 2013 г., г. Минск / редкол.: И.И. Пирожник (гл. ред.), Н.В. Клебанович (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Изд. центр БГУ, 2013. – С. 73–76.
15. *Шульгина, С. В.* Изменение минералогического состава, макро- и микроморфологического строения дерново-палево-подзолистых пылевато-суглинистых почв Беларуси под влиянием сельскохозяйственного использования: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / С.В. Шульгина; Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2006. – 140 с.
16. Экологическая оценка трансформации состава и свойств дерново-палево-подзолистых почв под влиянием антропогенного фактора / С. В. Шульгина [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. – 2017. – № 2(59). – С. 14–25.

17. *Артемьева, З. С.* Органическое вещество и гранулометрическая система почвы / З. С. Артемьева. – М.: ГЕОС, 2010. – 240 с.

18. *Дьяконова, К. В.* Оценка почв по содержанию и качеству гумуса для производственных моделей почвенного плодородия / К. В. Дьяконова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 32 с.

19. Моделирование отношений элементов полидисперсной системы почв с использованием эталона сравнения / В. С. Крыщенко [и др.] // Живые и биокосные системы. – 2013. – № 2.

20. *Кузнецов, Р. В.* Распределение гумуса и минералов по гранулометрическим фракциям в основных типах почв Ростовской области: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.27 / Р. В. Кузнецов; Ростовский государственный ун-т. – Ростов н/Д, 2004. – 155 с.

21. Почвы. Методы определения органического вещества: ГОСТ 26213-91. – Введ. 29.12.91. – М: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. – 8 с.

22. Физико-химические методы исследования почв: учеб. пособие / Л. А. Воробьева [и др.]; под ред. Н. Г. Зырина, Д. С. Орлова. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – С. 155–157.

## THE INTERRELATION OF THE HUMUS AND GRANULOMETRIC TEXTURE OF THE SOD-PALE-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOILS OF A DIFFERENT DEGREE OF AGROGENIC TRANSFORMATION

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

### Summary

The article presents a new interpretation of humus-granulometric interrelations of sod-pale-podzolic light loamy soils as a result of the cultural process of soil formation. The presence of a general principle of the relationship between the fractions of particle size distribution and the humus state, in particular, between the humus content in physical clay, the humus content in the soil and the grain size fractions through dynamic equilibrium constants is shown. The obtained data of humus-granulometric relationships can be applied as a new method to assess the degree of fertility and soil stability as a result of agrogenic effects.

*Поступила 19.11.18*

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К КАРТОГРАФИРОВАНИЮ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

**В. А. Генин**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Содержание гумуса в почве является одним из основных факторов почвенного плодородия. Содержание гумуса оказывает положительное влияние на способность почвы удерживать доступную для растений влагу, способность растений поглощать питательные элементы, эффективность гербицидов и пестицидов [1]. В почве 95 % азота содержится в виде органических соединений [2], большая часть которых не доступна растениям. В течение вегетационного сезона в ходе процессов разложения органических соединений некоторая часть почвенного азота переходит в доступную для растений форму.

Любые объекты земной поверхности обладают способностью поглощать и отражать световое излучение. Это в полной мере относится и к свойствам почв, причем в разных диапазонах волн спектры почв могут существенно отличаться и иметь некоторые особенности.

Лабораторные исследования почвенных образцов были произведены рядом авторов в различных диапазонах длин волн. В основном в научных исследованиях фигурируют видимый и ближний участки спектра, но некоторые авторы исследовали спектрально-отражательную способность почвы и ее связи с содержанием гумуса вплоть до 25 000 нанометров.

В работе [3] приведён обзор публикаций, связанных с использованием данных спектрометрирования для определения содержания гумуса. Средний коэффициент детерминации, полученный у ученых, исследовавших образцы в средней инфракрасной зоне спектра, составляет 0,89. Исследователи, работавшие в ближней инфракрасной зоне спектра, в среднем объясняли 79 процентов яркости почвенных образцов за счет различного содержания органического вещества. Для ученых, работавших в видимой зоне спектра, коэффициент детерминации в среднем составил 0,74.

Основываясь на этой информации, можно сделать вывод, что для составления наиболее точных регрессионных уравнений необходимо использовать среднюю инфракрасную зону спектра. Следует отметить, что оборудование для исследования этого диапазона длин волн значительно превосходит по стоимости аналогичные приборы для исследования видимого и ближнего инфракрасного канала.

Лабораторное спектрометрирование почвы и построение регрессионных уравнений послужило фундаментом для разработки методов картографирования гумуса с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Исследования связи содержания гумуса в почве и ее яркости на изображениях, получаемых с воздушных и космических съемочных систем, а также оптимизация мест отбора почвенных образцов ведётся на протяжении последних 30 лет.

Одно из первых исследований, в котором произведена оценка содержания гумуса по данным аэрофотосъемки, было проведено в штате Индиана в 1969 году [4]. Автором было отобрано 169 почвенных образцов для лабораторного анализа на содержание гумуса; в местах отбора почвенных образцов на аналоговой пленке были определены значения яркости.

В результате сопоставления данных для красной зоны спектра был получен коэффициент корреляции 0,76, что послужило поводом предположить: линейная корреляция не оптимальна для построения регрессионного уравнения. В своей работе он выделил четыре фактора, влияющих на цвет почвы: содержание гумуса, наличие железистых соединений, условия увлажнения почвы и потенциал продуктивности.

За последние десятилетия в целях определения наиболее устойчивого регрессионного уравнения для предсказания содержания гумуса в почве было изучено множество изображений в различных каналах съемки. Результаты исследований имеют высокую сходимость с результатами лабораторного спектрального метрирования.

В 2005 г. Galvao [5] были использованы данные гиперспектрального сенсора AVIRIS для картографирования свойств почвы. Автором было доказано значительное влияние соединений железа, алюминия на спектральную отражательную способность почвы. В то же время было показано, что содержание гумуса на исследуемых почвах незначительно влияет на их отражательную способность.

На постсоветском пространстве исследования в данной области развиты гораздо слабее, что, в первую очередь, объясняется отсутствием качественных данных дистанционного зондирования земли. Среди работ нам бы хотелось отметить публикацию Малышевского В. А., согласно которой в ходе исследования с использованием спутниковых данных высокого пространственного разрешения и 12 образцов почвы автору удалось установить математическую связь между отражением почвы и содержанием в ней гумуса. Точность модели составила 98 процентов, но стоит отметить, что автором была использована крайне малая выборка, на основании которой невозможно строить доверительные модели [6].

Кравцов С. Л. [2] в своей работе анализировал с использованием активного сенсора спектральные свойства почвы и содержание в ней гумуса, при этом сканирование производилось на глубине пахотного слоя. Всего было проанализировано 10 образцов, в ходе статистической обработки информации был получен высокий коэффициент корреляции (0,95). Мы считаем, что количество в 10 образцов не является значимой выборкой для статистического анализа.

Украинский П. А. в своей работе предпринял попытку оценить содержание гумуса в почве с использованием данных Landsat. Примечательно, что данный спутник обладает пространственным разрешением в 30 метров и 15 метров в панхроматическом канале. Исследования проводились в Саратовской области, было отобрано 128 проб с использованием модели множественной регрессии. В нее были включены спектральные каналы спутника. В целом удалось достичь коэффициента детерминации в 0,51. Это говорит о том, что с использованием спектральной яркости почвы в различных каналах был объяснен 51 % содержания гумуса [7].

Анализ исследований, имеющихся в литературе, показывает, что с использованием данных спутниковой съемки можно с высокой долей вероятности интерполировать содержание гумуса в почвах. При этом для дерново-подзолистых почв таких исследований недостаточно.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Территориальным объектом нашего исследования являются пахотные земли, расположенные в Минском и Барановичском районах. Для исследуемых полей характерен сложный рисунок космического изображения. В общей сложности нами был проведен анализ на 3 рабочих участках с дерново-подзолистыми почвами различного гранулометрического состава.

Цель нашего исследования – оценить возможность картографирования количественных значений содержания гумуса по данным дистанционного зондирования земли. Достигнуть цели удалось путем выполнения следующих поставленных задач:

- 1) отбор почвенных образцов с использованием GNSS (глобальная спутниковая навигационная система) приемника в режиме RTK(кинематика реального времени);
- 2) агрохимический анализ отобранных образцов на содержание гумуса по методу Тюрина;
- 3) обработка изображений, полученных по результатам спутниковой съемки;
- 4) статистический анализ полученных значений содержания гумуса и соответствующих им значений яркости на космических изображениях.

Для поставленных задач использовались методы геоинформационной обработки данных дистанционного зондирования земли, статистические и агрохимические методы (для проведения анализа на содержание гумуса).

Для выполнения исследования использовались данные спутников компании Planet, так как группировка спутников PlanetScope позволяет получать ежедневные снимки земной поверхности. Пространственное разрешение данных составляет 3 метра, радиометрическое – 16 бит.

Для более точной привязки данных дистанционного зондирования земли нами были проведены полевые работы по сбору GNSS-координат. Для географической привязки в поле нами суммарно было отобрано более 90 контрольных точек с использованием двухчастотного GNSS-приемника.

Контрольные точки отбирались в режиме RTK; предельное значение среднеквадратичной ошибки при вычислении координат составляло 2 см. Местоположение контрольных точек было обосновано возможностью их опознания на данных дистанционного зондирования. Полученные данные были успешно использованы для перепрививки данных спутниковой съемки, среднеквадратическая ошибка определения координат не превысила 3,1 м для всех анализируемых изображений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первым исследуемым полигоном был выбран участок 1г площадью 34 га, расположенный в Минском районе. Участок характеризуется волнистым рельефом, с перепадом высот 15 м, сложный рельеф создает значительную неоднородность почвенного покрова, следовательно, на участках понижения рельефа характерны полугидроморфные почвы, на возвышенных участках – автоморфные почвы. Гранулометрический состав почвы также неоднороден, в границах участка встречаются суглинистые и супесчаные почвы. Совокупность этих факторов ведет к значительной вариации процентного содержания гумуса в почве.

Отбор почвенных образцов производился в апреле 2016 г., для этого был использован ручной пробоотборник, глубина отбора проб составляла 15 см.

Координаты места отбора каждого почвенного образца фиксировались с использованием приемника GNSS. Полевые работы производились в режиме RTK, точность определения координат была менее 5 см. Всего регулярной сеткой с интервалом 50 м было отобрано 136 почвенных образцов, которые были проанализированы на содержание гумуса.

Для оценки яркости почвы был использован снимок Planet за 14 апреля 2017 г. Следует отметить, что в 2017 г. на исследуемом участке возделывалась кукуруза, сев которой был произведен 10 апреля, в день проведения космической съёмки поле находилось в распаханном состоянии, без остатков растительности.

Влажность почвы оказывает влияние на спектральную яркость почвенных образцов: влажные почвы темнее сухих. Мы не оценивали влажность почвы инструментально в апреле 2017 г., но в предшествующий длительный период не выпадало осадков, и на момент спутниковой съёмки верхний слой почвы находился в воздушно-сухом состоянии.

Данные яркости снимка в местах отбора проб были извлечены с использованием инструментов программного комплекса ArcGIS 10.3, статистический анализ производился в программном продукте EXCEL 2013.

Для анализа мы располагали четырьмя каналами спутникового снимка. Нами было установлено, что максимальная связь с содержанием гумуса в почве наблюдается с использованием ближнеинфракрасного канала, она значительно выше по сравнению с остальными каналами спутниковой съёмки. На рис. 1 представлен график связи, коэффициент детерминации составил 0,51. Другими словами, нам удалось объяснить только 51 % количественного содержания гумуса за счет различий значения яркости.

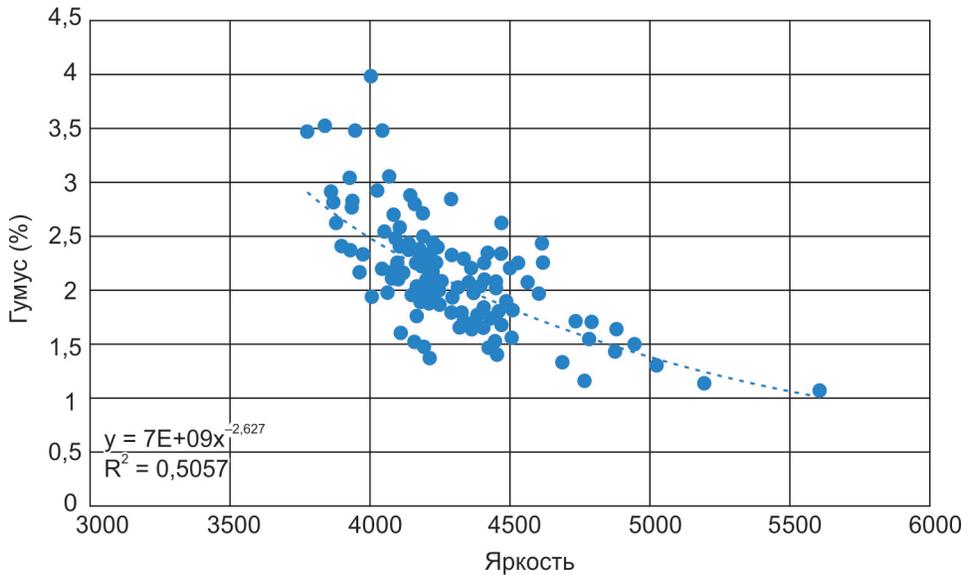


Рис. 1. Локальная модель связи между оптической яркостью почвенной поверхности в ближнеинфракрасном канале спутниковой съёмки Planet и общим содержанием гумуса в почве

Мы считаем данный показатель недостаточным для дальнейшего практического использования.

По нашему мнению, значительная часть ошибки связана с неточностью географической привязки космического изображения, по нашим данным она составила 2,9 метра.

При анализе соседних пикселей в местах отбора проб нами было обнаружено, что значения яркости сильно варьируют вплоть до 80 %. Как следствие, использование метода сетки для отбора почвенных образцов при последующем их сравнении с яркостью изображения ведет к появлению значительной ошибки. Для получения более точной регрессионной модели анализ изображения должен предшествовать отбору почвенных образцов.

Во избежание ошибки, вызванной неточным опознаванием мест отбора проб на данных дистанционного зондирования, нами была разработана методика предварительного анализа изображения и определения мест отбор проб.

Первым этапом является географическая привязка космического снимка. Для этих целей целесообразно использовать контрольные точки, выделенные в поле с высокой точностью. Рассчитанная ошибка привязки изображения в дальнейшем будет использована для анализа ближайшей окрестности места отбора образца.

На следующем этапе яркость пикселей классифицируется для поиска на изображении сегментов с однородными значениями яркости, сегмент должен быть достаточной площади и конфигурации, чтобы в него было возможно вписать окружность радиусом, равным неточности географической привязки изображения. Вариация яркостей пикселей в границах сегмента не должна превышать десяти процентов. Эти условия минимизируют ошибку, вызванную ошибкой опознания места отбора проб на космическом изображении.

В результате анализа изображения Planet нами было выбрано 25 образцов, расположение которых соответствует двум условиям, описанным выше. В результате статистического анализа был получен график связи и уравнения регрессии (рис. 2).

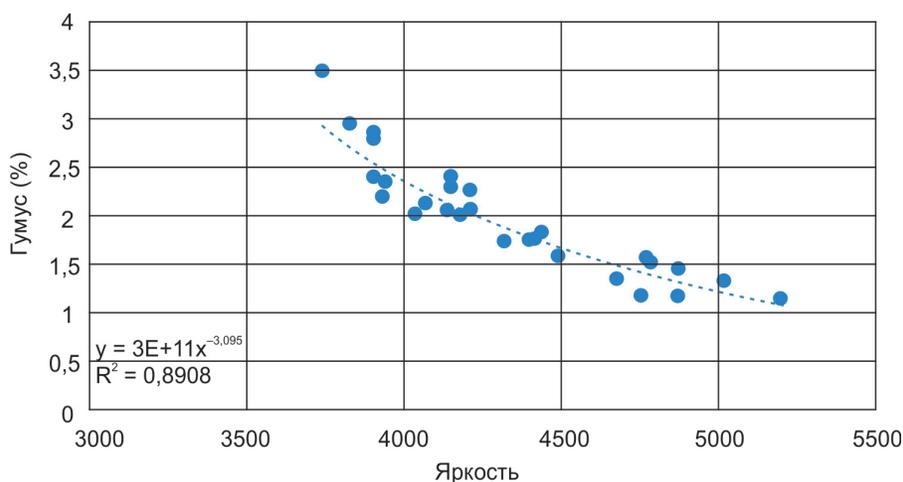


Рис. 2. Локальная модель связи между оптической яркостью почвенной поверхности в ближнеинфракрасном канале спутниковой съемки Planet и общим содержанием гумуса в почве

В результате статистического анализа нами был получен коэффициент детерминации 0,89. За счет значения яркости снимка нами было объяснено 89 % содержания гумуса в почве, мы считаем этот результат приемлемым для дальнейшего практического использования.

В программном продукте ArcGIS нами была составлена карта содержания органического вещества на всем поле. Она была получена путем использования инструментов растровой алгебры и уравнения статистической связи, приведенного на рис. 2. На карте (рис. 3) наглядно представлено распределение гумуса в границах всего поля.



Рис. 3. Картограмма распределения содержания гумуса на исследуемом участке, полученная с использованием данных дистанционного зондирования земли и геостатистических методов

Второе поле (2г), которое мы бы хотели рассмотреть, находится в Барановичском районе; гранулометрический состав почв неоднороден, на поле встречаются легкие суглинки и связные супеси. Обследование поля проводилось в мае 2018 г., суммарное количество отобранных образцов составило 78, образцы отбирались регулярной сеткой с частотой в 50 м. Местоположение образцов строго фиксировалось, как и для первого рассмотренного поля 1г. В агрохимической лаборатории был сделан анализ на содержание гумуса в каждом из образцов.

Суммарная обследованная площадь составила 18 га. На поле в 2018 г. произрастала озимая пшеница с датой сева 20 сентября 2017 г., на основании этого мы выбрали спутниковый снимок за 25 сентября 2017 г., когда верхний слой почвы находился в воздушно-сухом состоянии и на поле не было зафиксировано остатков растительности. Космическое изображение было перепривязано с использованием контрольных точек, полученных с GNSS приемника, со среднеквадратичной ошибкой в 2,9 метра.

После этого нами было изучено значение яркости пикселей в местах отбора проб и сопоставлено с содержанием гумуса. Как и для поля 1г, максимальная связь с содержанием органического вещества характерна для ближнеинфракрасного канала, значение коэффициента детерминации составило 0,46, что сравнимо с предыдущим полем.

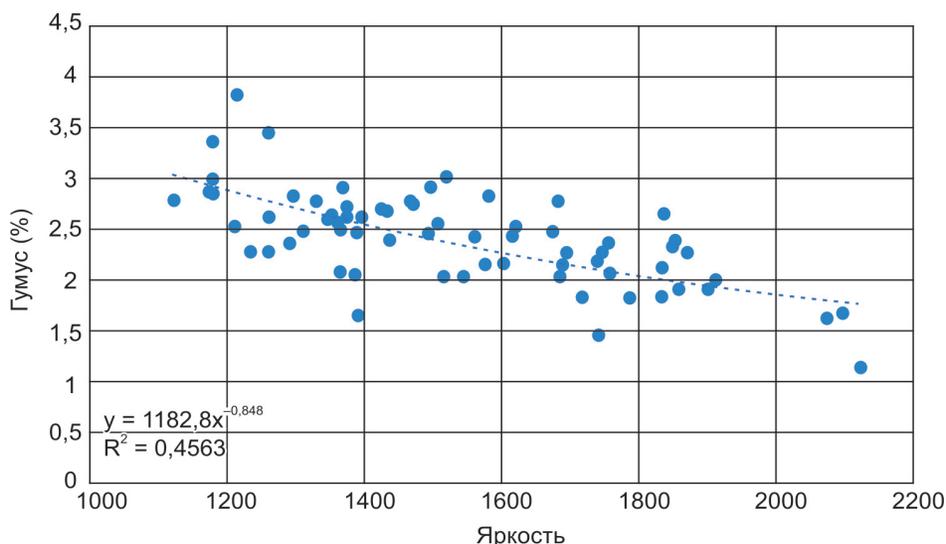


Рис. 4. Локальная модель связи между оптической яркостью почвенной поверхности в ближнеинфракрасном канале спутниковой съемки Planet и общим содержанием гумуса в почве

Как и для первого поля исследования, нами было замечено, что для некоторых образцов значение яркости пикселей в ближайшей окрестности сильно меняется. Был проведен пространственный анализ снимка, по результату которого выбрано 24 места отбора образцов, где вариативность яркости пикселей в радиусе 3 м не превышает 10 %.

На основании полученных данных был проведен статистический анализ и построен график корреляционной связи (рис. 5).

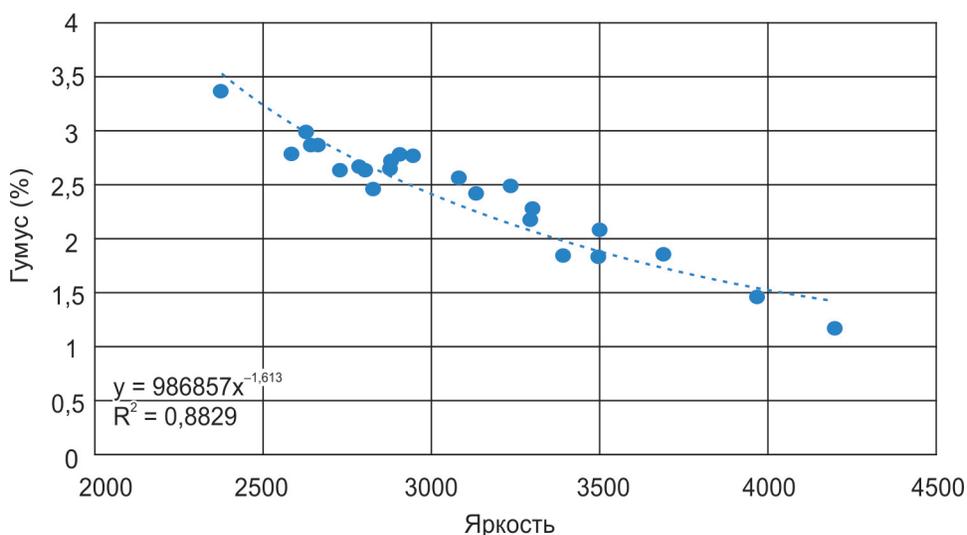


Рис. 5. Локальная модель связи между оптической яркостью почвенной поверхности в ближнеинфракрасном канале спутниковой съемки Planet и общим содержанием гумуса в почве

Значение коэффициента детерминации возросло до 0,88, что является достаточным для построения картограммы содержания гумуса в границах всего поля (рис. 6).

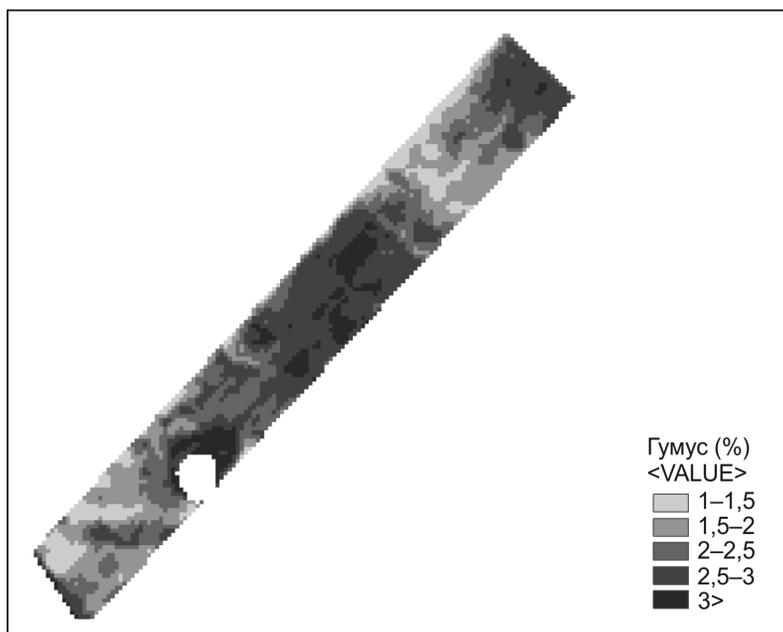


Рис. 6. Картограмма распределения содержания гумуса на исследуемом участке, полученная с использованием данных дистанционного зондирования земли и геостатистических методов

Далее в статье мы бы хотели привести поле 3г, где обработка изображения предшествовала отбору почвенных проб. Данное поле расположено в Минском районе и занимает площадь 98 га, характеризуется сложным рельефом: перепад высот более 35 м, уклон достигает 17°. Почвы преимущественно супесчаные, на участке присутствуют места проявления сильной плоскостной эрозии, где почвы характеризуются песчаным гранулометрическим составом с практически полным отсутствием гумуса.

Для исследования нами также были использованы данные спутников Planet за 16 апреля 2017 г. Данное поле в указанную дату было распаханно, и верхний слой почвы характеризовался воздушно-сухим состоянием. Нам удалось перепривязать используемое для анализа изображение с точностью в 2,9 м.

На исследуемом космическом изображении были выделены однородные зоны (с радиусом 2,9 м), в общей сложности их количество составило 128. Мы считаем важным скорректировать места отбора почвенных проб с использованием данных о гранулометрическом составе исследуемого поля 3г. Мы старались распределить места отбора проб равномерно по всем имеющимся на поле разновидностям почв (рис. 7). Общее количество образцов, отобранных в мае 2018 г., составило 26.

После проведения обследования и получения данных из лаборатории нами были сопоставлены ряды данных и построен график, отраженный на рис. 8.

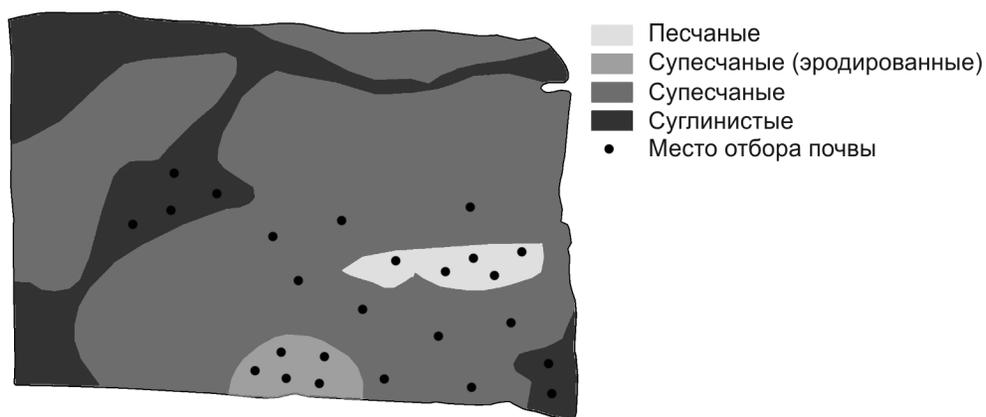


Рис. 7. Гранулометрический состав почвы и места отбора проб для исследуемого участка

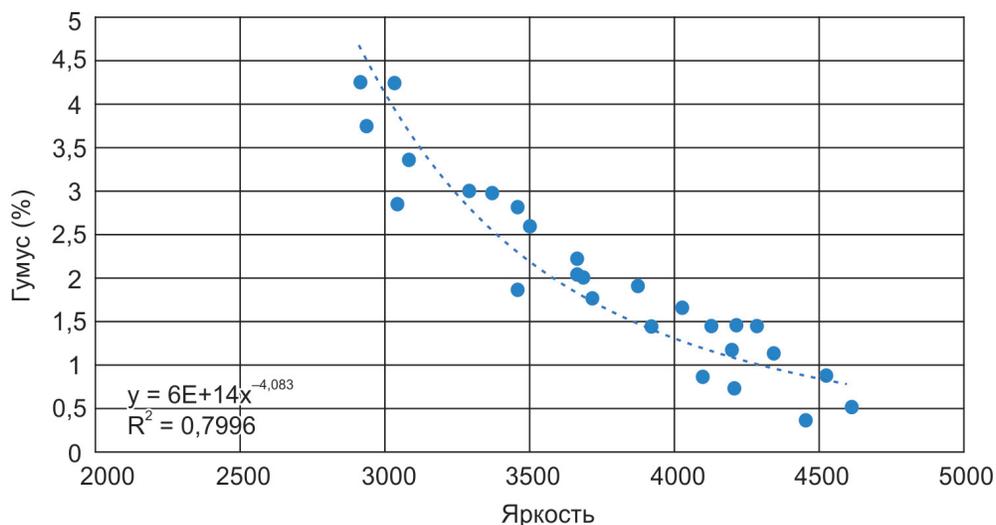


Рис. 8. Локальная модель связи между оптической яркостью почвенной поверхности в ближнеинфракрасном канале спутниковой съемки Planet и общим содержанием гумуса в почве

Для третьего поля исследования мы также можем наблюдать высокие коэффициенты статистической связи. Коэффициент детерминации составил 0,80. Мы можем сделать вывод, что содержание физической глины в образцах опосредованно влияет на яркость на данных дистанционного зондирования земли, так как почвенные образцы отбирались на различных по гранулометрическому составу почвах.

## ВЫВОДЫ

На основании нашего исследования можно заключить, что между значениями яркостей пикселей, получаемых с использованием данных дистанционного зондирования земли, и содержанием гумуса в почве существует тесная корреляция.

онная связь, которая достаточна для картографирования гумуса и составления картограмм содержания органического вещества с разрешением в один пиксел использованного изображения. При этом значения коэффициентов корреляции сильно отличаются в зависимости от используемых каналов спутниковой съемки. Для всех трех полей наибольшие значения статистической связи были получены для ближнеинфракрасного канала.

Важно отметить: для всех полей исследования характерна степенная модель связи. Это может быть объяснено тем, что при содержании гумуса свыше 2,5 % он практически полностью покрывает почвенные частицы и с дальнейшим его ростом изменения яркости практически не происходит.

Разработанная нами методика обработки космических изображений позволяет минимизировать ошибку, возникающую в результате неточного опознания места отбора пробы на данных дистанционного зондирования земли.

Данные дистанционного зондирования земли высокого пространственного разрешения позволяют определять места отбора почвенных образцов и производить пересчет значений яркости в значения содержания гумуса, причем получаемая информация полезна не только в системах точного земледелия, но и позволяет снизить затраты на проведение агрохимического обследования.

Несмотря на очевидные плюсы использования данных ДЗЗ для картографирования органического вещества у представленной методики есть свои недостатки. Во-первых, невозможность использования данной методики в разрезе области, района либо отдельно взятого хозяйства. Другими словами, для картографирования гумуса с использованием спутниковых данных каждый рабочий участок должен анализироваться отдельно. Во-вторых, методика требует наличия у полевых бригад дорогого навигационного оборудования и хороших знаний сотрудниками методик дешифрирования данных дистанционного зондирования земли и в области геоинформационных систем. В-третьих, хозяйства не располагают необходимой сельскохозяйственной техникой для практического использования столь точной информации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Chang, C. W.* Near-infrared reflectance spectroscopic analysis of soil C and N / C. W. Chang, D. A. Laird // *Soil Science*. – 2001. – № 167. – С. 110–116.
2. *Кравцов, С. Л.* Оценка концентрации органических веществ в почве методами дистанционного зондирования Земли / С. Л. Кравцов, Л. В. Орешкина // *Информатика*. – 2009. – № 24(4). – С. 124–133.
3. *Moslem, L.* Estimating soil organic carbon from soil reflectance: a review / L. Moslem, A. Hosein, S. Bahrami, A. Kazem // *Precision Agric*. – 2010. – № 11. – P. 82–99.
4. *Alexander, J. D.* A color chart for organic matter / J. D. Alexander // *Crops Soils*. – 1969. – № 21. – С. 15–17.
5. *Galvao, L. S.* Variations in reflectance of tropical soils: Spectral-chemical composition relationships from AVIRIS data / L. S. Galvao, M. A. Pizarro, J. C. Epiphany // *Remote Sensing of Environment*. – 2010. – № 75. – P. 245–255.
6. Расчет содержания гумуса с использованием данных дистанционного зондирования земли / В. А. Малышевский [и др.] // *КубГАУ*. – 2013. – № 92(08). – С. 112–115.

7. Украинский, П. А. Изучение гранулометрического состава почв Поосколья по данным дешифрирования космических снимков / П. А. Украинский, О. А. Чепелев // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011.– № 1–5. – С. 110–112.

## **METHODOLOGICAL APPROACHES TO MAPPING THE CONTENT OF HUMUS USING REMOTE SENSING DATA**

**U. A. Henin**

### **Summary**

The author developed a technique for mapping the quantitative content of humus from remote sensing data of the earth. In this work, the author used data from high-spatial resolution satellite resources and 3 test sites located in the Minsk and Baranovichi regions of the Republic of Belarus. Sod-podzolic soils of varying degrees of hydromorphicity and granulometric composition are characteristic of the studied areas. During the field work, 240 soil samples were selected and an analysis was carried out for the content of humus, according to Tyurin's method. Agrochemical soil analysis data were compared with data of optical brightness on cosmic images. As a result of the statistical analysis, high values of the determination coefficients for all the investigated fields were obtained, which makes it possible to use the spectral characteristics to obtain data on the intrinsic unevenness of the humus content.

*Поступила 10.07.18*

## 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.84:633.1:631.445.2

### ВКЛАД АЗОТА ПОЧВЫ И УДОБРЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

**Н. Н. Цыбулько**

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

#### ВВЕДЕНИЕ

Продуктивность сельскохозяйственных культур обусловлена комплексом природных и агротехнических факторов, ведущее место среди которых занимает обеспеченность растений элементами минерального питания и, прежде всего, азотом. В продукционном процессе сельскохозяйственных культур непосредственное участие принимают азот почвенных запасов и азотные удобрения. Поэтому одна из задач современной агрохимии состоит в совершенствовании приемов рационального использования азотного фонда почв при одновременном сохранении их плодородия и эффективном применении азотных удобрений.

Интенсивность поглощения и включения азота в продукционный процесс определяется совокупностью процессов трансформации его в почве, биологическими особенностями сельскохозяйственных культур и физиологическими процессами, происходящими в растении. Исследованиями с мечеными тяжелым изотопом  $^{15}\text{N}$  азотными удобрениями выявлены закономерности азотного питания растений и трансформации азота в почве, количественные и качественные параметры, составляющие внутрпочвенный цикл азота, определена роль азота удобрений в формировании урожая по этапам органогенеза [1–7].

По сложившимся представлениям эффективность азотных удобрений является результирующей прямого и косвенного их действия на почву, растения и зависит от совокупности процессов внутрпочвенного превращения удобрений, формирующих запас минерального азота, его потребления и усвоения растениями.

Показателями, характеризующими режим азотного питания растений, агрономическую и экологическую целесообразность применения азотных удобрений являются: биологический и удельный вынос азота с урожаем основной и побочной продукции или величина потребления (поглощения) азота; коэффициент использования азота удобрений или эффективность потребления (поглощения) азота.

Анализ литературных данных показывает, что величина относительного участия азота почвы и удобрений в выносе этого элемента урожаем сельскохозяйственных культур существенно зависит от ряда факторов. Принято считать, что

чем выше окультуренность почвы, тем ниже долевое участие азота удобрений в общем выносе азота урожаем [8–10].

В процессе роста и развития растений поглощение азота почвы и удобрений корневой системой постоянно меняется. Установлено, что в начале вегетации количество азота удобрений преобладает над азотом почвы. В начальные периоды роста количество азота удобрений в растениях может достигать 60–80 %, а по мере развития растения доля азота удобрений постоянно снижается [11, 12].

Исследования с мечеными  $^{15}\text{N}$  азотными удобрениями показали, что коэффициент использования азота удобрений ( $KI_{N_{уд}}$ ) сельскохозяйственными культурами на разных почвах колеблется от 12 до 70 % [3, 6, 7]. По обобщенным результатам 289 опытов зарубежных авторов этот показатель в среднем составляет 43 % [13].

Цель настоящей работы состояла в обобщении экспериментальных данных, полученных в опытах изучения с применением стабильного изотопа  $^{15}\text{N}$ , по влиянию доз, сроков внесения и форм азотных удобрений на потребление растениями и вклад в формирование урожая сельскохозяйственными культурами почвенного азота и азотных удобрений на дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных почвах.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследований являлись следующие почвы: дерново-подзолистая легкосуглинистая на лессовидных суглинках; дерново-подзолистая автоморфная супесчаная на водно-ледниковых рыхлых супесях; дерново-подзолистая глееватая супесчаная на водно-ледниковых рыхлых супесях.

Исследования на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве проводили в 1992–1993 гг. на опытном стационаре Института почвоведения и агрохимии (СПК «Щомыслица», Минский район). В опытах возделывали озимую рожь (опыт 1). Исследования на дерново-подзолистой супесчаной почве проводили в 2006–2007 гг. на опытном стационаре Могилевского филиала РНИУП «Институт радиологии» (СПК «Зарянский», Славгородский район). В опытах возделывали ячмень и озимую рожь (опыт 2). В 2009–2010 гг. на дерново-подзолистых автоморфных и глееватых супесчаных почвах на этом же опытном стационаре выполняли исследования с яровой пшеницей и бобово-злаковой смесью (горох с овсом) на зерно (опыт 3). Агрохимическая характеристика почв представлена в табл. 1.

Таблица 1

Агрохимические показатели пахотных горизонтов почв

Показатель	Почва			
	дерново-подзолистая легкосуглинистая (опыт 1)	дерново-подзолистая супесчаная (опыт 2)	дерново-подзолистая автоморфная супесчаная (опыт 3)	дерново-подзолистая глееватая супесчаная (опыт 3)
Содержание гумуса, %	2,19	2,03	2,02	2,10
Содержание $N_{\text{мин}}$ , мг/кг почвы	20,2	17,9	17,1	18,6
Запас $N_{\text{мин}}$ , кг/га	68,0	58,3	55,7	58,7
pH в KCl	6,05	6,00	5,90	6,20
Содержание $P_2O_5$ , мг/кг почвы	285	275	210	165
Содержание $K_2O$ , мг/кг почвы	153	254	200	221

Исследования проводили в микрополевых опытах. Площадь микроделянок опытов – 1 м<sup>2</sup>. Повторность в опытах 4-х кратная. Минеральные удобрения вносили из расчета г/м<sup>2</sup> д. в.

Схема опыта 1 на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве включала варианты с разными дозами и сроками применения азотных удобрений под озимую рожь: 1. P<sub>8</sub>K<sub>12</sub> – фон; 2. Фон + N<sub>9</sub> – в ранневесеннюю подкормку; 3. Фон + N<sub>6</sub> – в ранневесеннюю подкормку + N<sub>3</sub> – в начале фазы выхода в трубку; 4. Фон + N<sub>6</sub> – в ранневесеннюю подкормку + N<sub>3</sub> – в фазу флага-листа; 5. Фон + N<sub>9</sub> – в ранневесеннюю подкормку + N<sub>3</sub> – в фазу колошения. Азотные удобрения применяли в виде меченого <sup>15</sup>N раствора аммиачной селитры (<sup>15</sup>NH<sub>4</sub><sup>15</sup>NO<sub>3</sub>) со степенью обогащения изотопом <sup>15</sup>N 20 атомных %.

Схема опыта 2 на дерново-подзолистой супесчаной почве включала варианты с разными дозами и сроками внесения азотных удобрений под ячмень и озимую рожь: 1. P<sub>6</sub>K<sub>12</sub> – фон; 2. Фон + N<sub>6</sub> – перед посевом ячменя или в ранневесеннюю подкормку озимой ржи; 3. Фон + N<sub>9</sub> – перед посевом ячменя и в ранневесеннюю подкормку озимой ржи; 4. Фон + N<sub>6</sub> – перед посевом ячменя или в ранневесеннюю подкормку озимой ржи + N<sub>3</sub> – в начале фазы выхода в трубку растений ячменя и озимой ржи; 5. Фон + N<sub>9</sub> – перед посевом ячменя или в ранневесеннюю подкормку озимой ржи + N<sub>3</sub> – в начале фазы выхода в трубку ячменя и озимой ржи. Азотные удобрения применяли в виде меченого <sup>15</sup>N раствора карбамида (CO(<sup>15</sup>NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) со степенью обогащения изотопом <sup>15</sup>N 15 атомных %.

Схема опыта 3 на дерново-подзолистых автоморфной и глееватой супесчаных почвах включала варианты с применением разных форм азотных удобрений: 1. P<sub>6-9</sub>K<sub>15</sub> – фон; 2. Фон+N<sub>к</sub>; 3. Фон+N<sub>а</sub>; 4. Фон+N<sub>аа</sub>; 5. Фон+N<sub>КАС</sub>. Разные формы азотных удобрений вносили перед посевом в виде меченых <sup>15</sup>N их растворов в дозах под бобово-злаковую смесь N<sub>6</sub>, под яровую пшеницу – N<sub>9</sub> со степенью изотопного обогащения 15 атомных %. При обозначении форм азотных удобрений использовали сокращения: N<sub>м</sub> – карбамид; N<sub>а</sub> – сульфат аммония; N<sub>аа</sub> – селитра аммиачная; N<sub>КАС</sub> – раствор карбамида и аммиачной селитры.

Анализ растительных образцов на содержание общего азота проводили по Къельдалю-Иодльбауэру после их мокрого озоления [14]. Изотопный состав азота определяли на масс-спектрометрах МИ-2101В и «Thermo Finnigan MAT Delta plus Advantage». В почвенных пробах определяли основные агрохимические показатели по следующим методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212-91 [15]; рН<sub>(КС)</sub> – потенциометрическим методом [16]; подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову [17]; N<sub>общ</sub> – по ГОСТ 26107-84 [18]; N-NH<sub>4</sub> – по ГОСТ 26489-85 [19]; N-NO<sub>3</sub> – по ГОСТ 26488-85 [20].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как показывают литературные данные [21–23], доля азота почвы в потреблении и выносе элемента урожаем выше, чем из удобрений. Так, в исследованиях Г. П. Гамзикова [16] в образовании урожая азот почвы участвовал на 84–85 %, а на долю азота удобрений приходилось около 20 %.

Исследования, проведенные с применением под сельскохозяйственные культуры меченных изотопом <sup>15</sup>N азотных удобрений, позволили установить, что интен-

сивность потребления и включения азота в продукционный процесс определяется почвенными условиями, биологическими особенностями сельскохозяйственных культур, дозами, сроками применения и формами азотных удобрений.

На дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах с запасом в пахотном слое ( $A_p$ ) в весенний период минерального азота ( $N_{мин}$ ) в среднем 68 кг/га величина потребления азота с урожаем основной (зерно) и побочной (солома) продукции озимой ржи колебалась в зависимости от доз и сроков применения азотных удобрений от 14,05 до 16,02 г/м<sup>2</sup>. При внесении азотных удобрений величина потребления азота возросла по отношению к фосфорно-калийному фону в 2,0–2,3 раза (табл. 2).

Таблица 2

**Потребление азота почвы и удобрений зерновыми культурами  
в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений**

Культура	Почва	Вариант опыта	Поглощено азота, г/м <sup>2</sup>			N <sub>уд.</sub> , % от общего выноса	КН <sub>уд.</sub> , %
			всего	в том числе			
				почвы	удобрений		
Озимая рожь	Дерново-подзолистая легкосуглинистая	1. P <sub>8</sub> K <sub>12</sub> – фон	6,96	6,96	–	–	–
		2. Фон + N <sub>9</sub> <sup>*</sup>	14,05	9,37	4,68	33	52
		3. Фон + N <sub>6</sub> <sup>*</sup> + N <sub>3</sub> <sup>**</sup>	14,64	9,09	5,55	38	62
		4. Фон + N <sub>6</sub> <sup>*</sup> + N <sub>3</sub> <sup>***</sup>	14,14	8,93	5,21	37	58
		5. Фон + N <sub>9</sub> <sup>*</sup> + N <sub>3</sub> <sup>****</sup>	16,02	9,66	6,36	40	53
		НСП <sub>05</sub>	1,30	–	–	–	–
	Дерново-подзолистая супесчаная	1. P <sub>8</sub> K <sub>12</sub> – фон	10,36	10,36	–	–	–
		2. Фон + N <sub>6</sub> <sup>*</sup>	15,91	13,47	2,44	15	41
		3. Фон + N <sub>9</sub> <sup>*</sup>	17,10	14,46	2,64	15	29
		4. Фон + N <sub>6</sub> <sup>*</sup> + N <sub>3</sub> <sup>**</sup>	17,91	14,78	3,13	18	35
		5. Фон + N <sub>9</sub> <sup>*</sup> + N <sub>3</sub> <sup>**</sup>	20,12	16,38	3,74	19	31
НСП <sub>05</sub>		1,38	–	–	–	–	
Ячмень	Дерново-подзолистая супесчаная	1. P <sub>8</sub> K <sub>12</sub> – фон	8,77	8,77	–	–	–
		2. Фон + N <sub>6</sub> <sup>*</sup>	14,05	10,58	3,47	25	58
		3. Фон + N <sub>9</sub> <sup>*</sup>	16,18	11,47	4,71	29	52
		4. Фон + N <sub>6</sub> <sup>*</sup> + N <sub>3</sub> <sup>**</sup>	15,89	11,21	4,68	30	52
		5. Фон + N <sub>9</sub> <sup>*</sup> + N <sub>3</sub> <sup>**</sup>	16,70	10,98	5,72	34	48
		НСП <sub>05</sub>	1,21	–	–	–	–

*Примечание.* Сроки внесения азотных удобрений: N – перед посевом; N<sup>\*</sup> – возобновление весенней вегетации озимой ржи; N<sup>\*\*</sup> – начало фазы выхода в трубку; N<sup>\*\*\*</sup> – фаза раскрытия последнего листа; N<sup>\*\*\*\*</sup> – фаза колошения.

Наибольший вынос азота (16,02 г/м<sup>2</sup>) отмечен при внесении N<sub>12</sub> в два приема (N<sub>9</sub> – во время возобновления весенней вегетации + N<sub>3</sub> – в фазу колошения). Дробное применение N<sub>9</sub> (варианты 3 и 4) несущественно увеличивало вынос азота по отношению к варианту с однократным внесением во время возобновления весенней вегетации посевов той же дозы удобрений.

В хозяйственном выносе азота озимой рожью преобладал азот почвы, на долю которого приходилось 60–67 %. Наиболее низкое относительное участие (33 %) азота удобрений отмечено в варианте с однократным применением в ранневесеннюю подкормку  $N_9$ , что обусловлено, по нашему мнению, закреплением и потерями азотных удобрений, внесенных в высоких дозах в один прием. Дробное применение той же дозы азота повысило долю его в выносе с урожаем до 37–38 %, а при увеличении уровня азотного питания ( $N_{12}$ ) – до 40 %.

В исследованиях на дерново-подзолистой супесчаной почве с запасом в пахотном слое ( $A_n$ ) в весенний период  $N_{мин}$  в среднем 58 кг/га при несколько более высоком общем выносе азота озимой рожью (10,36–20,12 г/м<sup>2</sup>) по сравнению с дерново-подзолистой легкосуглинистой почвой удельный вес почвенного азота в формировании урожая основной и побочной продукции был значительно выше и составил 81–85 %, а доля азота удобрений колебалась в зависимости от доз их применения в пределах 15–19 %. Вероятно, это обусловлено более интенсивной мобилизацией в супесчаной почве азота почвенных запасов («экстра»-азота) при внесении азотных удобрений, большими газообразными потерями азота и в результате выщелачивания в нижележащие горизонты почвы.

Общая величина азота, потребленного за вегетационный период ячменя, на дерново-подзолистой супесчаной почве изменялась в зависимости доз и сроков применения азотных удобрений от 8,77 до 16,70 г/м<sup>2</sup>. При внесении азотных удобрений общий вынос азота возрос по отношению к фосфорно-калийному фону в 1,6–1,9 раза. Наибольший вынос азота (16,70 г/м<sup>2</sup>) отмечен при внесении  $N_{12}$  в два приема ( $N_9$  – перед посевом +  $N_3$  – в фазу выхода в трубку растений). При дробном применении  $N_9$  (вариант 4) он был ниже по сравнению с вариантом с однократным внесением во время возобновления весенней вегетации посевов той же дозы удобрений.

В общем выносе азота ячменем преобладал азот почвы, составляющий 66–75 %. Наиболее низкое относительное участие (25 %) азота удобрений отмечено в варианте с однократным применением в ранневесеннюю подкормку  $N_6$ . При дробном и однократном применении  $N_9$  удельный вес азота удобрения в формировании урожая был примерно одинаковым – 29–30 %. Увеличение дозы азотного удобрения до  $N_{12}$  способствовало повышению доли азота удобрений в потреблении его растениями до 34 %.

С использованием метода меченых атомов также изучено влияние разных форм азотных удобрений, вносимых под яровую пшеницу и бобово-злаковую смесь (горох с овсом), на зерно на дерново-подзолистых автоморфных и глееватых супесчаных почвах, на структуру потребления растениями почвенного азота и азота удобрений.

Количество поглощенного яровой пшеницей азота на автоморфной и глееватой почвах на фосфорно-калийном фоне ( $P_9K_{15}$ ) составило соответственно 6,66 и 7,97 г/м<sup>2</sup>, а в вариантах с применением разных форм азотных удобрений в дозе  $N_9$  колебалось от 11,56 до 12,40 г/м<sup>2</sup> на автоморфной почве и от 15,74 до 16,43 г/м<sup>2</sup> – на глееватой почве. На автоморфной почве общий вынос азота в вариантах с сульфатом аммония, аммиачной селитрой и КАС был примерно одинаковым – 12,27–12,40 г/м<sup>2</sup>, несколько ниже – в варианте с карбамидом. На глееватой почве наиболее низкое потребление азота отмечено в варианте с аммиачной селитрой (табл. 3).

**Потребление азота почвы и удобрений сельскохозяйственными культурами  
в зависимости от форм вносимых азотных удобрений**

Культура	Почва	Вариант опыта	Поглощено азота, г/м <sup>2</sup>			N <sub>уд.</sub> , % от общего выноса	КИ <sub>Нуд.</sub> , %
			всего	в том числе			
				почвы	удобрений		
Яровая пшеница	Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная	1. P <sub>9</sub> K <sub>15</sub> – фон	6,66	6,66	–	–	–
		2. Фон + N <sub>к</sub>	11,56	8,00	3,56	31	40
		3. Фон + N <sub>а</sub>	12,40	8,28	4,12	33	46
		4. Фон + N <sub>аа</sub>	12,27	8,13	4,14	34	46
		5. Фон + N <sub>КАС</sub>	12,34	8,15	4,19	34	47
		НСП <sub>05</sub>	1,02	–	–	–	–
	Дерново-подзолистая глееватая супесчаная	1. P <sub>9</sub> K <sub>15</sub> – фон	7,97	7,97	–	–	–
		2. Фон + N <sub>к</sub>	16,19	12,19	4,00	25	44
		3. Фон + N <sub>а</sub>	16,21	12,13	4,08	25	45
		4. Фон + N <sub>аа</sub>	15,74	11,64	4,10	26	46
		5. Фон + N <sub>КАС</sub>	16,43	12,27	4,16	25	46
НСП <sub>05</sub>		1,22	–	–	–	–	
Горох с овсом на зерно	Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная	1. P <sub>6</sub> K <sub>15</sub> – фон	10,11	10,11	–	–	–
		2. Фон + N <sub>к</sub>	17,62	15,91	1,71	10	29
		3. Фон + N <sub>а</sub>	16,32	15,00	1,32	8	22
		4. Фон + N <sub>аа</sub>	16,56	15,26	1,30	8	22
		5. Фон + N <sub>КАС</sub>	17,17	15,98	1,19	7	20
		НСП <sub>05</sub>	1,12	–	–	–	–
	Дерново-подзолистая глееватая супесчаная	1. P <sub>6</sub> K <sub>15</sub> – фон	10,84	10,84	–	–	–
		2. Фон + N <sub>к</sub>	17,87	16,22	1,65	9	28
		3. Фон + N <sub>а</sub>	15,86	14,27	1,59	10	27
		4. Фон + N <sub>аа</sub>	16,44	14,89	1,55	9	26
		5. Фон + N <sub>КАС</sub>	16,88	14,89	1,99	12	33
НСП <sub>05</sub>		1,24	–	–	–	–	

В общем выносе азота с зерном и соломой яровой пшеницы основной удельный вес занимал азот почвы, на автоморфной и глееватой почвах 66–69 и 74–75 % соответственно. Доля внесенного азота составила на автоморфной почве 31–34 %, на глееватой почве – 25–26 %. Наиболее низкое относительное участие азота удобрений в его общем выносе было на автоморфной почве в варианте с карбамидом. На глееватой почве формы вносимого азота не различались.

Общее потребление азота бобово-злаковой смесью на автоморфной и глееватой почвах на фосфорно-калийном фоне составило 10,11 и 10,84 г/м<sup>2</sup> соответственно, а в вариантах с применением разных форм азотных удобрений в дозе N<sub>6</sub> изменялось от 15,86 до 17,87 г/м<sup>2</sup>. Наибольший вынос азота на автоморфной и глееватой почве отмечен при внесении карбамида – 17,62 и 17,87 г/м<sup>2</sup> соответственно, а самый низкий – в варианте с сульфатом аммония – соответственно 16,32 и 15,86 г/м<sup>2</sup>.

Полученные данные также свидетельствуют о преимущественном значении почвенного азота в питании растений. На бобово-злаковой смеси значительно снизилась доля азота удобрений в питании растений и формировании урожая, составившая на автоморфной почве 7–10 %, на глееватой почве – 9–12 %, а азот почвы занимал соответственно 90–93 и 88–91 %. По нашему мнению, это обусловлено использованием бобовым компонентом (горохом) биологического азота в результате фиксации атмосферного азота.

В зависимости от типа почвы коэффициент использования азота варьирует в пределах 31–59 % [24]. На хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах в растения поступает больше азота удобрений, чем на слабоокультуренных почвах [25]. Чем выше содержание в почве доступного растениям азота, тем ниже  $KI_{N_{уд}}$  [26]. Однако приводятся данные, что и на почвах с достаточно высоким запасом азота этот показатель не снижается [7].

На величину коэффициента использования азота значительное влияние оказывают дозы и сроки внесения азотных удобрений [4, 27]. При дробном внесении азота под зерновые культуры коэффициент его использования увеличивается на 3–21 % по сравнению с разовым применением [7, 28]. Применение азотных удобрений в период наибольшей физиологической потребности растений в азоте способствует существенному повышению  $KI_{N_{уд}}$  [29].

К числу причин, ограничивающих размеры потребления и коэффициент использования азота удобрений, можно отнести: внесение азотных удобрений в дозах, несоответствующих физиологической потребности растений в азоте; высокая растворимость и быстрое превращение в почве выпускаемых форм азотных удобрений, что приводит к потерям и уменьшению запасов потребляемых растениями соединений азота в почве [6].

Результаты проведенных многолетних исследований показали, что коэффициенты использования азота удобрений на дерново-подзолистых почвах могут изменяться в широких пределах – от 20 до 62 %. Зависят они от уровня плодородия почв, возделываемой культуры, доз, сроков внесения и форм азотных удобрений. Так, на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при однократном применении под озимую рожь в начале весенней вегетации  $N_9$  (90 кг/га)  $KI_{N_{уд}}$  составил 52 %, а при внесении общей дозы азота 9,0 г/м<sup>2</sup> в два срока ( $N_6$  – в ранневесеннюю подкормку и  $N_3$  – в начале фазы выхода в трубку) возрос до 62 %. Проведение второй азотной подкормки дозой  $N_3$  не в начале фазы выхода в трубку, а в фазу флаг-листа снижало коэффициент использования азота удобрений на 5 %. С увеличением дозы дробного внесения азотных удобрений до 12,0 г/м<sup>2</sup> (120 кг/га) составил 53 %.

При возделывании озимой ржи на дерново-подзолистой супесчаной почве коэффициенты использования были ниже по сравнению с легкосуглинистой почвой и колебались от 29 до 41 %. В варианте с однократным внесением в начале возобновления весенней вегетации озимой ржи  $N_6$  (60 кг/га д.в.)  $KI_{N_{уд}}$  составил 41 %. С увеличением дозы азота до 9 г/м<sup>2</sup> (90 кг/га д.в.) этот показатель снизился до 29 %. При дробном применении этой же дозы азота коэффициент его использования увеличился в ячмене на 6 %. В вариантах с дробным внесением  $N_{12}$  (120 кг/га д.в.)  $KI_{N_{уд}}$  озимой рожью составили 31 %.

В посевах ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве коэффициенты использования азота удобрений изменялись от 48 до 58 %. Сохранялась та же

закономерность, что и на озимой ржи – при увеличении дозы азота  $KI_{N_{уд}}$  снижался, однако дробное его применение не имело преимуществ перед однократным внесением всей дозы до посева.

В результате изучения влияния форм вносимых азотных удобрений установлено, что на дерново-подзолистых супесчаных почвах коэффициент использования азота яровой пшеницей из карбамида несколько ниже (40–44 %) по сравнению с КАС, аммиачной селитрой и сульфатом аммония (45–47 %). В то же время под злаково-бобовой смесью на автоморфной почве наиболее высокий  $KI_{N_{уд}}$  был при применении карбамида (29 %), а на глееватой почве – при внесении КАС (33 %).

Поскольку участие азотных удобрений в формировании суммарного урожая (основной и побочной продукции) невысокое, то возникает вопрос, каким образом они способствуют существенному росту продуктивности сельскохозяйственных культур. Установлено, что азот удобрений в большей мере расходуется на образование зерна, чем соломы (табл. 4).

Таблица 4

**Потребление азота удобрений зерновыми культурами в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений**

Культура	Почва	Доза и сроки внесения азотных удобрений	Вынос азота удобрений, г/м <sup>2</sup>			<sup>15</sup> N <sub>уд</sub> в зерне, % от общего выноса
			всего	в том числе		
				зерном	соломой	
Озимая рожь	Дерново-подзолистая легкосуглинистая	1. N <sub>9</sub> <sup>*</sup>	4,68	3,63	1,05	78
		2. N <sub>6</sub> <sup>*</sup> + N <sub>3</sub> <sup>**</sup>	5,55	4,19	1,36	75
		3. N <sub>6</sub> <sup>*</sup> + N <sub>3</sub> <sup>***</sup>	5,21	4,03	1,18	77
		4. N <sub>9</sub> <sup>*</sup> + N <sub>3</sub> <sup>****</sup>	6,36	4,96	1,40	78
	Дерново-подзолистая супесчаная	1. N <sub>6</sub> <sup>*</sup>	2,44	1,70	0,74	70
		2. N <sub>9</sub> <sup>*</sup>	2,64	1,81	0,86	68
		3. N <sub>6</sub> <sup>*</sup> + N <sub>3</sub> <sup>**</sup>	3,13	2,16	0,97	69
		4. N <sub>9</sub> <sup>*</sup> + N <sub>3</sub> <sup>**</sup>	3,74	2,57	1,17	69
Ячмень	Дерново-подзолистая супесчаная	1. N <sub>6</sub> <sup>*</sup>	3,47	2,79	0,68	80
		2. N <sub>9</sub> <sup>*</sup>	4,71	3,89	0,82	83
		3. N <sub>6</sub> <sup>*</sup> + N <sub>3</sub> <sup>**</sup>	4,68	3,94	0,74	84
		4. N <sub>9</sub> <sup>*</sup> + N <sub>3</sub> <sup>**</sup>	5,72	4,75	0,97	83

В зерне озимой ржи, возделываемой на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, концентрировалось 75–78 % всего поглощенного растениями меченого <sup>15</sup>N азота удобрений. При возделывании этой культуры на дерново-подзолистой супесчаной почве данный показатель составлял 68–70 %. В зерне ячменя содержалось 80–84 % азота удобрений от его общего выноса с основной и побочной продукцией. Приводятся данные [30], что в отдельные годы в зерне концентрируется до 85 % общего выноса <sup>15</sup>N.

Вынос азотных удобрений с зерном существенно зависел от доз и сроков их применения. С увеличением доз удобрений, а также при дробном их внесении наблюдалось закономерное повышение накопления азота в зерне.

Изучение выноса азота зерном, соломой яровой пшеницы и горохо-овсяной смеси на дерново-подзолистых супесчаных автоморфных и глееватых почвах при применении разных форм азотных удобрений показало, что формы вносимого азота не оказывают заметного влияния на структуру его потребления основной и побочной продукцией. Более существенно влияет степень гидроморфности почвы, что обусловлено уровнем урожайности зерна. Так, удельный вес азота удобрений в зерне яровой пшеницы от общего его выноса колебался по вариантам с разными формами азотных удобрений на автоморфной почве в пределах 63–66 %, на глееватой почве – 76–77 %, в зерне горохо-овсяной смеси соответственно 71–87 и 57–68 % (табл. 5). Следует отметить, что урожайность зерна яровой пшеницы была выше на глееватой почве, а зерна горохо-овсяной смеси – на автоморфной почве.

Таблица 5

**Потребление азота удобрений сельскохозяйственными культурами  
в зависимости от форм вносимых азотных удобрений**

Культура	Почва	Формы азотных удобрений	Вынос азота удобрений, г/м <sup>2</sup>			<sup>15</sup> N <sub>уд</sub> в зерне, % от общего выноса
			всего	в том числе		
				зерном	соломой	
Яровая пшеница	Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная	1. N <sub>к</sub>	3,56	2,26	1,30	63
		2. N <sub>а</sub>	4,12	2,70	1,42	66
		3. N <sub>аа</sub>	4,14	2,74	1,40	66
		4. N <sub>КАС</sub>	4,19	2,74	1,45	65
	Дерново-подзолистая глееватая супесчаная	1. N <sub>к</sub>	4,00	3,04	0,96	76
		2. N <sub>а</sub>	4,08	3,13	0,95	77
		3. N <sub>аа</sub>	4,10	3,12	0,98	76
		4. N <sub>КАС</sub>	4,16	3,17	0,99	76
Горох с овсом на зерно	Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная	1. N <sub>к</sub>	1,71	1,31	0,40	77
		2. N <sub>а</sub>	1,32	0,94	0,38	71
		3. N <sub>аа</sub>	1,30	0,98	0,32	75
		4. N <sub>КАС</sub>	1,19	1,04	0,15	87
	Дерново-подзолистая глееватая супесчаная	1. N <sub>к</sub>	1,65	1,12	0,53	68
		2. N <sub>а</sub>	1,59	0,90	0,69	57
		3. N <sub>аа</sub>	1,55	0,89	0,66	57
		4. N <sub>КАС</sub>	1,99	1,18	0,81	59

**ВЫВОДЫ**

1. В азотном питании зерновых культур преобладает азот почвенных запасов. Урожайность зерна озимой ржи на 60–85 %, ячменя и яровой пшеницы – на 66–75 %, бобово-злаковой смеси – на 88–92 % образуется за счет азота почвы. При увеличении доз азотных удобрений и дробном их внесении долевое участие их в формировании урожая возрастает. Из форм азотных удобрений наиболее низкий удельный вес азота удобрений в его общем выносе на автоморфной почве

в варианте с карбамидом, на глееватой почве формы вносимого азота не различались.

2. Азот удобрений в большей мере расходуется на образование зерна, чем соломы. В зерне озимой ржи на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве концентрируется 75–78 % всего поглощенного растениями азота удобрений, на супесчаной почве – 68–70 %. В зерне ячменя содержится 80–84 % азота удобрений от его общего выноса с основной и побочной продукцией. С увеличением доз удобрений и дробном их внесении наблюдается закономерное повышение накопления азота в зерне. Формы вносимого азота не оказывают заметного влияния на структуру его потребления основной и побочной продукцией. Более существенно влияет степень гидроморфности почвы.

3. Коэффициенты использования азота удобрений на дерново-подзолистых почвах изменяются в широких пределах – от 20 до 62 % и зависят от уровня плодородия почв, возделываемой культуры, доз, сроков внесения и форм азотных удобрений. Дробное применение азота способствует увеличению коэффициента его использования, а при увеличении дозы азотных удобрений наблюдается снижение.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кореньков, Д. А. Успехи перспективного использования стабильных изотопов в агрохимии / Д. А. Кореньков, Н. И. Борисова // Вестн. с.- х. науки. – 1980. – № 9. – С. 22–27.
2. Гамзиков, Г. П. Азот в земледелии Западной Сибири / Г. П. Гамзиков. – М.: Наука, 1981. – 268 с.
3. Смирнов, П. М. Вопросы агрохимии азота / П. М. Смирнов. – М.: ТСХА, 1982. – 72 с.
4. Кудеяров, В. Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений / В. Н. Кудеяров. – М.: Наука, 1989. – 216 с.
5. Руделев, Е. В. Минерализация-иммобилизация азота в основных типах почв России и эффективность азотных удобрений: автореф. дис. ...д-ра. биол. наук: 06.01.04 / Е. В. Руделев; Всерос. научно-иссл. ин-т. – М., 1992. – 38 с.
6. Соколов, О. А. Теория и практика рационального применения азотных удобрений / О. А. Соколов, В. М. Семенов. – М.: Наука, 1992. – 207 с.
7. Семененко, Н. Н. Азотный режим дерново-подзолистых почв и рациональное применение азотных удобрений : автореф. дис. ...д-ра. с.- х. наук: 06.01.04 / Н.Н. Семененко; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 1992. – 48 с.
8. Семененко, Н. Н. Азот в земледелии Беларуси / Н. Н. Семененко, Н. В. Невмержицкий. – Минск: БИТ «Хата», 1997. – 196 с.
9. Craswell, E. T. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates / E. T. Craswell, C. G. Douglas // Advances in plant nutrition. Ed. by Tinker P.B., Lachl: A.N.Y. etc. – 1984. – Vol. 1. – P. 1–55.
10. Bowen, G. D. Efficiency in uptake and use of nitrogen by plants / G. C. Bowen, F. Zapata // Stable isotopes in plant nutrition, soil fertility and environmental studies. – Vienna: IAE, 1991. – P. 349–362.
11. 6. Соколов, О. А. Методология оценки азотного питания сельскохозяйственных культур / О. А. Соколов, В. М. Семенов // Агрохимия. – 1994. – № 9. – С. 137–149.

12. Сычев, В. Г. Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Т. 1. Агрохимические аспекты роли азота в продукционном процессе / В. Г. Сычев, О. А. Соколов, Н. Я. Шмырева. – М.: ВНИИА, 2009. – 424 с.
13. Hauck, R. D. Nitrogen fertilizers effects on nitrogen cycle processes / R. D. Hauck // Terrestrial nitrogen cycles: Ecol. Bull. Stockholm. – 1981. – № 33. – P. 551–562.
14. Методические указания по анализу почв, кормов и удобрений. – М.: ЦИНАО, 1976. – 56 с.
15. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212-91. – Введ. 1993.07.01. – Минск: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
16. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение рН по методу ЦИНАО: ГОСТ 26483-85. – Введ. 07.01.86. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1987. – 4 с.
17. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26207-91. – Введ. 07.01.93. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 6 с.
18. Почвы. Методы определения общего азота: ГОСТ 26107-84. – Введ. 07.01.85. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1985. – 6 с.
19. Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО: ГОСТ 26489-85. – Введ. 01.07.86. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1986. – 6 с.
20. Почвы. Определение нитратов по методу ЦИНАО: ГОСТ 26488-85. – Введ. 01.07.86. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1986. – 5 с.
21. Ефимов, В. Н. Использование азота почвы и удобрений растениями ячменя на дерново-подзолистых супесчаных почвах разной степени окультуренности / В. Н. Ефимов, А. И. Осипов, Е. Ф. Чеснокова // Агрохимия. – 1985. – № 7. – С. 3–7.
22. Семененко, Н. Н. Адаптивные системы применения азотных удобрений / Н. Н. Семененко. – Минск: БИТ «Хата», 2003. – 164 с.
23. Stanford, G. Soil nitrogen availability evaluations based on nitrogen mineralization potentials of soils and uptake of labeled and unlabeled nitrogen by plants / G. Stanford, J. O. Legg, S. J. Smith // Plant and Soil. – 1973. – Vol. 39, № 1. – P. 113–124.
24. Гамзиков, Г. П. Баланс и превращение азота удобрений / Г. П. Гамзиков, Г. И. Кострик, В. Н. Емельянова. – Новосибирск: Наука, 1985. – 161 с.
25. Семененко, Н. Н. Влияние уровня плодородия дерново-подзолистых песчаных почв на использование азота почвы и удобрений ячменем / Н. Н. Семененко, Л. Ю. Полонская // Применение  $^{15}\text{N}$  в агрохимических исследованиях. – Новосибирск, 1988. – С. 61–63.
26. Кидин, В. В. Баланс азота удобрений и вымывание азота почвы в лизиметрическом опыте / В. В. Кидин, П. М. Смирнов, О. Н. Ионова // Вопросы агрохимии азота: сб. науч. тр.; под ред. Г.С. Груздева. – М., 1982. – С. 34–49.
27. Кореньков, Д. А. Агрохимические аспекты применения азотных удобрений в интенсивных технологиях / Д. А. Кореньков // Экологические проблемы химизации в интенсивном земледелии: науч. тр. / ВАСХНИЛ, ВНИИ удобрений и агропочвоведения; под ред. Н. З. Милащенко. – М., 1990. – С. 21–27.

28. *Лаврова, И. А.* Эффективность азотных удобрений в зависимости от сроков их внесения / И. А. Лаврова, В. П. Савенков, С. И. Лихацких // Агрохимия. – 1986. – № 1. – С. 3–7.

29. *Семененко, Н. Н.* Потребление озимой рожью азота почвы и удобрений (по данным опытов с  $^{15}\text{N}$ ) / Н. Н. Семененко, Н. Н. Цыбулько // Агрохимия. – 1995. – № 8. – С. 18–22.

30. *Помазкина, Л. В.* Использование растениями и превращение меченого азота удобрений в почвах подтаежной зоны Средней Сибири / Л. В. Помазкина // Агрохимия. – 1980. – № 4. – С. 3–8.

## THE CONTRIBUTION OF SOIL NITROGEN AND FERTILIZERS TO THE FORMATION OF CROPS OF AGRICULTURAL CROPS IN SOD-PODZOLIC SOILS

N. N. Tsybulko

### Summary

Nitrogen of soil stocks prevails in nitrogen nutrition of grain crops. The yield of winter rye grain by 60–85 %, barley and spring wheat – by 66–75, legume-cereal mixture – by 88–92 % due to the nitrogen of the soil. With increasing rates of nitrogen fertilizers and their fractional introduction of their share in the formation of the crop increases. Of the forms of nitrogen fertilizers, the lowest specific gravity of nitrogen of fertilizers in its total removal was on automorphic soil in the variant with urea, the forms of introduced nitrogen did not differ on the gley soil. In the grain of winter rye on sod-podzolic light loamy soil, 75–78 % of the total nitrogen absorbed by plants of fertilizer was concentrated, on sandy soil – 68–70 %. Barley grain contains 80–84 % nitrogen of fertilizers from its total removal with the main and secondary products. With increasing rates of fertilizers and their fractional application, an increase in the accumulation of nitrogen in the grain is observed. The forms of nitrogen do not have a noticeable effect on the structure of its consumption by the base and by-products. More significantly affects the degree of hydromorphic soil. The utilization of nitrogen fertilizers on sod-podzolic soils varies from 20 to 62 % and depends on the level of soil fertility, cultivated crops, rates, timing of application and forms of nitrogen fertilizers. Fractional use of nitrogen contributes to an increase in its utilization rate, while a decrease in the rate of nitrogen fertilizers is observed to decrease.

*Поступила 05.12.18*

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЯ UREA<sup>STABIL</sup> (В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ) НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЛЕГКОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ В БЕЛАРУСИ

Г. В. Пироговская<sup>1</sup>, С. С. Хмелевский<sup>1</sup>, В. И. Сороко<sup>1</sup>, О. И. Исаева<sup>1</sup>,  
Мартин Пиларж<sup>2</sup>, Петр Балек<sup>2</sup>

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

*<sup>2</sup>Чешская компания AGRA GROUP a.s.,  
Чехия*

### ВВЕДЕНИЕ

Озимая пшеница является одной из наиболее распространенных и ценных зерновых культур. Хлеб, выпекаемый из пшеничной муки, отличается превосходными вкусовыми свойствами, хорошо усваивается. Известно, что в 100 г пшеничного хлеба содержится около 250 ккал. Содержание белка в хлебопекарном зерне пшеницы составляет 11–16 %, клейковины – 25–28 %. Основу клейковины составляют белки – глиадин и глютеин. Кроме хлебопечения, пшеница широко используется в крупяном, макаронном, кондитерском и других пищевых производствах. Немаловажное значение имеет и применение фуражного зерна, которое используется в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы [1, 2].

В Республике Беларусь площади, занятые под посевами зерновых колосовых культур значительны и в последние годы составляли: в 2013 г. – 2205 тыс. га, 2014 г. – 2300, в 2015 г. – 2163 тыс. га. На долю посевов пшеницы, в том числе озимой, в структуре посевных площадей зерновых культур приходилось 697 тыс. га (2013 г.), 745 тыс. га (2014 г.) и 737 тыс. га (2015 г.). Средняя урожайность зерна пшеницы (в том числе озимой) в 2013 г. по республике составляла 30,6 ц/га, в 2014 г. – 39,4 ц/га, в 2015 г. – 39,6 ц/га [3, 4, 5]. При этом потенциал ее урожайности значительно выше, о чем можно судить исходя из урожаев, получаемых в ведущих сельскохозяйственных организациях республики и стран Европы.

Одним из путей увеличения урожайности озимой пшеницы и повышения качества зерна является обеспечение сбалансированного питания растений макро- и микроэлементами, в первую очередь, азотом. Так, согласно отраслевому регламенту возделывания озимой пшеницы в Республике Беларусь, для получения высокой урожайности зерна (свыше 40–50 ц/га) азотные удобрения вносятся дробно в четыре-пять приемов: до посева (20–30 кг/га д.в.), в начале возобновления весенней вегетации (ВВСН 21–24), в стадию выхода в трубку (1–2-го узла – ВВСН 31–32), в стадию появления флагового листа (ВВСН 37–39) и в стадию колошения (ВВСН 51–52). В качестве азотных удобрений при этом используются КАС, карбамид, аммиачная селитра, сульфат аммония [6, 7].

В последние годы на рынок минеральных удобрений Республики Беларусь выходят новые зарубежные компании-производители минеральных удобрений с

предложением своей продукции. Одним из таких производителей является Чешская компания AGRA GROUP a.s., выпускающая азотное удобрение UREA<sup>stabil</sup> с ингибитором уреазы NBPT, который позволяет замедлить разложение карбамида в почве и снизить потери азота в окружающую среду.

Целью исследований было изучение агрохимической эффективности минерального азотного удобрения UREA<sup>stabil</sup> в полевых и производственных посевах при возделывании озимой пшеницы в почвенно-климатических условиях Республики Беларусь.

В полевых опытах уточняли: способ применения удобрения, норму расхода, сроки и кратность его применения. Полевые испытания удобрений проводили в сравнении с выпускаемыми отечественными удобрениями аналогичного действия, разрешенными для применения в сельском хозяйстве Республики Беларусь.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые и производственные испытания агрохимической эффективности удобрения UREA<sup>stabil</sup> в технологии возделывания озимой пшеницы проводили в условиях 2013–2016 гг. в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы (0–25 см) на момент закладки полевых опытов была следующей:

- в 2013–2014 гг. (средние показатели по вариантам):  $pH_{KCl}$  6,00, содержание подвижных форм  $P_2O_5$  – 353 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 305 мг/кг почвы, обменных форм Ca – 2012 мг/кг почвы, Mg – 207 мг/кг почвы, содержание органического вещества – 1,94 %;
- в 2014–2015 гг.:  $pH_{KCl}$  5,72,  $P_2O_5$  – 579 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 392 мг/кг почвы, Ca – 1145 мг/кг почвы, Mg – 151 мг/кг почвы, содержание органического вещества – 2,35 %;
- в 2015–2016 гг.:  $pH_{KCl}$  6,00,  $P_2O_5$  – 353 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 305 мг/кг почвы, Ca – 2012 мг/кг почвы, Mg – 207 мг/кг почвы, содержание органического вещества – 1,94 %.
- в производственных опытах (2013–2014 гг.):  $pH_{KCl}$  5,85–5,98,  $P_2O_5$  – 198–250 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 322–344 мг/кг почвы, Ca – 1390–1513 мг/кг почвы и Mg – 301–345 мг/кг почвы, содержание органического вещества – 2,81 %.

Удобрение UREA<sup>stabil</sup> представляет собой концентрированное твердое гранулированное азотное удобрение (мочевина (46 % N), модифицированное добавлением ингибитора уреазы NBPT (триамид – (N-(н-бутил) тиофосфорной кислоты ELINCS: 435-740-7)) Чешской компании AGRA GROUP a.s., зарегистрированное во всех странах Европейского Союза, а с 2015 г. – и в Республике Беларусь. Добавление ингибитора в азотное удобрение замедляет разложение карбамида в почве и снижает потери азота в окружающую среду.

В 2013–2014 гг. удобрения UREA<sup>stabil</sup> в полевом опыте применялось в основном внесение с осени в дозе  $N_{30}$  на фоне внесения  $P_{70}K_{140}$  и четырех подкормок азотом в течение вегетации  $N_{60+40+40+10}$ . В производственных опытах эффективность удобрения UREA<sup>stabil</sup> изучалась в качестве подкормок:  $N_{70+75+13+7}$  (ВВСН 23, ВВСН 31–32, ВВСН 37–39 и ВВСН 51–55) на фоне внесения с осени  $N_{23}P_{85}K_{120}$  и  $N_{19}P_{70}K_{140}$  (в качестве азотного удобрения применялся стандартный карбамид,

выпускаемый в Республике Беларусь). Медные и марганцевые микроудобрения вносили (в отдельных вариантах): 1-я подкормка – ВВСН 31, 2-я – ВВСН 51. В 2014–2016 гг. изучение агрономической эффективности удобрения UREA<sup>stabil</sup> продолжено в вариантах полевого опыта с внесением его в период вегетации растений озимой пшеницы в две и четыре подкормки в дозах N<sub>70+80</sub> (ВВСН 23 и ВВСН 31-32 соответственно) и N<sub>60+40+40+10</sub> на фоне внесения с осени N<sub>30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>140</sub>, где в качестве базового варианта использовался карбамид стандартный. В 2015–2016 гг. изучение эффективности удобрения UREA<sup>stabil</sup> проводилось также в полевом опыте по схеме 2013–2014 гг. (с применением его в подкормки (две и четыре) в период вегетации), также были варианты с внесением его с осени (основное внесение).

В качестве эталонного азотного удобрения в опытах использовался карбамид стандартный, а в качестве прототипа – карбамид с регулятором роста растений гидрогумат, выпускаемые в Республике Беларусь на ОАО «Гродно Азот».

В полевых и производственных опытах в 2013–2016 гг. возделывалась озимая пшеница мягких сортов (Богатка, Кубус, Финезия, Сукцес), районированных в Республике Беларусь. В опытах проводился учет урожайности основной и побочной продукции, а также определялись показатели качества зерна и его химический состав.

Закладка и проведение полевых и производственных опытов осуществлялись в соответствии с «Методическими указаниями по проведению регистрационных испытаний макро-, микроудобрений и регуляторов роста растений в посевах сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь» [8]. Выбор участков, подбор почвы, закладка полевых опытов, отбор почвенных образцов перед закладкой опытов, способы и сроки внесения испытуемого удобрения и карбамида стандартного осуществлялись в соответствии с известными указаниями. Полевые испытания – путем закладки полевых и производственных опытов, которые проводили по общепринятой методике [9].

Определение стадий развития озимой пшеницы осуществлялось согласно методическому пособию «Диагностика стадий развития озимой пшеницы по шкале ВВСН» [7].

Агротехника возделывания озимой пшеницы на опытных участках осуществлялась в соответствии с технологическим регламентом возделывания озимой пшеницы в Республике Беларусь [6].

Перед закладкой опытов отбирали почвенные образцы с пахотного и подпахотного горизонтов и анализировали по следующим методикам:

- рН в КСІ суспензии – ЦИНАО ГОСТ 26483-85;
- подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову в модификации ЦИНАО ГОСТ 26207-91;
- обменные катионы (Са<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>) – по ЦИНАО ГОСТ 26487-85;
- содержание гумуса – по методу ЦИНАО ГОСТ 26213-91;
- определение подвижных форм микроэлементов в почве – ОСТ 10144-88-ОСТ 10150-88.

В растительных пробах определение азота, фосфора, калия, кальция, магния после мокрого озоления (смесью серной кислоты и перекиси водорода) осуществлялось общепринятыми методами:

- азот – по ГОСТ 13496.4-93 п. 2;
- фосфор – спектрофотометрически;
- калий – на пламенном фотометре;

- кальций – по ГОСТ 26570-95;
- магний – по ГОСТ 30502-97 на атомно-адсорбционном спектрофотометре.

Определение содержания в зерне протеина и клейковины проводилось на приборе INFRANEO.

Статистическая обработка результатов исследований проведена по Б. А. Доспехову [9] с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на персональном компьютере, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы Excel.

Температура воздуха и осадки приведены по данным наблюдений Гидрометцентра Республики Беларусь и лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (г. Минск). Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывался по Г.Т. Селянину.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Важным фактором формирования урожая является тепло, которое определяет процесс питания растений, их рост и продуктивность. Влагообеспеченность почв и растений определяется суммой выпавших атмосферных осадков в течение вегетационного периода возделывания сельскохозяйственных культур. Для оценки условий увлажнения применяется показатель увлажнения – гидротермический коэффициент (ГТК). Если ГТК больше 1,6, то год считается влажным, от 1,6–1,3 – оптимальным, от 1,3 до 1,0 – слабозасушливым, от 1,0 до 0,7 – засушливым, от 0,7 до 0,4 – очень засушливым, от 0,4 до 0,2 – сухим, от 0,2 и меньше – очень сухим.

В 2013 г. в ОАО «Гастелловское» в осенние месяцы (сентябрь и октябрь), когда идет активное нарастание биомассы озимой пшеницы, атмосферных осадков выпало меньше среднемесячной многолетней нормы, в том числе в сентябре – 37,8 мм, или 64,1 % от нормы, в октябре – 21,9 мм, или 43,8 % от нормы. В вегетационный период возделывания озимой пшеницы в условиях 2014 г. (апрель–август, от начала активной вегетации озимой пшеницы до уборки) атмосферные осадки распределялись неравномерно по месяцам. В апреле они составляли 13,7 мм и были ниже среднемноголетних значений на 34,3 мм. Повышенное выпадение осадков наблюдалось в мае (83,4 мм, или 136,7 % от нормы) и июне (113,4 мм, или 140,0 % от нормы), что положительно сказалось на росте и развитии растений, формировании урожая этой культуры. В целом осадки с сентября 2013 по август 2014 гг. составили 708,9 мм, при среднемноголетнем за этот период – 696,0 мм.

В 2015 г. в ОАО «Гастелловское» атмосферные осадки в период вегетации озимой пшеницы (апрель–сентябрь) также распределялись неравномерно по месяцам. Во все месяцы исследований они были ниже среднемноголетних значений, в том числе в апреле – в 1,83 раза, мае – 1,05, июне – 6,64, июле – 1,81 раза. В августе атмосферные осадки вовсе отсутствовали, а уже в сентябре они были в 1,38 раза выше по сравнению со среднемноголетним показателем. В целом за апрель–сентябрь количество атмосферных осадков составило 228,8 мм, при среднемноголетнем – 423,0 мм.

В 2016 г. атмосферные осадки в период вегетации озимых культур также выпадали неравномерно и, за исключением июля, были ниже среднемноголетних значений. Так, в апреле сумма выпавших осадков составила 43,8 мм, в мае – 45,0,

июне – 53,5, а июле – 149,0, августе – 39,0 и сентябре – 21,8 мм. В целом за апрель–сентябрь 2016 г. выпало 352,1 мм осадков.

Распределение атмосферных осадков по годам проведения исследований представлены на рис. 1.

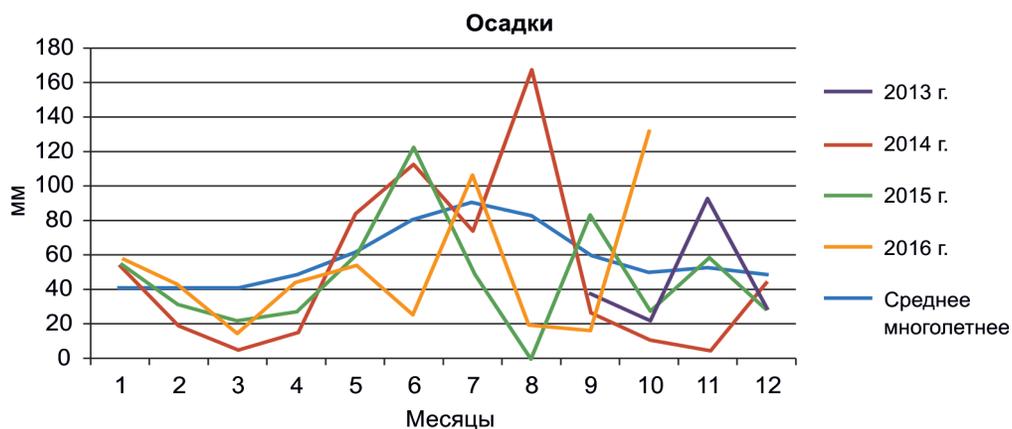


Рис. 1. Выпадение атмосферных осадков в годы исследований (2013–2016 гг.)

Что касается температуры воздуха (рис. 2), то следует отметить что только в сентябре 2013 г. она была на уровне (11,4 °С) среднемноголетнего значения (11,6 °С). В октябре она была выше среднемноголетних показателей. В 2014 г. среднемесячная температура воздуха была ниже нормы только в январе и июне, а в остальные месяцы она была значительно выше (рис. 2). За 4–8 месяцев 2014 г. среднемесячная температура воздуха составила 15,2 °С, сумма температур выше 5–10 °С за этот период – 2330,1 °С, при среднемноголетних значениях – 13,6 °С и 2092,7 °С соответственно. Гидротермический коэффициент (ГТК по месяцам) в 2014 г. изменялся в пределах от 0,55 (апрель) до 2,61 (июнь)–2,91 (август), а в среднем за 4–8 месяцев он составил 1,93.

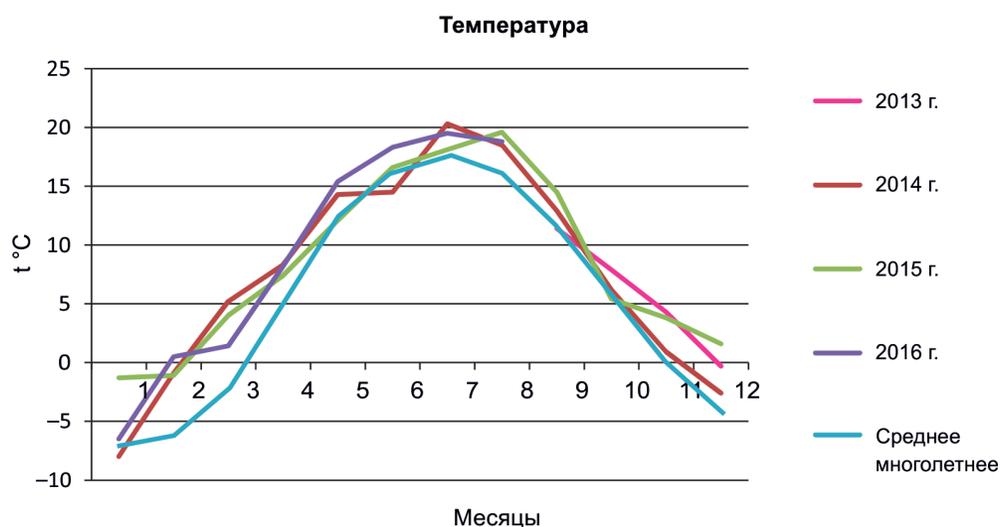


Рис. 2. Температура атмосферного воздуха в годы исследований (2013–2016 гг.)

Среднемесячная температура воздуха за 4–9 месяц 2015 г. составила 15,5 °С, сумма температур выше 5–10 °С за этот период – 2836,5 °С, при среднемноголетних значениях – 13,3 °С и 2440,7 °С. Гидротермический коэффициент (ГТК) изменялся по месяцам, а в среднем за 4–9 месяц составил 0,81, при среднемноголетнем – 1,73. Vegetационный период возделывания озимой пшеницы в 2015 г. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в ОАО «Гастелловское» характеризовался как засушливый.

Средняя температура воздуха за апрель–сентябрь 2016 г. составила 15,5 °С, что на 2,2 °С выше среднемноголетних значений, сумма температур >5–10 °С – 2846,7 °С. Гидротермический коэффициент (ГТК) различался по месяцам и за апрель–сентябрь составил 1,24, при среднемноголетнем – 1,73. Vegetационный период 2016 г. в ОАО «Гастелловское» характеризовался как слабозасушливый.

Установлено, что при применении удобрения UREA<sup>stabil</sup> в технологии возделывания озимой пшеницы Богатка на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на фоне использования других агротехнических приемов (внесение фосфорно-калийных удобрений (вар. 3) с дополнительным применением некорневых подкормок – микроэлементами в форме химических солей (вар. 5) или в форме хелатов (вар. 7)) получена прибавка зерна пшеницы в размере 3,5, 5,7 и 6,9 ц/га по сравнению с аналогичными вариантами, где вносился карбамид стандартный (вар. 2, 4 и 6) (табл. 1). При этом следует отметить, что эффективность карбамида стандартного и карбамида UREA<sup>stabil</sup> была более высокой при применении в технологии возделывания пшеницы дополнительных некорневых подкормок микроэлементами в соответствии с существующими в Республике Беларусь технологическими регламентами возделывания этой культуры. Необходимо также отметить, что эффективность карбамида UREA<sup>stabil</sup> (вар. 7) находилась на одном уровне с карбамидом с регулятором роста растений гидрогумат (вар. 8), который выпускался в Республике Беларусь и в наших опытах использовался в качестве прототипа (табл.1).

Таблица 1

**Урожайность основной и побочной продукции озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, 2013–2014 г.**

Вариант	Урожайность, ц/га			
	зерно	прибавка к вар. 1	прибавка от UREA <sup>stabil</sup>	солома (сухое вещество)
1. Контроль без удобрений	39,1	–	–	42,4
2. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид)	84,9	45,8	–	57,2
3. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом UREA <sup>stabil</sup> ) + N <sub>60+40+40+10</sub> (UREA <sup>stabil</sup> )	88,4	49,3	3,5	56,5
4. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид) + 2 некорневые подкормки Cu(50) и Mn(50) (в форме химических солей)	87,6	48,5	–	53,2
5. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом UREA <sup>stabil</sup> ) + N <sub>60+40+40+10</sub> (UREA <sup>stabil</sup> ) + 2 некорневые подкормки Cu(50) и Mn(50) (в форме химических солей)	93,3	54,2	5,7	56,2

Окончание табл. 1

Вариант	Урожайность, ц/га			
	зерно	прибавка к вар. 1	прибавка от UREA <sup>stabil</sup>	солома (сухое вещество)
6. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид) + 2 некорневые подкормки Cu(50) и Mn(50) (в форме хелатов)	88,1	49,0	–	61,2
7. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом UREA <sup>stabil</sup> ) + N <sub>60+40+40+10</sub> (UREA <sup>stabil</sup> ) + 2 некорневые подкормки Cu(50) и Mn(50) (в форме хелатов)	95,0	55,9	6,9	59,4
8. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом с регулятором роста растений гидрогумат) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид с гидрогуматом) + 2 некорневые подкормки Cu(50) и Mn(50) (в форме хелатов)	94,6	55,5	–	60,2
НСР <sub>05</sub>	4,9	–	–	3,9

Высокая эффективность применения удобрения UREA<sup>stabil</sup> при возделывании озимой пшеницы подтверждена в производственных опытах на почвах различного уровня плодородия. Так, при его внесении в качестве подкормок в период вегетации растений в условиях 2014 г. была получена высокая урожайность зерна пшеницы – 69,9 ц/га (сорт Финезия) и 99,2 ц/га (сорт Кубус), при урожайности в базовых вариантах (карбамид стандартный) – 63,1 и 92,6 ц/га соответственно. Прибавка зерна от применения удобрения UREA<sup>stabil</sup> составила 6,8 и 6,6 ц/га, или 10,8 и 7,1 %, по сравнению с базовым вариантом. Урожайность побочной продукции (солома) в пересчете на сухое вещество увеличивалась на 3,9 и 5,2 ц/га соответственно (табл. 2).

Таблица 2

**Урожайность основной и побочной продукции озимой пшеницы в производственных опытах на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, 2014 г.**

Вариант	Урожайность, ц/га		
	зерно	прибавка к вар. 1, ц/га	солома (сухое вещество)
<i>Производственный опыт № 1 (сорт Кубус)</i>			
1. N <sub>23</sub> P <sub>85</sub> K <sub>120</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>70+75+13+7</sub> (карбамид)	92,6	–	49,2
2. N <sub>23</sub> P <sub>85</sub> K <sub>120</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>70+75+13+7</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )	99,2	6,6	54,4
НСР <sub>05</sub>	6,2		3,9
<i>Производственный опыт № 2 (сорт Финезия)</i>			
1. N <sub>23</sub> P <sub>85</sub> K <sub>120</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>70+75+13+7</sub> (карбамид)	63,1	–	34,1
2. N <sub>23</sub> P <sub>85</sub> K <sub>120</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>70+75+13+7</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )	69,9	6,8	38,0
НСР <sub>05</sub>	5,1		2,8

При применении азотного удобрения  $\text{UREA}^{\text{stabil}}$  в качестве подкормок в технологии возделывания озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на фоне использования других агротехнических приемов, в условиях 2014–2015 гг. получена высокая урожайность зерна – 115,7–118,4 ц/га. В зависимости от кратности внесения исследуемого удобрения (две или четыре подкормки) прибавка по отношению к аналогичным вариантам с карбамидом стандартным составила от 7,5 ц/га ( $\text{N}_{70+80}$  – две подкормки  $\text{UREA}^{\text{stabil}}$ ) до 10,5 ц/га ( $\text{N}_{60+40+40+10}$  – четыре подкормки  $\text{UREA}^{\text{stabil}}$ ) (табл. 3).

В условиях 2015–2016 гг. урожайность зерна озимой пшеницы была несколько ниже, чем в предыдущем сезоне, по вариантам опыта изменялась от 43,1 ц/га (контроль без удобрений) до 51,8–101,8 ц/га (варианты с применением удобрений). Однократное применение в качестве подкормки удобрения  $\text{UREA}^{\text{stabil}}$  в фазу первого узла в дозе  $\text{N}_{40}$  повышало урожайность до 51,8 ц/га (на 8,7 ц/га) по сравнению с контрольным вариантом. Изучаемое удобрение, внесенное в подкормки, в соответствии с технологическими регламентами возделывания озимой пшеницы в Республике Беларусь и Чехии, обеспечивало прибавку урожайности к аналогичным вариантам с применением стандартного карбамида, в зависимости от кратности внесения, на уровне 9,0–9,1 ц/га. Внесение удобрения  $\text{UREA}^{\text{stabil}}$  в почву с осени с последующими подкормками в период вегетации способствовало дальнейшему увеличению урожайности зерна озимой пшеницы по сравнению с вариантами, где использовался карбамид стандартный (с осени и в подкормки), на 10,0–11,1 ц/га. Вместе с тем, применение азотного удобрения  $\text{UREA}^{\text{stabil}}$  в основное внесение с осени и в подкормки не оказывало существенного влияния на повышение урожайности зерна по сравнению с вариантами, где удобрение  $\text{UREA}^{\text{stabil}}$  вносилось лишь в подкормки на фоне внесения с осени в качестве азотного удобрения карбамида стандартного.

В среднем за 2014–2016 гг. урожайность зерна озимой пшеницы составляла: в контрольном варианте без удобрений – 48,0 ц/га, в вариантах с использованием карбамида стандартного (в зависимости от кратности внесения в подкормки) – 98,0–100,0 ц/га, с изучаемым удобрением  $\text{UREA}^{\text{stabil}}$  – 107,8–108,3 ц/га (табл. 3).

Внесение изучаемого удобрения обеспечило достоверную прибавку урожайности зерна озимой пшеницы на 8,3–9,8 ц/га по отношению к аналогичным вариантам с применением в качестве азотного удобрения карбамида стандартного. Следовательно, применение азотного удобрения  $\text{UREA}^{\text{stabil}}$  в технологии возделывания озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве являлось высокоэффективным агротехническим приемом.

Урожайность побочной продукции (солома) в пересчете на сухое вещество в вариантах опыта составила: в 2014–2015 гг. – 34,4–62,7 ц/га с увеличением от применения изучаемого удобрения на 5,5–7,1 ц/га; в 2015–2016 гг. – 43,5–56,7 ц/га (табл. 4).

Качество зерна озимой пшеницы оценивалось по содержанию протеина, клейковины, массе 1000 семян и содержанию азота, фосфора, калия, кальция и магния (табл. 5).

Таблица 3

Урожайность зерна озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, 2015–2016 гг.

Вариант	Урожайность, ц/га											
	2015 г.				2016 г.				среднее за 2015–2016 гг.			
	зерно	прибавка к вар. 1, ц/га	прибавка от UREA <sup>stabil</sup>	зерно	прибавка к вар. 1, ц/га	прибавка от UREA <sup>stabil</sup>	зерно	прибавка к вар. 1, ц/га	прибавка от UREA <sup>stabil</sup>	зерно	прибавка к вар. 1, ц/га	прибавка от UREA <sup>stabil</sup>
1. Контроль без удобрений	52,8	–	–	43,1	–	–	48,0	–	–	–	–	–
1а. Контроль без удобрений + N <sub>40</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )*	–	–	–	51,8	8,7	8,7	–	–	–	–	–	–
2. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид)	107,9	55,1	–	88,1	45,0	–	98,0	50,0	–	–	–	–
3. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )	118,4	65,6	10,5	97,2	54,1	9,1	107,8	59,8	9,8	–	–	–
4. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>70+80</sub> (карбамид)**	108,2	55,4	–	91,8	48,7	–	100,0	52,0	–	–	–	–
5. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>70+80</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )**	115,7	62,9	7,5	100,8	57,7	9,0	108,3	60,3	8,3	–	–	–
6. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом UREA <sup>stabil</sup> ) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )	–	–	–	99,2	56,1	11,1	–	–	–	–	–	–
7. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом UREA <sup>stabil</sup> ) + N <sub>70+80</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )**	–	–	–	101,8	58,7	10,0	–	–	–	–	–	–
НСР <sub>05</sub>	6,2				6,3				6,3			

\* – ВВСН 31–32; \*\* – ВВСН 23 и ВВСН 31–32.

Таблица 4  
Урожайность побочной продукции (солома) озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, 2015–2016 гг.

Вариант	Урожайность соломы (сухое вещество), ц/га			
	2015 г.	прибавка от UREA <sup>stabil</sup>	2016 г.	прибавка от UREA <sup>stabil</sup>
1. Контроль без удобрений	34,4	–	43,5	–
1а. Контроль без удобрений + N <sub>40</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )*	–	–	45,9	2,4
2. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид)	51,4	–	54,9	–
3. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )	58,5	7,1	56,7	1,8
4. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>70+80</sub> (карбамид)**	57,2	–	52,6	–
5. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>70+80</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )**	62,7	5,5	54,8	2,2
6. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом UREA <sup>stabil</sup> ) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )	–	–	54,5	-0,4
7. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом UREA <sup>stabil</sup> ) + N <sub>70+80</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )**	–	–	54,7	2,1
НСР <sub>05</sub>		3,5		3,4

\* – ВВСН 31–32; \*\* – ВВСН 23 и ВВСН 31–32.

Таблица 5  
 Качественные показатели зерна озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, 2013–2014 гг.

Варианты	Содержание, %			Масса 1000 семян	Содержание, %				
	протеин	клейковина			N общ.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
1. Контроль без удобрений	11,1	24,0		52,2	1,82	0,55	0,31	0,31	0,75
2. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид)	11,8	27,2		53,5	2,08	0,49	0,27	0,47	0,70
3. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом UREA <sup>stabil</sup> ) + N <sub>60+40+40+10</sub> (UREA <sup>stabil</sup> )	12,1	28,6		56,1	2,02	0,50	0,27	0,47	0,73
4. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид) + 2 некорневые подкормки Cu(50) и Mn(50) (в форме химических солей)	11,4	25,9		53,3	1,91	0,49	0,26	0,39	0,67
5. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом UREA <sup>stabil</sup> ) + N <sub>60+40+40+10</sub> (UREA <sup>stabil</sup> ) + 2 некорневые подкормки Cu(50) и Mn(50) (в форме химических солей)	11,9	29,0		54,4	2,15	0,54	0,30	0,45	0,76
6. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид) + 2 некорневые подкормки Cu(50) и Mn(50) (в форме хелатов)	11,5	25,9		55,1	1,93	0,48	0,26	0,39	0,69
7. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом UREA <sup>stabil</sup> ) + N <sub>60+40+40+10</sub> (UREA <sup>stabil</sup> ) + 2 некорневые подкормки Cu(50) и Mn(50) (в форме хелатов)	12,9	30,4		56,5	2,08	0,47	0,24	0,46	0,70
8. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом с регулятором роста растений гидрогумат) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид с гидрогуматом) + 2 некорневые подкормки Cu(50) и Mn(50) (в форме хелатов)	13,3	30,4		54,8	2,08	0,52	0,29	0,50	0,75
HCP <sub>05</sub>	0,7	2,1		2,8	0,12	0,04	0,02	0,03	0,05

Применение удобрений в полевом опыте оказало положительное действие на увеличение содержания протеина в зерне озимой пшеницы (2013–2014 гг.). Так, по сравнению с контрольным вариантом (11,1 %) его содержание увеличивалось до 11,4–13,3 %. Использование в технологии возделывания озимой пшеницы удобрения UREA<sup>stabil</sup> на фоне фосфорно-калийных удобрений, а также на фоне дополнительных некорневых подкормок микроэлементами в форме химических солей или хелатов обеспечило тенденцию, или достоверное повышение содержания протеина (на 0,3–1,4 %).

Применение азотного удобрения UREA<sup>stabil</sup> на фоне фосфорных и калийных удобрений способствовало также увеличению содержания клейковины как по отношению к контрольному варианту (на 1,9–6,4 %), так и к вариантам с использованием карбамида стандартного (на 1,4–4,5 %).

Масса 1000 зерен в условиях 2013–2014 гг. изменялась (в зависимости от варианта опыта) от 52,2 до 56,5 г. При этом отмечалось положительное влияние изучаемого удобрения UREA<sup>stabil</sup> на данный показатель (тенденция увеличения на 1,1–2,6 г) по отношению к аналогичным вариантам с использованием карбамида стандартного отечественного производства.

Содержание общего азота в зерне озимой пшеницы в варианте без удобрений составляло 1,82 %, в удобренных вариантах – 1,91–2,15 %. При использовании азотного удобрения UREA<sup>stabil</sup>, а также в вариантах с использованием минеральных удобрений и некорневых подкормок микроэлементами его содержание было выше. Содержание фосфора по вариантам опыта изменялось в пределах от 0,47 до 0,55 %, калия – 0,24–0,31 %, кальция – 0,31–0,50 % и магния – 0,67–0,76 %.

Качество зерна озимой пшеницы в варианте с использованием карбамида с регулятором роста растений гидрогумат (прототип) было высоким и близким к показателям качества зерна с использованием карбамида UREA<sup>stabil</sup> (при использовании тех же агротехнических приемов в технологии возделывания пшеницы) (табл. 5).

В производственном опыте в варианте с использованием азотных удобрений на фоне РК качественные показатели зерна пшеницы Кубус были следующие: в варианте с карбамидом содержание протеина составило 13,2 %, клейковины – 29,4 %, общего азота – 2,09 %, фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – 0,45 и калия (K<sub>2</sub>O) – 0,23 %; с удобрением UREA<sup>stabil</sup> содержание протеина – 13,0 %, клейковины – 30,1 %, общего азота – 2,03 %, фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – 0,39 и калия (K<sub>2</sub>O) – 0,20 %. Качественные показатели зерна озимой пшеницы Финезия при внесении вышеуказанных удобрений были близкими и существенных различий между ними не наблюдалось. Можно только отметить более высокие значения содержания клейковины в зерне озимой пшеницы сорта Финезия по сравнению с зерном пшеницы Кубус (табл. 6).

Таблица 6

**Качественные показатели зерна озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, 2014 г.**

Вариант	Содержание, %		Масса 1000 семян	Содержание, %		
	протеин	клейковина		N общ.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<i>Производственный опыт № 1 (сорт Кубус)</i>						
1. N <sub>23</sub> P <sub>85</sub> K <sub>120</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>70+75+13+7</sub> (карбамид)	13,2	29,4	42,72	2,09	0,41	0,23

Вариант	Содержание, %		Масса 1000 семян	Содержание, %		
	протеин	клейко- вина		N общ.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
2. N <sub>23</sub> P <sub>85</sub> K <sub>120</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>70+75+13+7</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )	13,0	30,1	42,85	2,03	0,39	0,20
НСП <sub>05</sub>	0,75	2,29	2,18	0,13	0,02	0,01
<i>Производственный опыт № 2 (сорт Финезия)</i>						
1. N <sub>23</sub> P <sub>85</sub> K <sub>120</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>70+75+13+7</sub> (карбамид)	13,1	32,4	43,97	2,02	0,42	0,20
2. N <sub>23</sub> P <sub>85</sub> K <sub>120</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>70+75+13+7</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )	13,0	32,1	46,96	1,99	0,40	0,21
НСП <sub>05</sub>	0,77	2,60	2,63	0,12	0,02	0,01

Масса 1000 зерен пшеницы Кубус была близкой по вариантам опыта (42,72 и 42,85 г), а незначительное (на 0,13 г) увеличение этого показателя в варианте с применением удобрения UREA<sup>stabil</sup> было в пределах наименьшей существенной разности. Масса 1000 зерен пшеницы Финезия в варианте с применением удобрения UREA<sup>stabil</sup> увеличивалась достоверно (на 2,99 г) по сравнению с применением карбамида стандартного (43,97 г) (табл. 6).

Применение удобрений оказало положительное действие на увеличение содержания протеина в зерне озимой пшеницы урожая 2015 и 2016 гг. В зависимости от кратности внесения и применяемых удобрений оно составляло – 11,8–13,1 % (2015 г.) и 12,4–14,1 % (2016 г.). Следует отметить, что в условиях 2014–2015 гг. в вариантах с четырехкратной подкормкой азотными удобрениями в период вегетации наблюдалось достоверное увеличение содержания протеина по сравнению с вариантами, где азотные удобрения в качестве подкормок вносились дважды, в условиях 2015–2016 гг. наблюдалось достоверное увеличение, или тенденция увеличения этого показателя. Вместе с тем, не выявлено достоверного влияния исследуемого удобрения UREA<sup>stabil</sup> на содержание протеина в зерне озимой пшеницы относительно карбамида стандартного. Исключение составлял вариант, в котором на фоне внесения с осени в качестве азотного удобрения UREA<sup>stabil</sup> применялись две подкормки этим же удобрением (N<sub>70+80</sub>), при этом содержание протеина в зерне увеличивалось на 1,6 % (табл. 7).

Аналогичные закономерности (как и по протеину) наблюдались по содержанию клейковины в зерне озимой пшеницы. Так, в вариантах с удобрениями ее содержание в условиях 2014–2015 гг. составляло 26,3–29,9 %, причем четырехкратное применение азотных удобрений в качестве подкормок достоверно увеличивало содержание клейковины по сравнению с двукратным внесением на 2,1–2,3 %. В климатических условиях 2015–2016 гг. содержание клейковины в зерне в удобренных вариантах составляло 26,1–31,3 %. Четырехкратное применение азотных удобрений в качестве подкормок способствовало увеличению содержания клейковины по сравнению с двумя подкормками на 2,3–4,6 %. Между азотным удобрением UREA<sup>stabil</sup> и карбамидом стандартным наблюдалась (2014–2016 гг.) лишь некоторая тенденция увеличения содержания клейковины в пользу удоб-

рения UREA<sup>stabil</sup>. Исключение составлял вариант, где на фоне внесения (2015–2016 гг.) с осени в качестве азотного удобрения UREA<sup>stabil</sup> применялись две подкормки этим же удобрением в дозах N<sub>70</sub>+N<sub>80</sub>. Содержание клетчатки в зерне при этом увеличивалось на 4,9 % по отношению к варианту с использованием карбамида стандартного и было примерно равным вариантам с применением четырех подкормок азотом.

Масса 1000 зерен в вариантах с удобрениями урожая 2015 г. составляла 45,4–46,9 г. В зерне озимой пшеницы урожая 2016 г. наблюдалось в целом увеличение массы 1000 зерен до 49,6–52,8 г. При этом существенных различий между формами азотных удобрений не выявлено (отмечалась лишь некоторая тенденция увеличения от применения в качестве азотных удобрений UREA<sup>stabil</sup>). Исключение составлял вариант, где с осени в качестве азотного удобрения использовался карбамид UREA<sup>stabil</sup>, а в течение вегетационного периода 2016 г. проводились две подкормки этим же удобрением в дозах N<sub>70+80</sub>. Увеличение массы 1000 семян к аналогичному варианту с применением карбамида стандартного составило 3,2 г (табл. 7).

Таблица 7

**Качественные показатели зерна озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в полевом опыте, 2015–2016 гг.**

Вариант	Содержание, %				Вес 1000 зерен	
	протеин		клейковина		2015 г.	2016 г.
	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.		
1. Контроль без удобрений	8,4	10,6	23,3	19,0	38,4	45,6
1а. Контроль без удобрений + N <sub>40</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )*	–	10,5	–	20,0	–	47,8
2. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид)	12,7	14,1	28,6	30,7	46,2	51,6
3. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )	13,1	13,6	29,9	29,6	46,9	51,2
4. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>70+80</sub> (карбамид)**	11,8	12,4	26,3	26,1	45,4	49,6
5. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>70+80</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )**	11,9	13,0	27,8	27,3	45,5	50,9
6. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом UREA <sup>stabil</sup> ) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )	–	14,1	–	31,3	–	52,5
7. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом UREA <sup>stabil</sup> ) + N <sub>70+80</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )**	–	14,0	–	31,0	–	52,8
НСП <sub>05</sub>	0,6	0,9	1,9	2,0	2,8	2,6

\* – ВВСН 31–32; \*\* – ВВСН 23 и ВВСН 31–32.

Содержание общего азота в зерне озимой пшеницы урожая 2015 г. в контрольном варианте без удобрений составляло 1,42 %, в удобренных вариантах – 1,97–2,18 %, при этом наблюдались те же закономерности в содержании протеина и клейковины. Содержание фосфора по вариантам опыта изменялось в

пределах от 0,42 до 0,47 %, калия – 0,36–0,39 %, кальция – 0,35–0,42 % и магния – 0,68–0,71 %. Содержание общего азота в зерне озимой пшеницы урожая 2016 г. в контрольном варианте составляло 1,74 %. Внесение удобрений увеличивало его содержание до 2,10–2,38 %, отмечены схожие закономерности в содержании протеина и клейковины. Содержание фосфора по вариантам опыта изменялось в пределах от 0,40 до 0,46 %, калия – 0,21–0,27 %, кальция – 0,46–0,54 % и магния – 0,81–0,84 % (табл. 8).

Таблица 8

**Содержание элементов питания в зерне озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в полевом опыте, 2015–2016 гг.**

Варианты	Содержание, %									
	N общ.		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		CaO		MgO	
	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.
1. Контроль без удобрений	1,42	1,74	0,42	0,41	0,36	0,23	0,35	0,46	0,68	0,82
1а. Контроль без удобрений + N <sub>40</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )*	–	1,83	–	0,44	–	0,21	–	0,49	–	0,82
2. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид)	2,12	2,38	0,45	0,40	0,38	0,24	0,39	0,53	0,71	0,83
3. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )	2,18	2,26	0,44	0,44	0,37	0,26	0,40	0,52	0,70	0,83
4. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>70+80</sub> (карбамид)**	1,97	2,10	0,43	0,43	0,39	0,27	0,42	0,48	0,70	0,84
5. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом) + N <sub>70+80</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )**	1,98	2,16	0,47	0,42	0,39	0,25	0,41	0,52	0,71	0,82
6. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом UREA <sup>stabil</sup> ) + N <sub>60+40+40+10</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )	–	2,35	–	0,44	–	0,27	–	0,50	–	0,81
7. N <sub>30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> (смесь стандартных удобрений с карбамидом UREA <sup>stabil</sup> ) + N <sub>70+80</sub> (карбамид UREA <sup>stabil</sup> )**	–	2,28	–	0,46	–	0,25	–	0,54	–	0,80
НСР <sub>05</sub>	0,13	0,16	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,07

\* – ВВСН 31–32; \*\* – ВВСН 23 и ВВСН 31–32.

## ВЫВОДЫ

Проведенные в Республике Беларусь полевые и производственные испытания агрохимической эффективности азотного удобрения UREA<sup>stabil</sup> в технологии возделывания озимой пшеницы в Центральной части Республики Беларусь (ОАО

«Гастелловское» Минского района Минской области) позволяют сделать следующие выводы:

1. Применение карбамида UREA<sup>stabil</sup> на фоне фосфорно-калийных удобрений с дополнительными некорневыми подкормками посевов микроэлементами в форме химических солей или хелатов на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при возделывании озимой пшеницы позволило достоверно увеличить урожайность зерна на 5,7–6,9 ц/га, при тенденции, или достоверном увеличении массы 1000 зерен, содержания протеина – на 0,3–1,4 %, клейковины – на 1,4–4,5 % по сравнению с карбамидом стандартным, используемым в технологии возделывания озимой пшеницы.

2. Эффективность (влияние на урожайность и качество продукции) карбамида UREA<sup>stabil</sup> при возделывании озимой пшеницы была на уровне карбамида с регулятором роста растений гидрогумат.

3. Использование карбамида UREA<sup>stabil</sup> при возделывании озимой пшеницы в производственных опытах позволило увеличить урожайность зерна на 6,6–6,8 ц/га, соломы – на 3,9–5,2 ц/га, при тенденции, или достоверном увеличении массы 1000 зерен по сравнению с карбамидом стандартным. При этом существенного влияния удобрения UREA<sup>stabil</sup> на такие показатели качества зерна озимой пшеницы, как содержание протеина, клейковины и элементов питания (азот, фосфор, калий) не отмечено.

4. Применение удобрения UREA<sup>stabil</sup> в 2–4 подкормки на озимой пшенице на фоне использования других агротехнических приемов позволило обеспечить урожайность зерна – 107,8–108,3 ц/га, с прибавкой 8,3–9,8 ц/га относительно стандартного карбамида. При этом по эффективности четырехкратное внесение удобрения UREA<sup>stabil</sup> в дозе N<sub>60+40+40+10</sub> и двукратное в дозе N<sub>70+80</sub> были приблизительно на одном уровне.

5. Азотное удобрение UREA<sup>stabil</sup>, применяемое в основное внесение с осени и в подкормки, не оказывало существенного влияния на повышение урожайности зерна озимой пшеницы по сравнению с вариантами, где удобрение UREA<sup>stabil</sup> вносилось лишь в подкормки на фоне внесения с осени карбамида стандартного.

6. При четырехкратной подкормке азотными удобрениями в период вегетации наблюдалась тенденция, или достоверное увеличение содержания протеина, клетчатки и общего азота в зерне по сравнению с вариантами, где азотные удобрения в качестве подкормок вносились дважды. Внесение удобрения UREA<sup>stabil</sup> не оказывало существенного влияния на содержание протеина в зерне озимой пшеницы по сравнению с карбамидом стандартным. Исключение составлял вариант, в котором на фоне внесения с осени азотного удобрения UREA<sup>stabil</sup> применялись две подкормки этим же удобрением (N<sub>70+80</sub>), обеспечившим увеличение в зерне содержания протеина на 1,6 %, клетчатки на 4,9 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Возделывание зерновых / Д. Шпаар [и др.]; под общей ред. А.Н. Постникова. – М.: Аграрная наука, 1998. – 336 с.

3. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сборник / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2016. – 299 с.
4. Урожайность основных сельскохозяйственных культур // Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: [http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaistvo/osnovnye-pokazateli-za-period-s-\\_\\_-po-\\_\\_\\_gody\\_6/urozhainost-osnovnyh-selskohozyaistvennyh-kultur](http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaistvo/osnovnye-pokazateli-za-period-s-__-po-___gody_6/urozhainost-osnovnyh-selskohozyaistvennyh-kultur). – Дата доступа: 09.02.2017.
5. Посевные площади основных сельскохозяйственных культур // Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: [http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaistvo/osnovnye-pokazateli-za-period-s-\\_\\_-pogody\\_6/posevnyye-ploschadi-osnovnyh-selskohozyaistvenny\\_2/](http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaistvo/osnovnye-pokazateli-za-period-s-__-pogody_6/posevnyye-ploschadi-osnovnyh-selskohozyaistvenny_2/). – Дата доступа: 09.02.2017.
6. 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.
7. Кулинкович, С. Н. Диагностика стадий развития озимой пшеницы по шкале ВВСН: метод. пособие / С. Н. Кулинкович, Е. Н. Кулинкович. – Минск: Наша Идея, 2014. – 36 с.
8. Методические указания по проведению регистрационных испытаний макро-, микроудобрений и регуляторов роста растений в посевах сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2008. – 35 с.
9. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

## EFFICIENCY OF APPLICATION FERTILIZER UREA<sup>STABIL</sup> (IN CULTIVATION TECHNOLOGY OF WINTER WHEAT) ON SOD-PODZOLIC LIGHT-LOAMY SOILS IN BELARUS

H. V. Pirahouskaya, S. S. Khmialeuski, V. I. Saroka, A. I. Isaeva,  
P. Martin, P. Balek

### Summary

The article presents experimental data on the agrochemical efficiency of nitrogen fertilizer UREA<sup>stabil</sup> (Czech company AGRA GROUP a.s.) for the cultivation of winter wheat on luvisol sandy loam soils in the central part of the Republic of Belarus for the period of 2013–2016. The effect of this fertilizer on the yield of the main and by-products, the protein content, gluten and the main nutrients in the wheat grain was presented as compared to carbamide standard.

*Поступила 04.12.18*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОГО ТРИТИКАЛЕ НА РАЗНЫХ УРОВНЯХ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ОБМЕННЫМ МАГНИЕМ**

**И. С. Станилевич, И. М. Богдевич, Ю. В. Путятин**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Применение минеральных удобрений в сельскохозяйственном производстве должно не только обеспечивать высокую урожайность сельскохозяйственных культур с хорошим качеством продукции, но и быть экономически эффективным.

Роль магния для растений зачастую недооценивают, но в их минеральном питании он занимает важное место, поскольку оказывает влияние на эффективность использования азотных, фосфорных и калийных удобрений [1, 2, 3, 4].

О положительном влиянии магния опубликовано много работ, относящихся к семидесятым годам прошлого столетия. Исследования тех лет проводились на легких почвах с низким содержанием магния. Наиболее отзывчивыми на применение магниевых удобрений оказались культуры с сильно развитым листовым аппаратом: картофель, сахарная свекла [5, 6, 7, 8, 9, 10]. В связи с системным известкованием кислых почв доломитовой мукой ( $MgO \sim 20\%$ ), содержание обменного магния (Mg) в почве многократно увеличилось и на данный момент составляет в пахотных почвах 147 мг/кг, в луговых – 163 мг/кг. На долю почв с повышенным и высоким содержанием магния приходится  $\sim 76\%$  площади пашни Беларуси, и всего 4,8 % площади характеризуется низким содержанием элемента. На 90 % площади луговых земель наблюдается повышенная и высокая обеспеченность почв магнием [11]. В настоящее время, с введением в культуру сортов и гибридов интенсивного типа, повышается потребность сельскохозяйственных культур в магнии. Положительное влияние магниевых удобрений может проявиться не только на слабообеспеченных почвах, но и на полях со средним содержанием обменного магния. Исследования, проведенные на суглинистых почвах с разным содержанием магния, показали эффективность некорневых подкормок растворами сульфата магния на яровом рапсе, кукурузе, яровой пшенице, ячмене [12, 13, 14, 15, 16].

Яровое тритикале – зернофуражная и продовольственная культура с высокой урожайностью и кормовой ценностью [17, 18]. Посевные площади, отведенные под посевы ярового тритикале в Беларуси, увеличиваются с каждым годом. В целом озимые и яровые формы тритикале возделываются в республике на площади более 500 тыс. га, с валовым сбором около 2 млн т зерна [19].

Цель настоящего исследования – определить эффективность использования минеральных удобрений и магниевых подкормок растений ярового тритикале на разных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой суглинистой почвы обменным магнием.

**ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

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

Почва пахотного горизонта перед закладкой опыта характеризовалась следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,8–2,1 %,  $pH_{KCl}$  5,8–6,0,  $P_2O_5$  (0,2 М HCl) – 350–450 мг/кг почвы,  $K_2O$  (0,2 М HCl) – 264–300 мг/кг, Ca (1 М KCl) – 750–900 мг/кг, Mg (1М KCl) 47–145 мг/кг почвы. Характеристика почвы по содержанию микроэлементов: среднее содержание бора – 0,33–0,65 мг/кг, меди – 2,08–2,84 мг/кг, обменного марганца – 2,02–5,92 мг/кг, подвижных форм серы – 6,1–8,8 мг/кг, низкое содержание цинка – 1,84–2,60 мг/кг. Гидролитическая кислотность была в пределах 1,23–3,33 мг-экв/100 г почвы.

Предварительно на опытном участке было создано четыре уровня содержания в почве обменного Mg, которые отражают диапазон различий по содержанию магния в дерново-подзолистых суглинистых почвах Беларуси, от низкого до высокого:

- I уровень – 46–50 мг/кг;
- II уровень – 90–92 мг/кг;
- III уровень – 138–147 мг/кг;
- IV уровень – 183–198 мг/кг.

Высокие уровни содержания обменного магния на блоках делянок созданы путем внесения сульфата магния ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) с учетом исходного содержания магния в почве по деляночно.

Содержание обменного кальция выравнивалось на каждой делянке за счет внесения мела. Эквивалентное соотношение катионов на уровнях:

- Ca: Mg: 20,7 – 9,2 – 5,0 – 3,5;
- K: Mg 1,9 – 0,95 – 0,6 – 0,4.

Схема опытов включала 9 вариантов удобрений на каждом из четырех уровней содержания обменного магния в почве, исследовалось действие полной дозы удобрений, варианта с повышенной дозой калия, серы, в форме сульфата аммония, в дозе 60 кг/га и некорневых подкормок раствором сульфата магния в дозах Mg 1 и 1,5 кг/га. Минеральные удобрения: карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий, сульфат аммония вносили весной под культивацию. Некорневые подкормки сульфатом магния проводили в фазу кущение–начало выхода в трубку. Агротехника возделывания культур – общепринятая для республики [20].

Повторность опыта 4-кратная, размещение делянок рендомизированное. Общая площадь делянки – 15 м<sup>2</sup>, учетная площадь – 8 м<sup>2</sup>.

Закладку опыта, наблюдения, учет урожайности, анализы почвы и растений проводили по соответствующим методическим указаниям. Статистическая обработка результатов исследований выполнена по Б.А. Доспехову (1985) с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа. Расчет показателей агрономической и экономической эффективности проводили по соответствующим методикам Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси [21]. При

расчете экономической эффективности использованы цены на удобрения, сельскохозяйственную продукцию и нормативы затрат на технологические процессы (01.05.2016).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Агрономическая эффективность удобрений характеризуется относительной прибавкой урожайности на единицу внесенных удобрений. В результате проведенных исследований в среднем за 2015–2016 гг. на контрольных вариантах без удобрений за счет плодородия почвы получена урожайность ярового тритикале 32,8–44,4 ц/га в зависимости от уровня содержания в почве обменного магния (табл. 1). Внесение фоновой полной дозы удобрений обеспечило прибавку урожайности зерна ярового тритикале на I уровне 19,6 ц/га, на II уровне – 22,3 ц/га, на III уровне – 18,7 ц/га, на IV уровне – 20,2 ц/га. При внесении  $N_{60+30}P_{60}K_{120}$  1 кг NPK окупался прибавкой 7,3 кг зерна на I уровне, 8,3 кг – на II уровне, 6,9 кг – на III уровне и 7,5 кг зерна – на IV уровне. Повышенная доза калия 180 кг/га оказалась эффективнее, чем 120 кг/га калия на первых двух уровнях обеспеченности почвы магнием. Окупаемость 1 кг NPK и 1 кг  $K_2O$  зерном при внесении 180 кг/га калия снижалась по мере повышения содержания обменного магния в почве. На I и II уровне обеспеченности почвы магнием окупаемость 1 кг  $K_2O$  зерном тритикале была выше при дозе калия 180 кг/га, на III и IV уровне окупаемость калия выравнивалась.

Таблица 1

### Агрономическая эффективность минеральных удобрений при возделывании ярового тритикале (среднее 2015–2016 гг.)

Вариант	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка зерна, ц/га от			Окупаемость зерна, кг	
		минеральных удобрений	K удобрений	Mg подкор-мок	1 кг NPK	1 кг $K_2O$
<i>I уровень 46–50 мг/кг</i>						
Контроль	32,8	–	–	–	–	–
$N_{60+30}P_{60}$	49,6	16,8	–	–	11,2	–
$N_{60+30}P_{60}K_{120}$ – фон	52,4	19,6	2,8	–	7,3	2,3
$N_{60+30}P_{60}K_{180}$	59,2	26,4	9,6	–	8,0	5,3
Фон + $Mg_1$	60,3	27,5	–	7,9	10,2	–
Фон + $Mg_{1,5}$	60,0	27,2	–	7,6	10,1	–
Фон + $S_{60}$	57,7	24,9	–	–	9,2	–
Фон+ $S_{60}$ + $Mg_1$	60,3	27,5	–	2,6	10,2	–
Фон+ $S_{60}$ + $Mg_{1,5}$	61,0	28,2	–	3,3	10,4	–
<i>II уровень 90–92 мг/кг</i>						
Контроль	36,8	–	–	–	–	–
$N_{60+30}P_{60}$	54,4	17,6	–	–	11,7	–
$N_{60+30}P_{60}K_{120}$ – фон	59,1	22,3	4,7	–	8,3	3,9
$N_{60+30}P_{60}K_{180}$	62,4	25,6	8,0	–	7,8	4,4
Фон + $Mg_1$	64,3	27,5	–	5,2	10,2	–

Вариант	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка зерна, ц/га от			Окупаемость зерна, кг	
		минеральных удобрений	К удобрений	Mg подкормок	1 кг NPK	1 кг K <sub>2</sub> O
Фон + Mg <sub>1,5</sub>	64,4	27,6	–	5,3	10,2	–
Фон + S <sub>60</sub>	60,3	23,5	–	–	8,7	–
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1</sub>	63,0	26,2	–	2,7	9,7	–
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	63,9	27,1	–	3,6	10,0	–
<i>III уровень 138–147 мг/кг</i>						
Контроль	44,4	–	–	–	–	–
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub>	59,5	15,1	–	–	10,1	–
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> – фон	63,1	18,7	3,6	–	6,9	3,0
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>180</sub>	64,6	20,2	5,1	–	6,1	2,8
Фон + Mg <sub>1</sub>	64,3	19,9	–	1,2	7,4	–
Фон + Mg <sub>1,5</sub>	64,9	20,5	–	1,8	7,6	–
Фон + S <sub>60</sub>	63,8	19,4	–	–	7,2	–
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1</sub>	63,6	19,2	–	-0,2	7,1	–
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	63,7	19,3	–	-0,1	7,1	–
<i>IV уровень 183–198 мг/кг</i>						
Контроль	40,3	–	–	–	–	–
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub>	59,1	18,8	–	–	12,5	–
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> – фон	60,5	20,2	1,4	–	7,5	1,2
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>180</sub>	61,4	21,1	2,3	–	6,4	1,3
Фон + Mg <sub>1</sub>	58,5	18,2	–	-2,0	6,7	–
Фон + Mg <sub>1,5</sub>	58,5	18,2	–	-2,0	6,7	–
Фон + S <sub>60</sub>	58,6	18,3	–	–	6,8	–
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1</sub>	58,5	18,2	–	-0,1	6,7	–
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	59,1	18,8	–	0,5	7,0	–
НСП <sub>05</sub> варианты уровни	3,09 2,61	–	–	–	–	–

Внесение 60 кг/га серы сопровождалось прибавкой урожайности зерна ярового тритикале на 5,3 ц/га только при низком содержании в почве обменного магния I уровня (46–50 мг/кг). На всех других, более высоких уровнях содержания обменного магния в почве, внесение серы было неэффективным.

Некорневые подкормки растений растворами сульфата магния были эффективными только на первых двух уровнях обеспеченности почвы магнием, обеспечив прибавки урожайности зерна в пределах 5,2–7,9 ц/га. Подкормки сульфатом магния на фоне внесения серы 60 кг/га сопровождались небольшими прибавками урожайности зерна ярового тритикале, 2,6–3,6 ц/га – на грани статистической достоверности. При содержании обменного магния на уровне Mg 138–147 мг/кг почвы и выше магниевые подкормки были неэффективными или сопровождались небольшим снижением урожайности зерна.

Наибольшая урожайность, 64,3–64,9 ц/га, была получена при проведении некорневых магниевых подкормок в дозах Mg 1 и 1,5 кг/га в фазу кущения на

II (90–92 мг/кг) и III уровне (138–147 мг/кг) обеспеченности почвы обменным магнием. Однако существенных различий между дозами Mg 1 и 1,5 кг/га отмечено не было как при содержании в почве обменного магния 90–92 мг/кг, так и при 138–147 мг/кг почвы. Окупаемость 1 кг NPK зерном тритикале на II уровне составила 10,2 кг и была заметно выше, чем на III уровне – 7,4–7,6 кг зерна.

Экономическая эффективность минеральных удобрений при возделывании ярового тритикале зависела от обеспеченности почвы обменным магнием (табл. 2). Наибольший чистый доход, 76,4 USD/га с рентабельностью 39,6 %, получен от сочетания полной дозы удобрений  $N_{60+30}P_{60}K_{120}$  с некорневыми подкормками растворами сульфата магния в дозе Mg 1 кг/га на I уровне (46–50 мг/кг) и II уровне (90–92 мг/кг) содержания обменного магния в почве.

Дальнейшее повышение содержания в почве обменного магния до III уровня (138–147 мг/кг) позволяло получать такую же высокую урожайность зерна, но прибавки урожайности от основного внесения удобрений и некорневых подкормок снижались, что обусловило уменьшение чистого дохода до 27,0–28,3 USD/га. Некорневые магниевые подкормки на IV уровне (183–198 мг/кг) обеспеченности почвы магнием приводили к дальнейшему снижению экономических показателей, ухудшению окупаемости, т.е. были еще менее рентабельны (8,1–9,8 %), чистый доход составил 13,4–16,0 USD/га. Таким образом, некорневые магниевые подкормки в дозе Mg 1 кг/га эффективны на посевах ярового тритикале в фазу кущения только на первых двух уровнях содержания в почве обменного магния.

Таблица 2

**Экономическая эффективность применения минеральных удобрений при возделывании ярового тритикале на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с разным содержанием обменного магния в почве**

Вариант	Прибавка урожайности, ц/га	Стоимость прибавки, USD	Затраты USD/га	Чистый доход, USD/га	Рентабельность, %
<i>I уровень Mg 46–50 мг/кг почвы</i>					
Контроль (б/у)	–	–	–	–	–
$N_{60+30}P_{60}$	16,8	164,6	134,3	30,3	22,6
$N_{60+30}P_{60}K_{120}$ – фон	19,6	192,1	158,8	33,2	20,9
$N_{60+30}P_{60}K_{180}$	26,4	258,7	188,9	69,8	36,9
Фон + Mg <sub>1</sub>	27,5	269,5	193,1	76,4	39,6
Фон + Mg <sub>1,5</sub>	27,2	266,6	194,7	71,9	36,9
Фон + S <sub>60</sub>	24,9	244,0	208,6	35,4	17,0
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1</sub>	27,5	269,5	225,4	44,1	19,6
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	28,2	276,4	230,3	46,1	20,0
<i>II уровень 90–92 мг/кг почвы</i>					
Контроль (б/у)	–	–	–	–	–
$N_{60+30}P_{60}$	17,6	172,5	136,9	35,5	26,0
$N_{60+30}P_{60}K_{120}$ – фон	22,3	218,5	167,7	50,8	30,3
$N_{60+30}P_{60}K_{180}$	25,6	250,9	186,3	64,6	34,7
Фон + Mg <sub>1</sub>	27,5	269,5	193,1	76,4	39,6
Фон + Mg <sub>1,5</sub>	27,6	270,5	196,0	74,5	38,0
Фон + S <sub>60</sub>	23,5	230,3	204,0	26,3	12,9

Вариант	Прибавка урожайности, ц/га	Стоимость прибавки, USD	Затраты USD/га	Чистый доход, USD/га	Рентабельность, %
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1</sub>	26,2	256,8	221,1	35,7	16,1
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	27,1	265,6	226,6	38,9	17,2
<i>III уровень 138–147 мг/кг почвы</i>					
Контроль (б/у)	–	–	–	–	–
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub>	15,1	148,0	128,7	19,3	15,0
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> – фон	18,7	183,3	155,9	27,4	17,6
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>180</sub>	20,2	198,0	168,5	29,5	17,5
Фон + Mg <sub>1</sub>	19,9	195,0	168,0	27,0	16,1
Фон + Mg <sub>1,5</sub>	20,5	200,9	172,6	28,3	16,4
Фон + S <sub>60</sub>	19,4	190,1	190,5	-0,3	-0,2
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1</sub>	19,2	188,2	198,0	-9,8	-5,0
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	19,3	189,1	200,9	-11,8	-5,9
<i>IV уровень 183–198 мг/кг почвы</i>					
Контроль (б/у)	–	–	–	–	–
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub>	18,8	184,2	140,9	43,3	30,8
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> – фон	20,2	198,0	160,8	37,1	23,1
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>180</sub>	21,1	206,8	171,4	35,3	20,6
Фон + Mg <sub>1</sub>	18,2	178,4	162,4	16,0	9,8
Фон + Mg <sub>1,5</sub>	18,2	178,4	165,0	13,4	8,1
Фон + S <sub>60</sub>	18,3	179,3	186,8	-7,5	-4,0
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1</sub>	18,2	178,4	194,7	-16,3	-8,4
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	18,8	184,2	199,2	-15,0	-7,5

Некорневые подкормки сульфатом магния на фоне серы были менее эффективными, чем некорневые магниевые подкормки непосредственно. Проведение некорневых подкормок сульфатом магния на фоне серы оказалось убыточным на III уровне (138–147 мг/кг) и на IV уровне (183–198 мг/кг) обеспеченности почвы магнием.

## ВЫВОДЫ

1. Повышение обеспеченности почвы обменным Mg от низкого I уровня (46–50 мг/кг) до оптимального III уровня (138–147 мг/кг) обусловило повышение урожайности зерна ярового тритикале на контрольных вариантах без удобрений с 32,8 до 44,4 ц/га. Дальнейшее повышение содержания магния до IV уровня (183–198 мг/кг почвы) и сужение соотношения Ca<sup>2+</sup>: Mg<sup>2+</sup> ≤ 3, 5 сопровождалось снижением урожайности зерна на 10 %.

2. Эффективность фоновой дозы удобрений N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>120</sub> и некорневых подкормок растений тритикале в стадии кущения раствором сульфата магния снижается по мере повышения содержания обменного магния в почве. Существенные прибавки урожайности зерна тритикале, 5,2–7,9 ц/га от некорневых подкормок раствором сульфата магния получены только на I и II уровнях содержания обменного магния в почве. При содержании обменного магния на III уровне Mg (138–

147 мг/кг почвы) и выше магниевые подкормки были статистически недостоверными, или сопровождались небольшим снижением урожайности зерна. Некорневые подкормки сульфатом магния на фоне серы были менее эффективными, чем непосредственные подкормки.

3. Наибольший чистый доход за счет применения удобрений, 76,4 USD/га с рентабельностью 39,6 %, получен при сочетании полной дозы удобрений  $N_{60+30}P_{60}K_{120}$  с некорневыми подкормками раствором сульфата магния в дозе Mg 1 кг/га на I и II уровнях содержания обменного магния в почве.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Магницкий, К. П.* Магниевые удобрения / К. П. Магницкий. – М.: Колос, 1967. – 200 с.
2. *Мазаева, М. М.* Магниевое питание растений и магниевые удобрения: автореф. дис. ... д-ра с.-х наук / М. М. Мазаева. – М., 1967. – 42 с.
3. *Шкляев, Ю. Н.* Магний в жизни растений / Ю. Н. Шкляев. – М.: Наука, 1981. – 95 с.
4. *Аристархов, А. Н.* Агрохимическое обоснование применения магниевых удобрений // Плодородие. – 2002. – № 3. – С. 15–17.
5. *Альшевский, Н. Г.* Сравнительная эффективность применения магнийаммонийфосфата и эпсомита под картофель / Н. Г. Альшевский, П. И. Шуляренко // Агрохимия. – 1983. – № 5. – С. 65–69.
6. *Тулин, С. А.* Сравнительная эффективность магнийаммонийфосфата и сульфата магния на песчаных почвах Брянской области / С. А. Тулин // Бюллетень ВИАУ. – 1978. – № 39. – С. 44–48.
7. *Шемпель, В. И.* Действие магниесодержащих удобрений на дерново-подзолистых и мелиорированных торфяно-болотных почвах БССР / В. И. Шемпель, В. С. Рубанов, А. С. Войтова // Бюллетень ВИАУ. – 1978. – № 39. – С. 13–17.
8. Магний в почвах Житомирской области / Л.Л. Щетина [и др.] // Бюл. ВИАУ. – 1978. – № 39. – С. 28–35.
9. Ispitivanje uticaja doza, vremena i načina upotrebe kompleksog dubriva 10:12:26+1 % MgO na prinose i kvalitet krompira / S. Gličić [et al.] // Agrohemija. – 1981. – № 11/12. – P. 451–469.
10. *Stoiljkovic, B.* Uticaj kompleksog NPK dubriva i magnezijuma na prinose i kvalitet krompira / B. Stoilkovic, S. Sučić // Agrohemija. – 1981. – № 9/10. – P. 403–413.
11. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 275 с.
12. *Богдевич, И. М.* Магниевые удобрения на дерново-подзолистых почвах: аналитический обзор / И. М. Богдевич, О. Л. Ломонос. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2009. – 40 с.
13. *Богдевич, И. М.* Эффективность магниевых удобрений в посевах сельскохозяйственных культур / И. М. Богдевич, О. Л. Ломонос // Приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрений: материалы междунар. науч.-практ. конф., посв. 100-летию со дня рождения А. М. Брагина, д-ра с/х наук, профессора, засл. работника высшей школы БССР; отв. ред. В.Б. Воробьев. – Горки, 2009. – С. 10–12.

14. *Ломонос, О. Л.* Зависимость урожайности ярового рапса от обеспеченности магнием дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / О. Л. Ломонос // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 41. – С. 119–130.

15. *Таврыкина, О. М.* Диапазон оптимального уровня содержания обменного магния в дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах и эффективность серо-содержащих удобрений при возделывании кукурузы / О. М. Таврыкина [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1(52). – С. 268–278.

16. Методика почвенной и растительной диагностики магниевого питания ячменя / И. М. Богдевич [и др.] – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2016. – 22 с.

17. *Гриб, С. И.* Ресурсы сырьевой базы для производства комбикормов / С. И. Гриб // Международный аграрный журнал. – 2000. – С. 23–25.

18. *Бондаренко, А. В.* Продуктивность ярового тритикале в сравнении с яровыми зерновыми в условиях Полесья / А. В. Бондаренко // Земледелие и растениеводство Белорусского Полесья. – 2002. – С. 13–14.

19. Статистический ежегодник 2016 / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2016.

20. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сб. отрасл. регламентов. – Минск: Ин-т аграрной экономики НАН Беларуси, 2005. – 460 с.

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

## THE SPRING TRITICALE YIELD RESPONSE TO FERTILIZERS AT DIFFERENT LEVELS OF MAGNESIUM SUPPLY OF SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL

I. S. Stanilevich, I. M. Bogdevitch, Yu. V. Putyatin

### Summary

The economic evaluation of the efficiency of mineral fertilizers at the cultivation of spring triticale on sod-podzolic light loamy soil (Podzoluvisol) with different content of exchangeable magnesium in the soil was carried out. It was found on control plots without fertilizers the yield increased on 35 % in the limits of Mg content 46–147 mg/kg of soil. Further increase of Mg content in soil up to 198 mg/kg was excessive; it followed by reduction of grain yield on 10 %. Maximal yield response to basic NPK treatment and response to foliar spray of Mg fertilizer was noted on low and medium content of exchangeable Mg 46–92 mg/kg in soil with total net return of 76 USD/ha. Efficiency of NPK and Mg fertilizers were strongly reduced on the plots with high level of soil Mg supply.

*Поступила 28.11.18*

## КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОГО ТРИТИКАЛЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ОБМЕННЫМ МАГНИЕМ И ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

И. С. Станилевич, Ю. В. Путятин, И. М. Богдевич

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

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших проблем сельского хозяйства республики является дефицит растительного белка. Несбалансированность кормов по питательности и содержанию белка вызывает необоснованный перерасход зерна на 20–25 %, при этом недобор продукции животноводства составляет 30–35 % [1, 2].

Белок является одним из основных компонентов кормов, обеспечивающих жизнедеятельность животных. В состав белка входят: углерод, водород, кислород, азот, сера. Часть белков образует комплексы с другими молекулами, содержащими фосфор, железо, цинк и медь. Наиболее характерно для белка наличие в его молекуле азота. Другие питательные вещества, такие как жиры, углеводы, не содержат азота. Недостаток либо плохое качество белка в рационе животных нарушают нормальную жизнедеятельность и приводят к замедлению роста молодняка, снижению веса и продуктивности взрослых животных. Поэтому важной задачей при организации научно обоснованного кормления животных является устранение дефицита кормового белка. [3].

Белки – это биополимеры сложного строения, макромолекулы, которые состоят из остатков аминокислот, соединенных между собой амидной (пептидной) связью. От их сочетания зависят как свойства, так и качество белков [3, 4]. В процессе пищеварения белковые молекулы перевариваются до аминокислот, которые проникают в кровь и поступают во все ткани и клетки организма. Там большая часть аминокислот расходуется на синтез белков разных органов и тканей, часть – на синтез гормонов, ферментов и других биологически важных белковых веществ организма и продукции животных, а остальные используются как энергетический материал [3].

Известно около 30 аминокислот, из них 20 входят в состав белков, но наибольшее значение для организма имеют незаменимые аминокислоты [5, 6]. Микроорганизмы и растения могут сами синтезировать аминокислоты, необходимые для построения белка, а животные и человек утратили эту способность в ходе эволюции, поэтому должны получать белок с пищей [3, 7]. К незаменимым относятся восемь аминокислот: треонин, валин, метионин, фенилаланин, изолейцин, лейцин, лизин, триптофан; и синтез белка невозможен при отсутствии хотя бы одной из этих аминокислот [5, 8, 9]. К критическим относятся три аминокислоты: лизин, метионин и триптофан, которые ограничивают использование остальных аминокислот для синтеза белка [10].

Яровое тритикале является ценной зернофуражной и продовольственной культурой с высокой урожайностью и кормовыми качествами [11, 12]. Культура получила

широкое применение не только в производстве комбикормов, но также в хлебопекарной промышленности, производстве кондитерских изделий, крахмалопродуктов, в бродильном производстве. По содержанию белка и незаменимых аминокислот (лизина, метионина и цистина) тритикале обладает преимуществом по сравнению с другими зерновыми культурами [13, 14]. Содержание белка в его зерне на 1,2–4,5 % больше при лучшем аминокислотном составе в сравнении с другими зерновыми [15]. Содержание и качество белков в зерне продовольственных злаков колеблется в зависимости от зоны выращивания, агрометеорологических условий, сорта, агротехники возделывания. В условиях Беларуси среднее содержание белка в зерне тритикале обычно невысокое и составляет от 8 до 14 % [16].

Цель исследования – установить влияние различных уровней содержания в почве обменного магния и доз минеральных удобрений на качество зерна ярового тритикале.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2015–2016 гг. на базе стационарного полевого опыта в ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой легко-суглинистой почве, развивающейся на мощном лессовидном суглинке. В 2015–2016 гг. возделывалось яровое тритикале сорта Дуплет.

Почва пахотного горизонта перед закладкой опыта характеризовалась следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,8–2,1 %,  $pH_{KCl}$  5,8–6,0,  $P_2O_5$  (0,2 М HCl) – 350–450 мг/кг почвы,  $K_2O$  (0,2 М HCl) – 264–300 мг/кг, Ca (1 М KCl) – 750–900 мг/кг, Mg (1М KCl) 47–145 мг/кг почвы. Характеристика почвы по содержанию микроэлементов: среднее содержание бора – 0,33–0,65 мг/кг, меди – 2,08–2,84 мг/кг, обменного марганца – 2,02–5,92 мг/кг, подвижных форм серы – 6,1–8,8 мг/кг, низкое содержание цинка – 1,84–2,60 мг/кг. Гидролитическая кислотность была в пределах 1,23–3,33 мг-экв/100 г почвы.

На опытном участке было создано четыре уровня обеспеченности почвы обменным Mg, которые отражают диапазон различий по содержанию магния в дерново-подзолистых суглинистых почвах Беларуси, от низкого до высокого. Уровни содержания обменного магния на блоках делянок созданы путем внесения сульфата магния ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) с учетом исходного содержания магния в почве поделяночно:

- I уровень – 46–50 мг/кг;
- II уровень – 90–92 мг/кг;
- III уровень – 138–147 мг/кг;
- IV уровень – 183–198 мг/кг.

Содержание обменного кальция выравнивалось на каждой делянке за счет внесения мела. Таким образом, были созданы контрастные эквивалентные уровни соотношения катионов:

- Ca: Mg: 20,7 – 9,2 – 5,0 – 3,5;
- K: Mg 1,9 – 0,95 – 0,6 – 0,4.

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

1. Контроль (без удобрений);
2.  $N_{60+30}P_{60}$ ;

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

На каждом блоке содержания обменного магния в почве исследовалось действие полной дозы удобрений, варианта с повышенной дозой калия, серы в дозе 60 кг/га и некорневых подкормок сульфатом магния в дозах Mg 1 и 1,5 кг/га. Минеральные удобрения: карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий, сульфат аммония вносили весной под культивацию. Некорневые подкормки сульфатом магния проводили в фазу кущение – начало выхода в трубку.

Опыт развернут в двух полях. Повторность опыта 4-х кратная, размещение делянок рендомизированное. Общая площадь делянки – 15 м<sup>2</sup>, учетная площадь – 8 м<sup>2</sup>. Агротехника возделывания общепринятая для республики.

Определение агрохимических показателей в почвенных образцах проводили по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (0,4 н  $K_2Cr_2O_7$  ГОСТ 26213-91);  $pH_{KCl}$  – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85); обменные кальций и магний (1 М KCl) – методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ГОСТ 26487-85); подвижные фосфор и калий (0,2 М HCl) – по Кирсанову с последующим определением фосфора на фотоэлектроколориметре, калия – на пламенном фотометре (ГОСТ 26207-91).

В растительных образцах определяем следующие показатели: общий азот, фосфор, калий, кальций, магний – из одной навески после мокрого озоления серной кислотой; азот – методом Кьельдаля (ГОСТ 13496.4-93), фосфор – на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 26657-97), калий – на пламенном фотометре, кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрометре. Содержание сырого белка рассчитывали умножением концентрации общего азота на коэффициент пересчета азота на белок – 6,25. Содержание незаменимых аминокислот определяли на жидкостном хроматографе Agilent 1100. Статистическая обработка результатов исследований выполнена по Б.А. Доспехову (1985) с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа. Стандартное отклонение (SD) и стандартная ошибка (SE) с уровнем надежности 95 % рассчитаны методом описательной статистики с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2003.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание белка в зерне ярового тритикале зависело как от обеспеченности почвы обменным магнием, так и от внесения минеральных удобрений (табл. 1).

На I уровне содержания в почве обменного магния (Mg 46–50 мг/кг) содержание белка в зерне ярового тритикале находилось в пределах 8,7–11,8 %, на II уровне (Mg 90–92 мг/кг) повысилось до 9,6–12,3 %, на III уровне (Mg 138–147 мг/кг) было максимальным – 10,0–12,5 %, а на IV уровне (Mg 183–198 мг/кг) снизилось до 8,7–12,2 %.

Таблица 1

**Содержание и сбор сырого белка в зерне ярового тритикале в зависимости от обеспеченности обменным магнием дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и удобрений (в среднем за 2015–2016 гг.)**

Вариант	Урожайность ярового тритикале, ц/га	Содержание белка, %	Прибавка к контролю, %	Сбор белка, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Кормовые единицы, ц/га
<i>I уровень Mg 46–50 мг/кг почвы</i>						
Контроль (б/у)	32,8	8,7	–	2,5	–	40,7
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub>	49,6	10,3	1,6	4,4	1,9	61,5
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> – фон	52,4	11,2	2,5	5,0	2,5	65,0
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>180</sub>	59,2	11,6	2,9	5,8	3,4	73,4
Фон + Mg <sub>1</sub>	60,3	11,5	2,8	5,9	3,5	74,8
Фон + Mg <sub>1,5</sub>	60,0	11,2	2,5	5,5	3,0	74,4
Фон + S <sub>60</sub>	57,7	11,7	3,0	5,7	3,3	71,5
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1</sub>	60,3	11,8	3,1	6,1	3,6	74,8
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	61,0	11,4	2,7	5,9	3,5	75,6
<i>II уровень Mg 90–92 мг/кг почвы</i>						
Контроль (б/у)	36,8	9,6	–	3,1	–	45,6
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub>	54,4	10,7	1,1	5,0	1,9	67,5
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> – фон	59,1	11,4	1,8	5,8	2,7	73,3
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>180</sub>	62,4	11,9	2,3	6,4	3,3	77,4
Фон + Mg <sub>1</sub>	64,3	11,6	2,0	6,4	3,3	79,7
Фон + Mg <sub>1,5</sub>	64,4	11,3	1,7	6,3	3,2	79,9
Фон + S <sub>60</sub>	60,3	11,9	2,3	6,2	3,1	74,8
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1</sub>	63,0	12,3	2,7	6,6	3,6	78,1
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	63,9	11,8	2,2	6,5	3,5	79,2
<i>III уровень Mg 138–147 мг/кг почвы</i>						
Контроль (б/у)	44,4	10,0	–	3,8	–	55,1
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub>	59,5	11,3	1,3	5,7	1,8	73,8
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> – фон	63,1	11,8	1,8	6,7	2,9	78,2
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>180</sub>	64,6	11,8	1,8	6,4	2,6	80,1
Фон + Mg <sub>1</sub>	64,3	11,8	1,8	6,5	2,6	79,7
Фон + Mg <sub>1,5</sub>	64,9	11,3	1,3	6,3	2,5	80,5
Фон + S <sub>60</sub>	63,8	12,1	2,1	6,7	2,8	79,1
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1</sub>	63,6	12,5	2,5	6,9	3,0	78,9
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	63,7	11,9	1,9	6,7	2,8	79,0
<i>IV уровень Mg 183–198 мг/кг почвы</i>						
Контроль (б/у)	40,3	8,7	–	3,0	–	50,0
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub>	59,1	11,3	2,6	5,7	2,6	73,3
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> – фон	60,5	11,5	2,8	6,0	3,0	75,0
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>180</sub>	61,4	10,7	2,0	5,6	2,6	76,1
Фон + Mg <sub>1</sub>	58,5	11,6	2,9	5,9	2,9	72,5
Фон + Mg <sub>1,5</sub>	58,5	11,1	2,4	5,3	2,3	72,5
Фон + S <sub>60</sub>	58,6	12,0	3,3	6,0	3,0	72,7

Вариант	Урожайность ярового тритикале, ц/га	Содержание белка, %	Прибавка к контролю, %	Сбор белка, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Кормовые единицы, ц/га
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1</sub>	58,5	12,2	3,5	6,1	3,1	72,5
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	59,1	11,9	3,2	5,9	2,9	73,3
НСП <sub>05</sub> варианты уровни	3,09 2,61	1,01 2,36	–	–	–	–

В варианте без внесения удобрений повышение обеспеченности почвы обменным магнием с 46–50 до 138–147 мг/кг способствовало увеличению содержания сырого белка на 1,3 %, дальнейшее повышение обменного магния в почве до 183–198 мг/кг привело к уменьшению содержания сырого белка на 1,3 %.

Прибавка сырого белка за счет повышения в почве обменного магния с 46–50 до 138–147 мг/кг в фоновом варианте составила 0,6 %, в варианте с некорневой подкормкой Mg<sub>1</sub> – 0,3 %, в варианте некорневой подкормкой Mg<sub>1</sub> на фоне серы S<sub>60</sub> – 0,7 %.

Зависимость содержания сырого белка в зерне ярового тритикале от обеспеченности почвы обменным магнием описывалась параболической кривой (рис.).

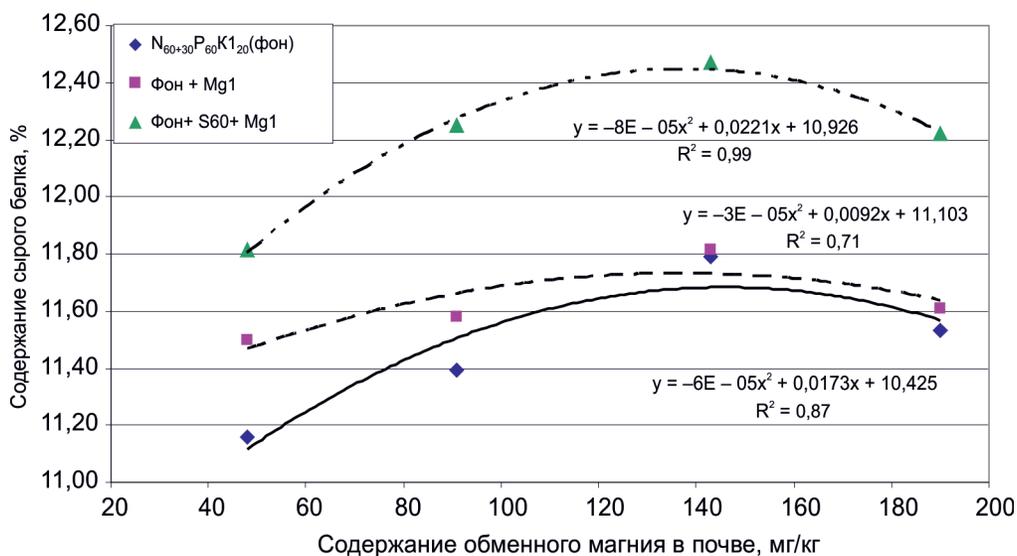


Рис. Содержание сырого белка в зерне ярового тритикале в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Повышение концентрации обменного магния в почве с 46–50 до 138–147 мг/кг способствовало увеличению содержания белка в зерне ярового тритикале, дальнейшее повышение обеспеченности почвы обменным магнием до 183–198 мг/кг приводило к снижению содержания белка в зерне.

Также на содержание белка в зерне ярового тритикале большое влияние оказало внесение минеральных удобрений. Применение полной дозы удобрений N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>120</sub> позволило получить прибавку сырого белка к контролю 1,8–2,8 %. Внесение повышенной дозы калия увеличило содержание белка по сравнению

с контролем на 1,8–2,9 %, внесение 60 кг серы повысило содержание белка на 2,3–3,3 %. Некорневая подкормка сульфатом магния в дозе Mg 1 кг/га на фоне серы обеспечила прибавку сырого белка к контролю 2,5–3,5 %.

Сбор сырого белка также возрастал до III уровня (Mg 138–147 мг/кг) содержания в почве обменного магния, на котором он составил 3,8–6,9 ц/га.

По результатам исследования наибольшее значение содержания и сбора белка оказалось при внесении  $N_{60+30}P_{60}K_{120} + S_{60} + Mg_1$  на III уровне (Mg 138–147 мг/кг) обеспеченности почвы обменным магнием и составило 12,5 % и 6,9 ц/га соответственно.

Сбор кормовых единиц с гектара площади также зависел от обеспеченности почвы обменным магнием. Повышение содержания в почве обменного магния с I уровня (46–50 мг/кг) до III уровня (138–147 мг/кг) способствовало увеличению сбора кормовых единиц, в фоновом варианте – на 13,2 ц/га, в варианте с повышенной дозой калия – на 6,7 ц/га, в варианте с 60 кг/га серы – на 7,6 ц/га, в варианте с некорневой подкормкой  $Mg_{1,5}$  – на 6,1 ц/га.

Биологическая ценность белков зерна зависит от состава, количества и доступности аминокислот. Полноценные белки содержат все заменимые и незаменимые аминокислоты, исходя из потребностей человеческого и животного организма.

По результатам химического анализа зерна ярового тритикале существенного повышения содержания критических и незаменимых аминокислот при возрастании обеспеченности почвы обменным магнием выявлено не было (табл. 2). Однако наибольшие значения суммы критических и незаменимых аминокислот в удобренных вариантах получены на III уровне (138–147 мг/кг) содержания в почве обменного магния и составили 7,02–7,17 и 24,00–25,31 мг/кг зерна соответственно.

Таблица 2

**Состав незаменимых аминокислот в зерне ярового тритикале на разных уровнях содержания в почве обменного магния, г/кг на в.с.в.**

Вариант	Треонин*	Валин	Метионин*	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Лизин*	Сумма * критических аминокислот, г/кг	Сумма незаменимых аминокислот, г/кг	Сбор незаменимых аминокислот, кг/га
<i>I уровень Mg 46–50 мг/кг почвы</i>										
Контроль (б/у)	2,32	2,85	1,29	3,50	2,55	5,07	2,30	5,90	19,86	58,6
$N_{60+30}P_{60}K_{120}$ (фон)	2,72	3,66	1,67	4,79	2,99	6,35	2,60	6,98	24,76	116,8
Фон + $Mg_{1,5}$	2,79	3,39	1,65	4,48	2,77	6,56	2,57	7,01	24,20	130,7
Фон + $S_{60} + Mg_{1,5}$	2,71	3,38	1,76	4,48	3,14	6,66	2,62	7,09	24,75	135,9
<i>II уровень Mg 90–92 мг/кг почвы</i>										
Контроль (б/у)	2,41	3,31	1,35	3,63	2,24	4,69	2,28	6,03	19,89	65,9
$N_{60+30}P_{60}K_{120}$ (фон)	2,81	3,43	1,62	4,34	3,16	6,51	2,50	6,93	24,36	129,5
Фон + $Mg_{1,5}$	2,66	3,32	1,57	4,66	2,81	5,73	2,59	6,81	23,32	135,1
Фон+ $S_{60} + Mg_{1,5}$	2,56	3,63	1,67	4,37	3,01	6,15	2,71	6,93	24,08	138,5

Вариант	Треонин*	Валин	Метионин*	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Лизин*	Сумма * критических аминокислот, г/кг	Сумма незаменимых аминокислот, г/кг	Сбор незаменимых аминокислот, кг/га
<i>III уровень Mg 138–147 мг/кг почвы</i>										
Контроль (б/у)	2,38	3,34	1,25	3,48	2,36	4,78	2,35	5,97	19,92	79,6
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> (фон)	2,87	3,40	1,61	4,48	2,68	6,44	2,55	7,02	24,00	136,3
Фон + Mg <sub>1,5</sub>	2,87	3,41	1,65	4,57	2,77	6,57	2,56	7,08	24,39	142,4
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	2,92	3,70	1,69	4,97	2,97	6,51	2,56	7,17	25,31	145,1
<i>IV уровень Mg 183–198 мг/кг почвы</i>										
Контроль (б/у)	2,18	2,66	1,21	3,43	2,06	4,74	1,90	5,29	18,18	65,9
N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> (фон)	2,72	3,59	1,55	4,55	2,82	6,11	2,72	6,99	24,05	130,9
Фон + Mg <sub>1,5</sub>	2,81	3,75	1,64	4,64	2,96	6,31	2,59	7,03	24,68	129,9
Фон + S <sub>60</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	2,77	3,46	1,63	4,51	2,75	6,04	2,48	6,87	23,62	125,6
SE	0,055	0,072	0,043	0,125	0,078	0,180	0,051	–	–	–
SD	0,222	0,288	0,173	0,498	0,314	0,718	0,203	–	–	–

Увеличение концентрации обменного магния в почвенном горизонте с I уровня (Mg 46–50 мг/кг) до III уровня (Mg 138–147 мг/кг) сопровождалось повышением сбора незаменимых аминокислот в фоновом варианте на 19,5 кг/га, в варианте с некорневой подкормкой Mg<sub>1,5</sub> – на 11,7 кг/га, в варианте с некорневой подкормкой Mg<sub>1,5</sub> на фоне S<sub>60</sub> – на 9,2 кг/га. Дальнейшее увеличение содержания обменного магния в почве до IV уровня (Mg 183–198 мг/кг) приводило к снижению сбора незаменимых аминокислот в фоновом варианте на 5,4 кг/га, в варианте с некорневой подкормкой Mg<sub>1,5</sub> – на 12,5 кг/га, в варианте с некорневой подкормкой Mg<sub>1,5</sub> на фоне S<sub>60</sub> – на 19,5 кг/га.

## ВЫВОДЫ

1. Содержание сырого белка в зерне ярового тритикале и его сбор с единицы площади повышались с увеличением обеспеченности почвы обменным магнием до III уровня, Mg 138–147 мг/кг почвы, дальнейшее повышение содержания обменного магния до IV уровня, Mg 183–198 мг/кг приводило к снижению содержания белка в зерне.

2. Большое влияние на содержание белка в зерне ярового тритикале оказало внесение минеральных удобрений. Применение полной дозы удобрений N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>120</sub> позволило получить прибавку сырого белка к контролю 1,8–2,8 %. Внесение повышенной дозы калия увеличило содержание белка по сравнению с контролем на 1,8–2,9 %, внесение 60 кг серы повысило содержание белка на 2,3–3,3 %. Некорневая подкормка сульфатом магния в дозе Mg 1 кг/га на фоне серы обеспечила прибавку сырого белка к контролю 2,5–3,5 %.

3. Наибольшие значения суммы критических и незаменимых аминокислот в удобренных вариантах получены на III уровне обеспеченности почвы обменным магнием и составили 7,02–7,17 и 24,0–25,31 мг/кг зерна соответственно.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булавина, Т. М. Оптимизация приемов возделывания тритикале в Беларуси / Т. М. Булавина.; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т земледелия и селекции НАН Беларуси; под. ред. С.И. Гриб. - Минск: ИВЦ Минфина, 2005. – 224 с.
2. Производство растительного белка: доступно каждому растениеводу / Сост. Н. П. Лукашевич, Л. И. Белявская. – б.м.: б.и., б.г. – 5с.
3. Купцов, Н. С. Роль белка и его аминокислотный состав в основных зернофуражных культурах / Н. С. Купцов, В. Ч. Шор // Наше сельское хозяйство. – 2009. – № 5. – С. 8–13.
4. Таранов, М. Т. Биохимия кормов / М. Т. Таранов, А. Х. Сабилов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 224 с.
5. Биохимия / В. Г. Щербак [и др.]. – М.: Колос, 2003. – 440 с.
6. D'Mello, J. P. F. Amino acids in animal nutrition / J. P. F. D'Mello. – 2th. ed. – Wallingford ; Cambridge: CABI Publishing, 2003. – 513 p.
7. Кретович, В. Л. Биохимия зерна и хлеба / В. Л. Кретович. – М.: Наука, 1991. – 136 с.
8. Плешков, Б. П. Биохимия сельскохозяйственных растений / Б. П. Плешков. – 4-е изд., доп. и перераб. – М.: Колос, 1980. – 495 с.
9. Казаков, Е. Д. Биохимия зерна и продуктов его переработки / Е. Д. Казаков, В. П. Кретович. – М.: Агропромиздат, 1989. – 368 с.
10. Тюльдюков, В. А. Теория и практика луговодства / В. А. Тюльдюков. – М.: Росагропромиздат. – 1988. – 223 с.
11. Гриб, С. И. Ресурсы сырьевой базы для производства комбикормов / С. И. Гриб // Международный аграрный журнал. – 2000. – С. 23–25.
12. Бондаренко, А. В. Продуктивность ярового тритикале в сравнении с яровыми зерновыми в условиях Полесья / А. В. Бондаренко // Земледелие и растениеводство Белорусского Полесья. – 2002. – С. 13–14.
13. Шишлова, Н. М. Биохимические и биологические свойства семян тритикале и основные направления использования культуры: аналитический обзор / Н. М. Шишлова, В. Н. Буштевич, М. П. Шишлов // Белорус. науч. ин-т внедрения новых форм хозяйствования в АПК. – Минск, 2005. – 52 с.
14. Гриб, С. И. Особенности возделывания ярового тритикале / С. И. Гриб, В. Н. Буштевич, Т. М. Булавина // Современные технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. матер. – Минск: ИВЦ Минфина, 2005. – С. 65–69.
15. Гриб, С.И. Яровое тритикале: основные преимущества и особенности технологии возделывания / С.И. Гриб, В.Н. Буштевич., Т.М. Булавина // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – С. 139–142.
16. Технология производства и качество продовольственного зерна: учеб. пособие для студентов агр. и экон. спец. высш. с.-х. учебных заведений / Э. М. Мухаметов, М. А. Казанина, Л. К. Тупикова, О.Н. Макаеева. – Минск: Дизайн ПРО, 1996. – 255 с.

## THE QUALITY OF SPRING TRITICALE GRAIN DEPENDING ON THE EXCHANGEABLE MAGNESIUM SUPPLY OF SOD-PODZOLIC LOAMY SOIL AND RATES OF MINERAL FERTILIZERS

I. S. Stanilevich, Yu. V. Putyatin, I. M. Bogdevitch

### Summary

It was found in field experiments that the content of crude protein in the grain of spring triticale and its output per unit area had been increased with increasing of soil exchangeable magnesium supply up to 138–147 mg/kg of soil. The maximum value of the sum of critical and indispensable amino acids 7,02–7,17 and 24,0–25,31 mg/kg of grain, respectively, was obtained in fertilized trial with the equivalent ratio in the soil Ca:Mg cations around 5 and the ratio of K:Mg around 0,6.

*Поступила 08.11.18*

УДК 633.321:631.8:631.445.2

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

И. Р. Вильдфлуш, О. И. Мишура

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,  
г. Горки, Беларусь*

### ВВЕДЕНИЕ

Из многолетних бобовых трав в Беларуси наибольшие площади посева занимают многолетние виды клевера. Доминирующим из них является клевер луговой – 400 тыс. га в смесях трав и почти 200 тыс. га в чистом виде [1].

Зеленая масса и сено клевера характеризуется высокими кормовыми достоинствами. В зеленой массе клевера лугового в среднем содержится 77,1 % воды, 3,8 % сырого протеина, 0,8 % жира, 6,5 % клетчатки, 10,1 % безазотистых экстрактивных веществ, 1,7 % золы [2].

Как показали исследования, внесение фосфорных и калийных удобрений существенно повышает урожайность клевера лугового. В опытах кафедры агрохимии Белорусской государственной сельскохозяйственной академии на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве исследовалось влияние доз фосфорных и калийных удобрений в зависимости от уровня плодородия почвы. Максимальная урожайность сена клевера лугового достигалась на низком и среднем фонах плодородия при внесении весной  $P_{60}K_{90}$  [2]. На высоком фоне плодородия максимальная урожайность сена клевера достигалась уже при более низких дозах фосфора и калия ( $P_{40}K_{60}$ ). Содержание сырого белка в сене клевера, по срав-

нению с неудобренным контролем, существенно возросло на низком фоне плодородия (содержание подвижного фосфора и калия 100–120 мг/кг). На среднем (160–180 мг/кг  $P_2O_5$  и  $K_2O$ ) и высоком (240–260 мг/кг) эта тенденция была выражена менее четко [2].

Микроэлементы потребляются растениями в малых количествах, но играют важную роль в их жизнедеятельности [3]. Для каждой культуры имеются определенные микроэлементы, недостаток которых значительно снижает их продуктивность [4]. Для бобовых культур наиболее важными микроэлементами являются бор и молибден [5, 6, 7].

В опытах М.В. Рак с соавторами [8] на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве некорневые подкормки люцерны микроудобрением МикроСтим-Молибден (0,66 л/га) повышало урожайность сухой массы за три укоса на 9,7 ц/га, МикроСтим-Молибден, Бор (в дозах 1,0 л/га и 2,0 л/га) – на 10,5 и 12,3 ц/га. Выход сырого белка при этом возрастал на 2,9, 3,4 и 4,8 ц/га соответственно.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью исследований было изучение влияния систем удобрений на урожайность и качество клевера лугового и их экономическая оценка на дерново-подзолистой почве, развивающейся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины около 1 м моренным суглинком, на территории УНЦ «Опытные поля БГСХА».

Агрохимические показатели почвы, приведенные в табл. 1 свидетельствуют о том, что почва опытных участков с клевером имела слабокислую и близкую к нейтральной реакцию, среднее содержание гумуса, повышенное подвижного фосфора, среднее и повышенное калия.

Таблица 1

**Агрохимическая характеристика почвы опытных участков до закладки опыта с клевером**

рН <sub>KCL</sub>	Гумус, %	H <sub>r</sub>	S	T	V, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
		мэкв на 100 г почвы				в 0,2 м HCl мг/кг почвы	
<i>2012 г.</i>							
5,8	1,71	1,9	15,7	17,7	89	202	213
<i>2013 г.</i>							
6,2	1,67	2,2	155	17,7	88	228	191

Определение агрохимических показателей почвы и качества урожая клевера производили общепринятыми методиками согласно ГОСТа и ОСТА [9]. Экспериментальные данные обработаны методом дисперсионного анализа на ЭВМ. Расчет экономической эффективности проводился по методике Института почвоведения и агрохимии [10].

Общая площадь делянки в опытах – 36 м<sup>2</sup>, учетная – 24,7 м<sup>2</sup>, повторность – четырехкратная, способ учета урожая – сплошной, поделяночный. Клевер сорта ТОС высевался сеялкой СПУ-3 под ячмень (N<sub>60</sub> кг/га д.в.) с нормой посева семян 10 кг/га. Метеорологические условия по годам исследований в целом были благоприятными для клевера, что и обусловило получение высокой урожайности этой культуры.

Минеральные удобрения применяли в подкормку на посевах клевера первого года пользования (2012 г. – поле 1, 2013 г. – поле 2) в форме аммонизированного суперфосфата и хлористого калия. Некорневые подкормки клевера молибденом (40 г/га) и бором (50 г/га) проводили в фазе стеблевания растений молибденово-кислым аммонием и борной кислотой. При пересчете зеленой массы клевера в кормовые единицы использовали коэффициент 0,21.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В среднем за 2012–2013 гг. на почве, хорошо обеспеченной подвижными формами фосфора (202–228 мг/кг) и калия (191–213 мг/кг), благоприятной реакцией почвенной среды ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  5,8–6,2) в варианте без удобрений была получена высокая урожайность клевера лугового, которая составила 664 ц/га, или 139,4 ц/га кормовых единиц (табл. 2).

Применение  $\text{N}_9\text{P}_{40}\text{K}_{60}$  в подкормку весной или после уборки ячменя значительно повышало урожайность зеленой массы клевера, но существенных различий по урожайности при подкормке клевера весной после возобновления вегетации или после уборки покровной культуры (ячменя) не отмечено.

Увеличение доз удобрений с  $\text{N}_9\text{P}_{40}\text{K}_{60}$  до  $\text{N}_{16}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$  способствовало увеличению урожайности зеленой массы, но так же, как и при внесении  $\text{N}_9\text{P}_{40}\text{K}_{60}$ , существенных различий при ранневесенней подкормке и после уборки покровной культуры не наблюдалось (табл. 2).

Двукратная подкормка клевера после уборки покровной культуры в дозе  $\text{N}_9\text{P}_{40}\text{K}_{60}$  и под 2 укос не имела преимуществ перед внесением более высокой дозы удобрений ( $\text{N}_{16}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ ) за один прием в подкормку весной или после уборки покровной культуры в один прием.

При внесении в подкормку весной  $\text{N}_9\text{P}_{40}\text{K}_{60}$  урожайность зеленой массы возросла по сравнению с неудобренным контролем на 69 ц/га, а  $\text{N}_{16}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$  – на 177 ц/га. Окупаемость 1 кг NPK кг зеленой массы в этих вариантах опыта составила 63,3 кг и 103,0 кг.

Урожайность сухой массы клевера при внесении весной в подкормку  $\text{N}_{16}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$  составила 177,9, а в подкормку после уборки покровной культуры – 180 ц/га. Выход кормовых единиц в этих вариантах был 175,4 и 177,5 ц/га соответственно.

Обработка посевов микроэлементами обеспечивала существенную прибавку урожайности зеленой массы клевера. Применение бора и молибдена на фоне  $\text{N}_{16}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$  в подкормку весной увеличивало урожайность зеленой массы клевера в среднем за 2012–2013 гг. на 60 ц/га.

В варианте с некорневой подкормкой бором и молибденом получена максимальная урожайность клевера (895 ц/га зеленой массы, 190,6 ц/га сухой массы, 187,9 ц/га к.е.). Повышение урожайности клевера при внесении бора, по-видимому, связано с тем, что он имеет важное значение для развития клубеньков на корнях бобовых растений [1]. Положительное влияние молибдена на урожайность обусловлено тем, что он входит в ферменты нитратредуктазу и нитрогеназу, усиливает активность дегидрогеназ–ферментов, обеспечивающих непрерывный поток водорода, который необходим для связывания азота атмосферы [2].

Таблица 2

Влияние систем удобрения на урожайность клевера лугового первого года пользования

Вариант	Урожайность зеленой массы, ц/га										Среднее за 2 года			
	2012 г.					2013 г.					среднее за 2012–2013 гг.	окупаемость 1 кг NPK кг з/м	урожайность сухой массы, ц/га	выход к. е., ц/га
	1 укос		2 укос		сумма 2 укосов	1 укос		2 укос		сумма 2 укосов				
	1 укос	2 укос	сумма 2 укосов	1 укос	2 укос	сумма 2 укосов	1 укос	2 укос	сумма 2 укосов	2013 г.				
1. Без удобрений	334	351	685	304	340	644	304	340	644	664	–	141,4	139,4	
2. N <sub>9</sub> P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> в подкормку весной	385	366	751	366	350	716	366	350	716	733	63,3	164,6	153,9	
3. N <sub>9</sub> P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> в подкормку после уборки покровной культуры	408	358	766	391	345	736	391	345	736	751	79,8	160,0	157,7	
4. N <sub>16</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> после уборки покровной культуры	440	428	868	438	384	822	438	384	822	845	109,0	180,0	177,5	
5. N <sub>16</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> в подкормку весной	438	411	849	450	371	821	450	371	821	835	103,0	177,9	175,4	
6. N <sub>9</sub> P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> после уборки покровной культуры + N <sub>9</sub> P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> под 2 укос	435	430	865	450	376	826	450	376	826	846	87,5	180,2	177,7	
7. N <sub>16</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> в подкормку весной + B, Mo	496	452	948	468	395	849	468	395	849	895	97,0	190,6	187,9	
НСР <sub>05</sub>	15,6	16,2	18,9	19,1	13,2	20,9	18,1	18,1	18,1	18,1	–	–	–	

Внесение минеральных удобрений в дозах  $N_9P_{40}K_{60}$  и  $N_{16}P_{60}K_{90}$  после уборки покровной культуры весной, а также в два приема ( $N_9P_{40}K_{60}$  после уборки покровной культуры +  $N_{16}P_{60}K_{90}$  под второй укос) по сравнению с вариантом без удобрений не способствовало увеличению содержания сырого белка в зеленой массе клевера. Это, по-видимому, связано с достаточно хорошей обеспеченностью почвы подвижными формами фосфора и калия (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние систем удобрения на качество урожая зеленой массы клевера первого года пользования, среднее за 2012–2013гг.**

Вариант опыта	Сырой белок, %	Выход сырого белка, т/га	Выход переваримого протеина, т/га	Обеспеченность к. е. переваримым протеином, г
1. Без удобрений	23,14	3,27	1,96	140,6
2. $N_9P_{40}K_{60}$ в подкормку весной	23,65	3,89	2,33	151,4
3. $N_9P_{40}K_{60}$ в подкормку после уборки покровной культуры	24,94	3,99	2,39	151,6
4. $N_{16}P_{60}K_{90}$ после уборки покровной культуры	23,31	4,19	2,51	141,4
5. $N_{16}P_{60}K_{90}$ в подкормку весной	24,03	4,27	2,56	146,0
6. $N_9P_{40}K_{60}$ после уборки покровной культуры + $N_9P_{40}K_{60}$ под 2 укос	24,28	4,37	2,62	147,4
7. $N_{16}P_{60}K_{90}$ в подкормку весной + В, Мо	25,52	4,86	2,92	155,9
НСР <sub>05</sub>	2,25	–	–	–

Существенное возрастание содержания сырого белка (на 2,38 %) по сравнению с неудобренным контролем произошло только в варианте с подкормкой клевера микроэлементами, бором и молибденом, на фоне  $N_{16}P_{60}K_{90}$  в подкормку весной, что связано с улучшением азотфиксации клубеньковыми бактериями при внесении этих микроэлементов [1, 2].

Нами с учетом коэффициента переваримости (0,6) был рассчитан выход переваримого протеина и обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином у клевера.

Более высокий выход сырого белка и переваримого протеина был в вариантах с применением  $N_9P_{40}K_{60}$  после уборки покровной культуры +  $N_9P_{40}K_{60}$  во втором укосе (4,37 и 2,62 т/га) и при некорневой подкормке в фазе стеблевания бором и молибденом на фоне  $N_{16}P_{60}K_{90}$  в подкормку весной (4,86 т/га и 2,92 т/га). Наиболее высокая обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином (155,9 г) была в варианте  $N_{16}P_{60}K_{90}$  в подкормку весной + В и Мо.

Расчет экономической эффективности проводился в ценах 2013 г.

Расчеты экономической эффективности показали, что все удобряемые варианты опыта, кроме варианта с внесением  $N_9P_{40}K_{60}$  в подкормку весной, обеспечивали получение чистого дохода и были рентабельны (табл. 4).

Применение  $N_9P_{40}K_{60}$  в подкормку весной было экономически невыгодным. Низкий чистый доход (7,1 USD/га и 9,6 USD/га) был в вариантах с применением  $N_9P_{40}K_{60}$  в подкормку после уборки покровной культуры (ячменя) и при внесении

высоких доз удобрений в два приема ( $N_9P_{40}K_{60}$  после уборки покровной культуры +  $N_9P_{40}K_{60}$  под второй укос). В этих вариантах опыта была и самая низкая рентабельность, которая составила 3,4 и 2,2 %.

Таблица 4

**Экономическая эффективность применения средств химизации под клевер, среднее за 2012–2013 гг.**

Вариант	Прибавка з/м, ц/га	Стоимость прибавки, USD/га	Всего затрат, USD/га	Чистый доход, USD/га	Рентабельность, %
1. Без удобрений	–	–	–	–	–
2. $N_9P_{40}K_{60}$ в подкормку весной	69	172,5	202,0	–	–
3. $N_9P_{40}K_{60}$ в подкормку после уборки покровной культуры	87	217,5	210,4	7,1	3,4
4. $N_{16}P_{60}K_{90}$ после уборки покровной культуры	181	452,5	299,0	153,5	51,3
5. $N_{16}P_{60}K_{90}$ + в подкормку весной	171	427,5	295,6	131,9	44,6
6. $N_9P_{40}K_{60}$ после уборки покровной культуры + $N_9P_{40}K_{60}$ под 2 укос	182	455,0	445,9	9,6	2,2
7. $N_{16}P_{60}K_{90}$ + в подкормку весной + В, Мо	161	402,5	304,1	98,4	24,4

Выше чистый доход был в вариантах с внесением  $N_9P_{40}K_{60}$  в подкормку весной (131,9 USD/га) и  $N_{16}P_{60}K_{90}$  в подкормку после уборки покровной культуры (153,5 USD/га). Рентабельность также была наибольшей в этих вариантах опыта и составила 44,6 и 51,3 % соответственно.

## ВЫВОДЫ

1. Применение  $N_9P_{40}K_{60}$  и  $N_{16}P_{60}K_{90}$  в подкормку весной и после уборки покровной культуры было равнозначным и повышало урожайность зеленой массы при дозе  $N_9P_{40}K_{60}$  на 69 и 87 ц/га, а при дозе  $N_{16}P_{60}K_{90}$  – на 171 и 181 ц/га соответственно. Окупаемость 1 кг NPK кг зеленой массы клевера при внесении весной  $N_{16}P_{60}K_{90}$  составила 103,0 и после уборки покровной культуры – 109,0 кг.

2. Некорневая подкормка бором и молибденом на фоне  $N_{16}P_{60}K_{90}$  в подкормку весной способствовало повышению урожайности зеленой массы клевера на 60 ц/га (с 835 до 895 ц/га), обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином – на 9,9 г (с 146 до 155,9 г).

3. Применение  $N_{16}P_{60}K_{90}$  в подкормку весной и после уборки покровной культуры обеспечивало получение более высокого чистого дохода (131,9 и 153,5 USD/га) при рентабельности 44,6 и 51,3 % соответственно.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур: учебно-методическое пособие / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша, П. А. Саскевича. – Горки: БГСХА, 2016. – 383с.

2. Удобрение и качество урожая сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Технопринт, 2005. – 276с.
3. Школьник, М. Я. Микроэлементы в жизни растений / М. Я. Школьник. – Л.: Наука, 1974. – 252с.
4. Микроэлементы в окружающей среде: биогеохимия, биотехнология и биоремедиация / Под ред.: М. Н. В. Прасад, К. С. Саджван, Р. Найду; пер. Д. И. Башмаков, А. С. Лакутин. – М.: Физматлит, 2009. – 816с.
5. Анспок, П. И. Микроудобрения. Справочник / П. И. Анспок. – Ленинград: Агропромиздат, 1990. – 272 с.
6. Ягодин, Б. А. Агрохимия: учебн. для студент, высш. учебн. заведений для агроном, спец. / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко. – М.: Колос, 2002. – 584 с.
7. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 293 с.
8. Эффективность некорневых подкормок жидкими микроудобрениями МикроСтим при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах / М. В. Рак [и др.]. – Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 1. – С. 180–192.
9. Агрохимия – Практикум: учебное пособие для высш. учеб. завед. / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша, С. П. Кукреш. – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 368с.
10. Методика определения агрономической и экономической эффективности удобрений и прогнозирования урожая с.-х. культур / И. М. Богдевич. [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

## THE EFFECTIVENESS APPLICATION OF SYSTEMS OF FERTILIZERS IN THE CULTIVATION OF RED CLOVER ON SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL

I. R. Vildflush, O. I. Mishura

### Summary

On sod-podzolic light loamy soil the application  $N_9P_{40}K_{60}$  and  $N_{16}P_{60}K_{90}$  in top dressing in the spring and after the harvesting the cover crop (barley) was equivalent and increased the yield of green mass at the dose of  $N_9P_{40}K_{60}$  69 and 87 kg/ha and the dose of  $N_{16}P_{60}K_{90}$  – on 171 and 181 kg/ha, respectively. The return of 1 kg of NPK kg of green mass of clover of application in the spring of  $N_{16}P_{60}K_{90}$  was 103,0 kg and after harvesting the cover crope 109,0 kg. Non-root dressing in spring with boron and molybdenum on the background of  $N_{16}P_{60}K_{90}$  to the increase in the yield of green clover mass by 60 c/ha (from 835 to 895 c/ha), the provision of feed unit with digestible protein by 9,9 g ( from 146 to 155,9 g). The use of  $N_{16}P_{60}K_{90}$  in top dressing in the spring and after the harvesting the cover crop provided a higher net income (131,9 and 153,5 USD/ha) with a profitability of 44.6 and 51,3 %, respectively.

Поступила 05.12.18

## ОБМЕННЫЙ КАЛЬЦИЙ ПОЧВЫ И НАКОПЛЕНИЕ $^{90}\text{Sr}$ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ

Ю. В. Путятин

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

### ВВЕДЕНИЕ

Среди физико-химических свойств почв, влияющих на накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растениях, нужно отметить механический состав, емкость поглощения и состав катионов, концентрацию обменного калия и кальция, минералогический состав и другие факторы внешней среды [2, 11, 12, 14, 15]. Физико-химическое состояние радионуклидов в почве и, в первую очередь, количество их мобильных форм являются определяющим фактором в процессах миграции радиоцезия и радиостронция в почвенном профиле и по биологическим цепочкам.  $^{90}\text{Sr}$  сорбируется твердой фазой почвы значительно слабее, чем  $^{137}\text{Cs}$  [7]. По сравнению с  $^{137}\text{Cs}$ , у которого доля фиксированной фракции составляет 83–98 % от валового содержания в почве, содержание  $^{90}\text{Sr}$  в прочносвязанной форме не превышает 7–12 % [3]. Высокая степень подвижности  $^{90}\text{Sr}$  в почве определяет высокие коэффициенты перехода радиоизотопа из почвы в растения, которые в среднем на порядок выше, чем у  $^{137}\text{Cs}$  [9]. По энергии адсорбируемости атомы Sr в лиотропном ряду занимают промежуточное место между  $\text{Ba}^{2+}$  и  $\text{Ca}^{2+}$  и, соответственно, энергия сорбции атомов  $^{90}\text{Sr}$  и Ca почвенными коллоидами (анионами кристаллической решетки глинистых минералов и органическими соединениями) неодинакова [8]. Корневое поглощение радионуклидов из почвенного раствора является процессом, контролируемым физиологией растения.

Из многих показателей почвы, влияющих на размеры поступления  $^{90}\text{Sr}$  в растения, наиболее важным является её обеспеченность обменным кальцием, который, как известно, по своим химическим свойствам весьма близок к радиоактивному стронцию [5].

Транспорт Ca осуществляется преимущественно в апопласте путем свободной диффузии, ускоряемой транспирацией, в объеме клеточной стенки, где часть ионов находится в растворе, идентичном внешнему почвенному раствору [16]. Sr и Ca переходят в корень по одинаковым путям, причем при переходе в симпласт доля неспецифической ионной утечки существенно превалирует над селективными каналами и существенную роль играет связывание  $^{90}\text{Sr}$  (аналогично Ca) в цитоплазматической части симпласта [10].

Особенно сильными накопительными свойствами обладают клеточные оболочки. По данным Матусова Г.Д. и др., коэффициент накопления  $^{137}\text{Cs}$  оболочками клеток в зависимости от условий эксперимента изменялся от 67 до 265. Коэффициент накопления  $^{90}\text{Sr}$  при всех условиях превышал 3000. Такие высокие значения коэффициентов накопления клеточной стенкой, вероятно, являются следствием отрицательного заряда, имеющегося на оболочках растительных клеток. Этот отрицательный заряд, очевидно, способствует адсорбции положительно заряжен-

ных ионов этих веществ на клеточной стенке и дальнейшему их прохождению внутрь клетки [6].

На загрязненных радионуклидами землях используются повышенные дозы известковых удобрений для доведения реакции почвенной среды до оптимального уровня и насыщения почвенно-поглощающего комплекса кальцием. Несмотря на определенную зависимость между рН и обменным кальцием, почвы, имеющие одинаковую кислотность, могут существенно отличаться по содержанию обменного кальция и, соответственно, иметь различные коэффициенты перехода  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в растения. Основные массивы почв, загрязненных Чернобыльскими выпадениями, находятся в Гомельской и Могилевской областях Республики Беларусь, где средневзвешенное содержание обменного кальция в пересчете на элемент в пахотных почвах составляет 750 и 690 мг/кг, доля пахотных почв с низкой обеспеченностью этим элементом составляет 28,3 и 27,6 % соответственно [1].

Цель наших исследований заключалась в определении параметров содержания обменного кальция в дерново-подзолистой почве, обеспечивающих минимум накопления  $^{90}\text{Sr}$  сельскохозяйственными растениями.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Методы отбора проб.** Маршрутные исследования проводились путем отбора проб растительных образцов кукурузы в фазу молочно-восковой спелости и сопряженных почвенных образцов в производственных посевах Хойникского и Брагинского районов Гомельской области методом учетных площадок на дерново-подзолистых супесчаных почвах. Почвенные образцы отбирались из пахотного слоя (0–20 см).

Агрохимическая характеристика почв: содержание гумуса – от 2,5 до 3,2 %, рН 5,8–7,0, содержание подвижных форм  $\text{P}_2\text{O}_5$  – от 220 до 290 мг/кг и  $\text{K}_2\text{O}$  – от 210 до 280 мг/кг. Выборка была представлена образцами почвы с содержанием обменного кальция от 400 до 1700 мг/кг.

Все данные по удельной активности растительных образцов (Бк/кг) пересчитывались на стандартную влажность, для зерна – 14 %, семян рапса – 9 %, сена – 16 %, зеленой массы – 82 % и картофеля – 80 %.

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

**Методы определения  $^{90}\text{Sr}$ .** Содержание  $^{90}\text{Sr}$  оценивали по дочернему продукту распада  $^{90}\text{Y}$  после проведения радиохимической очистки от мешающих радионуклидов оксалатным методом с последующим измерением на пластиковом сцинтилляционном детекторе спектрометра-радиометра «Прогресс-БГ». Выход носителя иттрия определяли гравиметрическим методом, выход носителя стронция – на атомно-абсорбционном спектрофотометре [12]. Статистическая погрешность измерений не превышала 15 %.

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

$$K_p = \frac{A_p}{A_s}, \quad (1)$$

где  $A_p$  – удельная активность радионуклида в растении (Бк  $\text{кг}^{-1}$ );  $A_s$  – плотность загрязнения почвы радионуклидом (кБк  $\text{м}^{-2}$ ).

Значения агрохимических свойств почв, при которых наблюдается минимальное накопление  $^{90}\text{Sr}$ , рассчитывались на основе квадратичной функции распределения путем деления коэффициента пропорциональности первого порядка на удвоенное значение коэффициента второго порядка. Для математической обработки экспериментального материала использовали регрессионный, корреляционный и методы описательной статистики с использованием программного обеспечения MS Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на то что химический состав растений контролируется генетически, уровень минерального питания оказывает существенное влияние на химический состав продукции растениеводства. При этом более значительные изменения химического состава от условий питания характерны для вегетативных органов, нежели для репродуктивных. Корреляционный анализ показал достаточно тесную отрицательную взаимосвязь ( $r$ ) между содержанием обменного кальция в дерново-подзолистой супесчаной почве и коэффициентами перехода ( $K_p$ )  $^{90}\text{Sr}$  в растениеводческую продукцию. Для зерновых культур данный показатель составил от  $-38$  до  $-0,69$ , бобовых культур – от  $-0,62$  до  $-0,79$ , рапса –  $-0,56$  и картофеля –  $-0,64$ . (табл. 1).

Таблица 1

**Коэффициенты корреляции ( $r$ ) между агрохимическими показателями дерново-подзолистой супесчаной почвы и коэффициентами перехода ( $K_p$ )  $^{90}\text{Sr}$  в продукцию растениеводства**

Культура	Продукция	Выборка	$r$
Озимая рожь	зерно	33	$-0,69$
Пшеница	зерно	32	$-0,44$
Ячмень	зерно	22	$-0,38$
Рапс	семена	26	$-0,56$
Картофель	клубни	31	$-0,64$
Кукуруза	зеленая масса	117	$-0,73$
Тимофеевка луговая	сено	48	$-0,56$
Люпин	зерно	23	$-0,62$
Клевер луговой	сено	45	$-0,79$
Люцерна	сено	24	$-0,62$
Донник белый	сено	32	$-0,52$

Согласно грациям по содержанию обменного кальция в пересчете на элемент минеральные почвы Беларуси подразделяются на очень низкообеспеченные

(менее 285 мг/кг), низкообеспеченные (286–570 мг/кг), среднеобеспеченные (571–850 мг/кг), с повышенным содержанием (851–1140 мг/кг), высокообеспеченные (1141–1420 мг/кг) и очень высокообеспеченные (более 1420 мг/кг) [4].

По данным проведенных стационарных опытов установлено, что в среднем в звене севооборота за счет увеличения содержания обменного кальция в почве с низкого (500 мг/кг) до среднего (850 мг/кг) урожай вырос в среднем на 8 %, содержание  $^{137}\text{Cs}$  снизилось на 22 %,  $^{90}\text{Sr}$  – на 25 %. Дальнейшее повышение содержания обменного кальция в почве (до 1150 мг/кг) было менее эффективным: урожай вырос только на 2 %, переход радионуклидов уменьшился на 7 %  $^{137}\text{Cs}$  и на 14 % по  $^{90}\text{Sr}$ . В зерне яровой пшеницы и ячменя при увеличении содержания обменного кальция в почве с 500 мг/кг до 850 мг/кг содержание  $^{90}\text{Sr}$  снизилось в среднем на 23 %, с 850 до 1150 мг/кг – на 14 %;  $^{137}\text{Cs}$  – на 19 % и 2 % соответственно [17, 18].

По результатам анализа растительных и сопряженных почвенных образцов, отобранных в производственных посевах, рассчитаны параболические зависимости между содержанием обменного кальция в почве и величиной накопления радионуклидов урожаем. На основании уравнений, полученных при квадратичной аппроксимации, рассчитано содержание обменного Ca, при котором отмечено минимальное накопление  $^{90}\text{Sr}$  растениеводческой продукцией. Содержание обменного Ca, при котором отмечено минимальное накопление  $^{90}\text{Sr}$  зерновыми культурами (озимая рожь, яровая пшеница, ячмень) находится в пределах 1300–1400 мг/кг ( $R^2 = 0,44–0,55$ ).

Выращивание технических культур, например рапса, в зоне радиоактивного загрязнения является экологически и экономически оправданной контрмерой. Рапс – культура, требовательная к почвенным условиям, предпочитает слабокислые почвы. Анализ данных, полученных в результате проведения исследований, показал, что накопление радионуклидов в семенах рапса имеет достаточно высокую зависимость от содержания обменного кальция в почве. Согласно расчетам, минимальное накопление радиостронция семенами ярового рапса отмечалось при содержании обменного Ca на уровне 1195 мг/кг ( $R^2 = 0,68$ ) (табл. 2).

В зоне радиоактивного загрязнения белорусского Полесья доля кукурузы в посевах достигает 25–30 %. Анализ данных показал, что минимальные переходы  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу кукурузы отмечаются при содержании обменного кальция в почве – 1236 мг/кг ( $R^2 = 0,72$ ).

Таблица 2

**Содержание обменного кальция в дерново-подзолистой супесчаной почве, при котором наблюдается минимальное накопление  $^{90}\text{Sr}$  сельскохозяйственными растениями**

Культура	Продукция	Выборка	$R^2$	Обменный Ca*, мг/кг почвы	Вынос Ca с 1 ц основной продукции (в пересчете на а.с.вещество) [19]
Озимая рожь	зерно	33	0,55	1400	0,34
Пшеница яровая	зерно	32	0,51	1379	0,26
Ячмень	зерно	22	0,44	1300	0,25
Рапс	семена	26	0,68	1195	0,41

Культура	Продукция	Выборка	R <sup>2</sup>	Обменный Са*, мг/кг почвы	Вынос Са с 1 ц основной продукции (в пересчете на а.с.вещество) [19]
Картофель	клубни	31	0,76	1260	0,79
Кукуруза	зеленая масса	117	0,72	1236	0,21
Тимофеевка луговая	сено	48	0,39	980	0,35
Люпин	зерно	23	0,70	826	1,60
Клевер луговой	сено	45	0,77	1229	1,62
Люцерна	сено	24	0,47	1502	1,62
Донник белый	сено	32	0,62	926	1,62

\* Содержание Са в почве, при котором отмечено минимальное накопление <sup>137</sup>Cs.

Бобовые культуры на единицу сухого вещества содержат кальция в среднем в 4 раза больше, чем зерновые [19], что определяет высокие размеры выноса его химического аналога <sup>90</sup>Sr. Коэффициент перехода <sup>90</sup>Sr в зерно гороха в среднем в 1,3 раза, в зерно люпина – в 2,3 раза выше, чем в зерно ячменя. Зеленая масса клевера накапливает <sup>90</sup>Sr в 3 раза больше, чем многолетние злаковые травы [9]. Согласно нашим исследованиям минимальное накопление радиостронция зерном люпина отмечалось при содержании обменного Са на уровне 826 мг/кг (R<sup>2</sup> = 0,70), люцерной – 1502 (R<sup>2</sup> = 0,47), донником белым – 926 (R<sup>2</sup> = 0,62) (табл. 2, рис. 1).

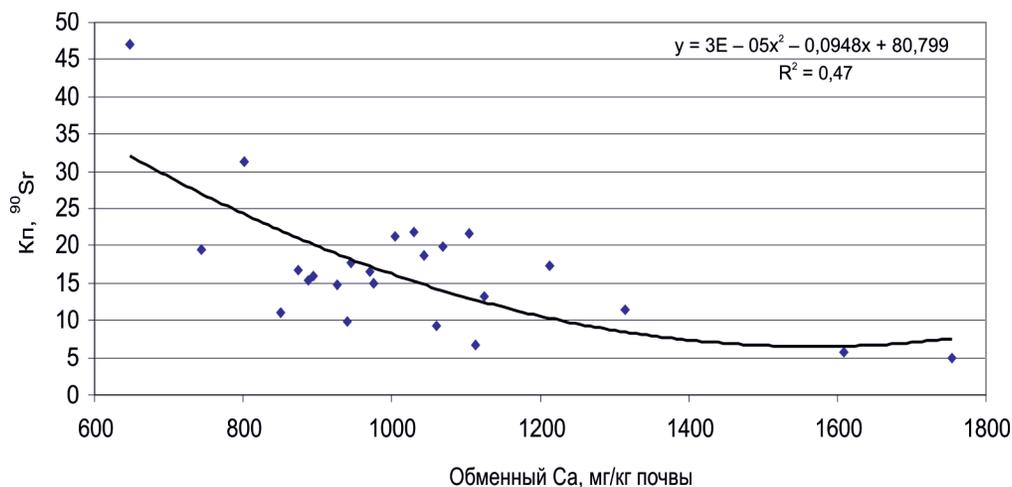


Рис. 1. Коэффициенты перехода <sup>90</sup>Sr в сухое вещество зеленой массы люцерны в зависимости от содержания обменного кальция в дерново-подзолистой супесчаной почве

Клевер для нормального роста и развития требует слабокислой или нейтральной реакции среды. Минимальное накопление <sup>90</sup>Sr зеленой массой клевера отмечено при содержании обменного Са на уровне 1229 мг/кг (R<sup>2</sup> = 0,77).

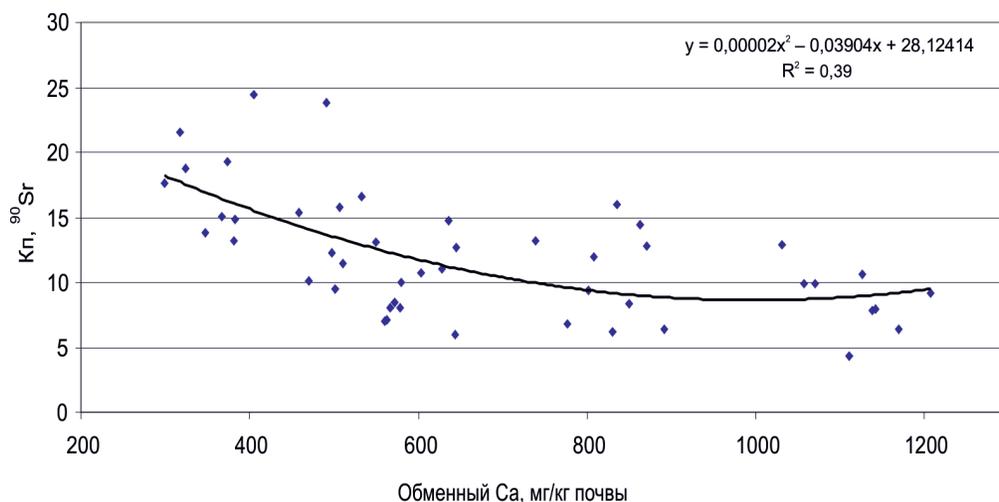


Рис. 2. Коэффициенты перехода  $^{90}\text{Sr}$  в сено тимофеевки луговой в зависимости от содержания обменного кальция в дерново-подзолистой супесчаной почве

Многолетние злаковые травы менее требовательны к почвенным условиям. Тимофеевка является одной из самых распространенных многолетних злаковых трав в республике. Минимум накопления  $^{90}\text{Sr}$  тимофеевкой луговой отмечается при содержании обменного кальция на уровне 980 мг/кг почвы ( $R^2 = 0,39$ ).

Картофель является одной из основных продовольственных культур, по данным Белстата Республики Беларусь, среднегодовое его потребление на душу населения составляет 170–180 кг. Установлено, что минимум накопления  $^{90}\text{Sr}$  клубнями соответствует содержанию обменного кальция – 1260 мг/кг почвы ( $R^2 = 0,76$ ).

При обработке данных полевых и радиохимических исследований методом описательной статистики, проведенной с 11 исследуемыми культурами, установлено, что среднее значение обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы обменным кальцием, при котором наблюдается минимальное накопление радиостронция составляет 1200 мг/кг почвы, с учетом величины стандартного отклонения интервал данного показателя находится в пределах 990–1410 мг/кг. По данным последнего тура обследования, в Гомельской и Могилевской областях Республики Беларусь доля пахотных почв с обеспеченностью обменным кальцием IV, V и VI групп (более 860 мг/кг в пересчете на элемент) составляет 33,3 и 19,2 % соответственно [1].

## ВЫВОДЫ

1. В результате обработки данных, полученных в маршрутных исследованиях, проведенных на дерново-подзолистых супесчаных почвах, загрязненных радионуклидами, установлена достаточно тесная отрицательная связь между содержанием в почве обменного кальция и накоплением  $^{90}\text{Sr}$  сельскохозяйственными культурами.

2. Эффективность насыщения почвы кальцием в дискриминации  $^{90}\text{Sr}$  значительно выше на почвах с низкой обеспеченностью данным элементом питания растений.

3. Минимум биологической доступности  $^{90}\text{Sr}$  для зерновых культур отмечен при содержании обменного кальция 1300–1400 мг/кг почвы, рапса – 1195, кукурузы – 1236, тимофеевки луговой – 980, клевера лугового – 1229, люцерны – 1502 и картофеля – 1260 мг/кг почвы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

2. *Алексахин, Р. М.* Поведение  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва-растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожае / Р. М. Алексахин, И. Т. Моисеев, Ф. А. Тихомиров // Агрохимия. – 1992. – № 8. – С. 127–137.

3. Ликвидация последствий Чернобыльской аварии в АПК Белоруссии / Г. В. Василюк [и др.] // Агрохимический Вестник. – 2001. – №3. – С. 12–16.

4. Агрохимические регламенты для повышения плодородия почв и эффективного использования удобрений / В. В. Лапа [и др.]: учеб. пособие. – Горки: БГСХА, 2002. – 48 с.

5. *Левина, Э. М.* Влияние почвообразующих минералов, удобрений и некоторых химических соединений на накопление  $^{90}\text{Sr}$  в урожае растений: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Э. М. Левина. – М., 1979. – 18 с.

6. *Матусов, Г. Д.* Закономерности накопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  растительной клеткой / Г. Д. Матусов, Н. Н., Кудряшова, А. П. Кудряшов // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях: тез. док. – М., 2000. – С. 451.

7. *Москалев, Ю. И.* Распределение, биологическое действие и миграция радиоактивных изотопов / Ю. И. Москалев, В. Н. Стрельцова. – М., 1961. – 172 с.

8. *Поляков, Ю. А.* Радиоэкология и дезактивация почв / Ю. А. Поляков. – М.: Атомиздат, 1970. – 304 с.

9. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь; под ред. И.М. Богдевича. – Минск, 2003. – 72 с.

10. *Соколик, А. И.* Действие почвенных факторов на механизмы переноса радионуклидов в системе почва-растение / А. И. Соколик, Д. А. Федорович // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях: науч. труды. – СПб.: Гидрометеоздат, 2000. – С. 124–130.

11. *Юдинцева, Е. В.* Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия / Е. В. Юдинцева, И. В. Гулякин. – М., 1968. – 472 с.

12. *Clifton, J.* Relationships between radionuclide content and textural properties in Irish sea intertidal sediments / J. Clifton, P. McDonald, A. Plater, F. Oldfield // Water, Air and Soil Pollution. – 1997. – V. 99. – P. 209–216.

13. International Atomic Energy Agency. Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency. IAEA-TECDOC-1092. – Vienna, 1999. – 307 p.

14. Behaviour of radionuclides in meadows and efficiency of countermeasures / N. I. Sanzharova [et al.] // Radiation Protection Dosimetry. – 1996. – Vol. 64, № 1/2. – P. 43–48.

15. *Twining, J. R.* Soil-water distribution coefficients and plant transfer factors for  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$  and  $^{65}\text{Zn}$  under field conditions in tropical Australia / J. R. Twining, T. E. Payne, T. Itakura // Journal of Environmental Radioactivity. – 2004. – V. 71, Issue 1. – P. 71–87.

16. *White, P. J.* The pathways of calcium movement to the xylem / P. J. White // *Journal of Experimental Botany*. – 2001. – V. 52, № 358. – p. 891–899.

17. *Путятин, Ю. В.* Агроэкологические оптимумы насыщенности кальцием почв, загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  // Ю. В. Путятин, Т. М. Серая – Почвоведение. – 2007. – № 1. – С. 106–112.

18. *Путятин, Ю. В.* Минимизация поступления радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растениеводческую продукцию: монография / Ю. В. Путятин. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 255 с.

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

## EXCHANGEABLE CALCIUM OF SOIL AND $^{90}\text{Sr}$ ACCUMULATION BY CROPS

Y. V. Putyatin

### Summary

In the field experiments conducted on sod-podzolic loamy sand soil (Podzoluvisol) close negative correlations have been found between exchange calcium contents in the soil and  $^{90}\text{Sr}$  accumulation by plants. The efficiency of soil saturation by calcium in discrimination of  $^{90}\text{Sr}$  is much higher on soils with low Ca status. The minimum of bioavailability of  $^{90}\text{Sr}$  was observed at the content of exchange calcium for grain crops at 1300–1400 ppm of soil, rapeseed – 1195, corn – 1236, timothy grass – 980, clover – 1229, alfalfa – 1502 and potato – 1260 ppm of soil.

*Поступила 28.11.18*

УДК 631.445.2:633.15:632.118.3

## ВЛИЯНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ НА НАКОПЛЕНИЕ $^{137}\text{Cs}$ ЗЕЛЕННОЙ МАССОЙ КУКУРУЗЫ

Ю. В. Путятин, И. М. Богдевич, Н В. Сидорейко

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

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в республике ведущей кормовой культурой стала кукуруза, возделываемая на зерно и силос. Под кукурузу теперь отводится около 1 млн га, или до 18 % посевной площади. В зоне радиоактивного загрязнения белорусского Полесья доля кукурузы в посевах ещё выше и достигает 25–30 %.

Для производства нормативно-чистой продукции растениеводства в загрязнённых районах Беларуси на протяжении многих лет обеспечивается достаточно

высокий уровень проведения защитных мероприятий (соответствующий практически 100 % от потребности), в том числе: известкование кислых почв, внесение повышенных доз фосфорных и калийных удобрений. Применение агрохимических конгрмер дало не только положительный эффект – снижение содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции, но и повысило плодородие загрязненных почв. Средневзвешенные значения рН загрязненных пахотных почв в настоящее время превышают доаварийные показатели на 0,27 единиц по Гомельской области и на 0,40 по Могилевской. В ряду районов доля почв с реакцией близкой к нейтральной ( $pH_{(KCl)} > 6,5$ ) достигает 41 %. Средневзвешенное содержание подвижных форм калия в пахотных почвах, загрязненных радионуклидами, за послеаварийный период повысилось в Гомельской, Могилевской и Брестской областях на 64, 36 и 23 мг  $K_2O$ /кг почвы соответственно. Аналогичная ситуация наблюдается с обеспеченностью загрязненных почв подвижными фосфатами, содержание которых возросло в Гомельской и Могилевской областях на 57 и 29 мг  $P_2O_5$  на кг почвы соответственно. Вместе с тем наблюдаются и существенные различия в обеспеченности фосфором и калием, степени кислотности почв по полям севооборотов и рабочим участкам [1, 2]. В настоящее время остается открытым вопрос об оптимальных уровнях агрохимических характеристик почв, которые, с одной стороны, соответствовали бы максимальной агрономической эффективности при возделывании сельскохозяйственных культур, а с другой – способствовали наименьшему накоплению радионуклидов в растениях. Кроме того, нерациональное применение удобрений приводит к увеличению себестоимости продукции и снижению рентабельности производства. В связи с этим в условиях радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных земель на первый план ставится задача оптимизации защитных мероприятий на основе учета всей совокупности агрохимических, радиологических и экономических факторов.

Цель исследований – установить количественные параметры зависимости накопления  $^{137}Cs$  в зелёной массе кукурузы от агрохимических свойств дерново-подзолистых супесчаных почв.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Маршрутные исследования проводили в 2014–2016 гг. путём отбора проб зелёной массы кукурузы в фазу молочно-восковой спелости зерна и сопряжённых образцов почв в производственных посевах Хойникского и Брагинского районов Гомельской области методом учетных площадок на дерново-подзолистых супесчаных почвах. Почвенные образцы отбирали из пахотного слоя (0–20 см). Все измерения удельной активности  $^{137}Cs$  в растительных образцах (Бк/кг) пересчитывали на стандартную влажность 75 %.

Агрохимические показатели почв определяли по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (0,4 н  $K_2Cr_2O_7$  – ГОСТ 26213-91), обменную кислотность –  $pH_{(KCl)}$  потенциометрическим методом (1 М KCl – ГОСТ 26483-85), содержание подвижных форм фосфора и калия – по Кирсанову (0,2 М HCl – ГОСТ 26207-91), обменных форм кальция и магния – на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS-30 (1 М KCl – ГОСТ 26487-85).

Измерения удельной активности  $^{137}Cs$  в растительных и почвенных образцах проводили в соответствии с методами испытаний МИ 2143-91 «Государственная

система обеспечения единства измерений. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре», утвержденными 28.12.1990 г. Линия гамма-излучения  $^{137}\text{Cs}$  соответствовала 661,66 кэВ. Ошибка измерений не превышала 5–7 %. Для измерений использовался гамма-спектрометр ORTEC с германиевым детектором GEM-C5970P4 и разрешением на линии 1332 кэВ – 1,79 кэВ. Геометрия измерений – сосуд Маринелли емкостью 1 л.

Коэффициенты перехода ( $K_p$ ) радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в растения рассчитывались по формуле

$$K_p = \frac{A_p}{A_s}, \quad (1)$$

где  $A_p$  – удельная активность радионуклида в растении, (Бк/кг);  $A_s$  – плотность загрязнения почвы радионуклидом, (кБк/м<sup>2</sup>).

Значения агрохимических свойств почв, при которых наблюдается минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$ , рассчитывали на основе квадратичной функции распределения путем деления коэффициента пропорциональности первого порядка на удвоенное значение коэффициента второго порядка. Для математической обработки экспериментального материала использовали регрессионный, корреляционный и методы описательной статистики с использованием программ MS Excel, STATISTICA Program, StatSoft Inc. (2001).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В Беларуси вегетационные периоды с показателями ГТК (гидротермический коэффициент – условный показатель увлажнения по Селянинову) характеризуются: от 0,2 до 0,4 – сухие; от 0,4 до 0,7 – очень засушливые; от 0,7 до 1,0 – засушливые, от 1,0 до 1,3 – слабозасушливые, 1,3–1,6 – оптимальные, а больше 1,6 – влажные [3]. Погодные условия в годы исследований можно охарактеризовать как засушливые. ГТК по данным Брагинской метеостанции составили в 2014 г. – 1,0; в 2015 г. – 0,7 и в 2016 г. – 1,0. Усредненные коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу кукурузы в 2014 г. составили 0,0122 (медиана – 0,0111), в 2015 г. – 0,0063 (медиана – 0,0060) и в 2016 г. – 0,0076 (медиана – 0,0053). Вегетационный период 2015 г. характеризовался меньшим количеством осадков по сравнению с 2014 г., что в некоторой степени вызвало пониженное накопление  $^{137}\text{Cs}$  растениями кукурузы в 2015 г.

Несмотря на то что химический состав растений контролируется генетически, уровень минерального питания оказывает существенное влияние на химический состав продукции растениеводства. При этом более значительные изменения химического состава от условий питания характерны для вегетативных органов, нежели для репродуктивных. Корреляционный анализ показал достаточно тесную отрицательную взаимосвязь ( $r$ ) между агрохимическими показателями дерново-подзолистой супесчаной почвы и коэффициентами перехода ( $K_p$ )  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу кукурузы. В среднем за 3 года, наиболее тесная отрицательная взаимосвязь  $K_p$   $^{137}\text{Cs}$  была отмечена с содержанием в почве подвижного калия ( $r = -0,57$ ), обменного магния ( $r = -0,54$ ) и гумуса ( $r = -0,52$ ) (табл. 1).

Таблица 1

**Коэффициенты корреляции (*r*) между агрохимическими показателями дерново-подзолистой супесчаной почвы и коэффициентами перехода (*K<sub>p</sub>*) <sup>137</sup>Cs в зеленую массу кукурузы (2014–2016 гг.)**

Год	n	Гумус, %	рН <sub>(КС1)</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg
				Подвижный		Обменный	
				мг/кг почвы			
<i>r</i>							
2014	59	-0,35	-0,21	-0,15	-0,46	-0,09	-0,43
2015	29	-0,58	-0,50	-0,23	-0,66	-0,47	-0,62
2016	29	-0,63	-0,29	-0,43	-0,59	-0,41	-0,56

Важным показателем, определяющим миграционную способность радионуклидов, является содержание в почвенном компоненте органического вещества. Органическое вещество почвы способно образовывать сложные комплексные соединения с поллютантами, поэтому в почвах с высоким содержанием гумуса они менее доступны для растений. Гумус объединяет огромный комплекс или группу химических веществ, в состав которых входит как органическая часть (гуминовые и фульвокислоты), так и неорганическая составляющая – химические элементы неорганического происхождения. Органическая часть гумуса – гуминовые кислоты, которые обладают высокой сорбционной емкостью по отношению к рудным элементам, а также изотопным носителям долгоживущих радионуклидов: 1 г гуминовых кислот сорбирует 30 мг цезия, 18 мг стронция. В связи с этим гуминовые кислоты выступают как эффективный геохимический барьер, ограничивающий подвижность ионов радионуклидов [4].

В наших исследованиях зависимость перехода <sup>137</sup>Cs в зеленую массу кукурузы от содержания гумуса в почве удовлетворительно описывалась вогнутой параболой второго порядка ( $R^2 = 0,30-0,77$ ). Содержание гумуса, при котором отмечено минимальное накопление <sup>137</sup>Cs, составило 3,1 % и находилось в пределах 2,8–3,5 %. Наиболее заметное снижение поступления <sup>137</sup>Cs наблюдается до 2,8 % (табл. 2, рис. 1). Полученное среднее значение несколько выше верхнего уровня диапазона оптимального содержания гумуса для дерново-подзолистых связносупесчаных почв, который установлен в пределах 2,4–2,8 % [1]. По данным последнего тура обследования, доля пахотных почв с содержанием гумуса более 3 % в наиболее пострадавших районах составляет 18,1, 24,4 и 14,0 % в Брагинском, Наровлянском и Хойникском районах соответственно [1].

Таблица 2

**Параметры агрохимических показателей дерново-подзолистых супесчаных почв, обеспечивающие минимальное поступление <sup>137</sup>Cs (*K<sub>p</sub>*) в зеленую массу кукурузы**

Агрохимический показатель	Значение минимума		Величина аппроксимации ( $R^2$ ) <i>K<sub>p</sub></i> <sup>137</sup> Cs и агрохимических показателей	
	среднее	интервал	среднее	интервал
Гумус, %	3,1	2,8–3,5	0,49	0,30–0,77
рН <sub>(КС1)</sub>	6,3	6,1–6,5	0,32	0,30–0,35
K <sub>2</sub> O, мг/кг почвы	436	385–462	0,53	0,41–0,64
Mg, мг/кг почвы	244	197–302	0,40	0,27–0,48

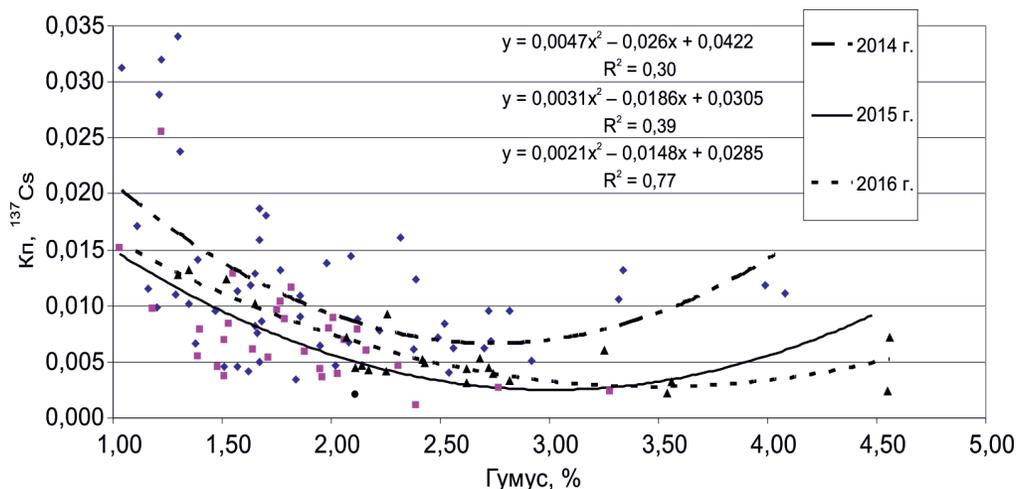


Рис. 1. Коэффициенты перехода ( $K_p$ )  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу кукурузы в зависимости от содержания гумуса в дерново-подзолистых супесчаных почвах

При нейтрализации кислотности почв и повышении показателя pH, радионуклиды могут переходить из ионной формы в различные гидролизные комплексные соединения, что снижает их доступность для растений. Кислотность оказывает и косвенное влияние на сорбцию почвами радионуклидов, изменяя емкость катионного обмена [5, 6]. Оптимальные параметры показателя pH для основных культур, возделываемых на дерново-подзолистых связносупесчаных почвах Беларуси, установлены в интервале 5,8–6,5 [1]. В наших исследованиях минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  зеленой массой кукурузы имело место при значении pH, которое, в среднем за три года, составило 6,3 и варьировало в пределах 6,1–6,5. Однако заметное снижение поступления  $^{137}\text{Cs}$  в растения кукурузы наблюдается при нейтрализации кислотности от сильнокислого интервала до pH 6,0 (рис. 2, табл. 2). Рассчитано, что увеличение  $\text{pH}_{(\text{KCl})}$  почвы на 0,1 единицы в интервале 5,0–6,0 вызывает уменьшение накопления  $^{137}\text{Cs}$  кукурузой на 5 %. По данным последнего тура обследования доля пахотных почв с pH более 6,0 в наиболее пострадавших районах составляет в Брагинском, Наровлянском и Хойникском районах 48, 43 и 52 % соответственно [1].

Экспериментально установлено на ряде культур, что абсолютное, минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растениеводческой продукции достигается при дальнейшем сдвиге реакции почв на 0,2–0,3 единицы pH в сторону щелочного диапазона [2]. Однако снижение накопления радионуклидов в растениях в нейтральном и щелочном диапазонах незначительно, им можно пренебречь. В нейтральном и щелочном диапазонах заметно снижается доступность растениям некоторых микроэлементов (Mn, Cu, Zn). Поэтому дозы извести на загрязненных радионуклидами почвах определены для достижения оптимальных диапазонов кислотности почв из расчета на максимальную урожайность возделываемых культур [7].

Применение калийных удобрений является одним из основных агрохимических приемов, ограничивающих поступление  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в растения в 1,5–3 раза [7–11]. По мнению ряда авторов [12–14], калийные удобрения снижают переход  $^{137}\text{Cs}$  за счет увеличения концентрации ионов калия в почвенном рас-

творе и антагонистического характера поведения ионов цезия и калия при поглощении их растениями. При этом эффективность агрохимических мероприятий может быть определена по степени снижения отношения  $^{137}\text{Cs}^+/\text{K}^+$  в почвенном растворе [15].

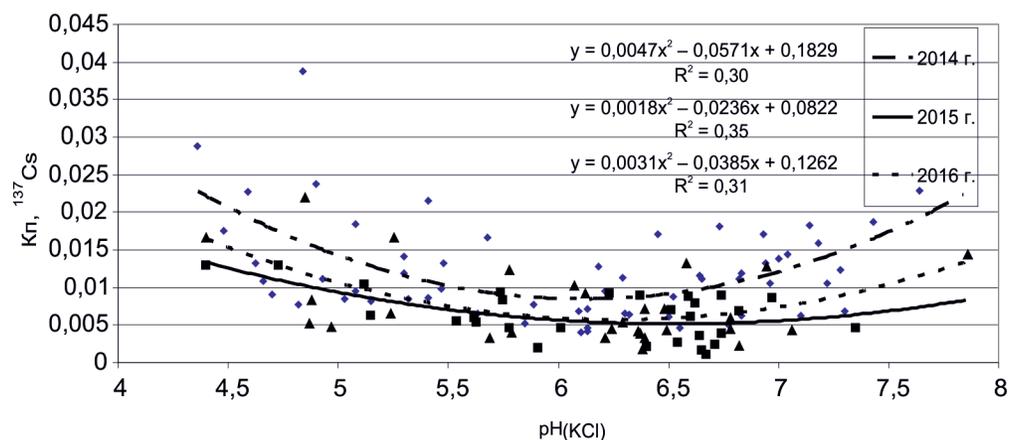


Рис. 2. Коэффициенты перехода ( $K_p$ )  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу кукурузы в зависимости от обменной кислотности дерново-подзолистых супесчаных почв

Максимальное воздействие калийных удобрений на переход  $^{137}\text{Cs}$  в растения наблюдается на малоплодородных, бедных элементами питания почвах, и с увеличением степени обеспеченности почв калием эффективность этого защитного мероприятия снижается [11, 12]. При этом уменьшение накопления  $^{137}\text{Cs}$  в растениях чаще всего происходит по гиперболической кривой, первая часть которой с увеличением в почве обменного калия представляет собой быструю компоненту снижения биологической аккумуляции  $^{137}\text{Cs}$ , а вторая, по мере насыщения ППК калием, характеризует процесс замедленного снижения накопления  $^{137}\text{Cs}$ .

В связи с этим на почвах, с оптимальным для растений содержанием калия, дополнительное внесение калийных удобрений оказывает менее значимое влияние на уменьшение накопления  $^{137}\text{Cs}$  в урожае сельскохозяйственных культур, что говорит о необходимости различного подхода к проведению защитных агрохимических мероприятий на почвах с различной степенью окультуренности. С практической точки зрения наибольший интерес представляет зона перехода быстрой компоненты снижения в замедленную, область расположения которой представляет собой минимально значимые оптимальные параметры содержания подвижных форм калия в минеральных почвах, подвергшихся радиоактивному загрязнению и достижение которых обладает наибольшей экономической и радиологической эффективностью. Кроме того, поддержание данных уровней содержания калия на радиоактивно загрязненных землях в наибольшей степени способствует предотвращению накопления  $^{137}\text{Cs}$  в продукции сельскохозяйственных культур [16].

Уровень обеспеченности почв мобильными формами питательных веществ в почве принадлежит к числу переменных величин, которые взаимодействуют по принципу обратной связи. В связи с чем оптимальный уровень содержания подвижных форм калия в почве будет варьировать в зависимости от культуры и от характеристик, определяющих ее плодородие [16–20].

Определение уровней оптимального содержания подвижных форм калия в почве представляет значительные методические трудности также из-за того, что способность растений использовать питательные элементы зависит не только от их запасов в корнеобитаемом слое почвы («фактор емкости»), но и от степени подвижности элементов в системе почва – раствор («фактор интенсивности»). При одинаковом запасе подвижных форм калия в почве доля непосредственно усвояемого калия из почв легкого гранулометрического состава существенно выше, чем из суглинистых разновидностей [17, 19].

В наших исследованиях минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  зеленой массой кукурузы отмечено при достаточно высоком содержании подвижного калия – 436 мг/кг и варьировало по годам в пределах 385–462 мг/кг почвы ( $R^2 = 0,41–0,64$ ), наиболее интенсивное снижение поступления радионуклида наблюдалось до 350 мг/кг (табл. 2, рис. 3). Данные показатели несколько превышают агрохимические оптимумы (250–300 мг  $\text{K}_2\text{O}$ /кг почвы), установленные для дерново-подзолистых связно-супесчаных почв [1]. По данным последнего тура обследования, доля пахотных почв с содержанием подвижного калия более 300 мг/кг в наиболее пострадавших районах составляет 32, 20 и 52 % в Брагинском, Наровлянском и Хойникском районах соответственно [1].

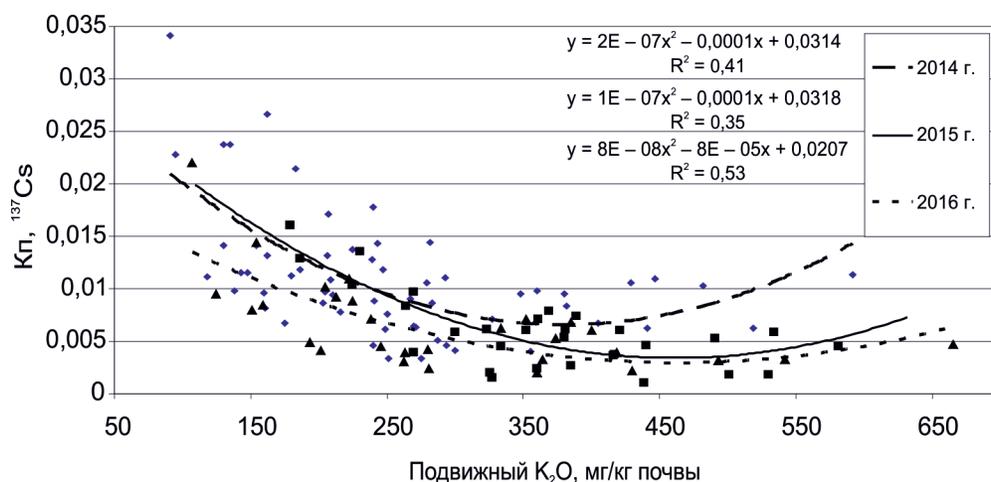


Рис. 3. Коэффициенты перехода ( $K_p$ )  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу кукурузы в зависимости от содержания подвижного калия в дерново-подзолистых супесчаных почвах

На радиоактивно загрязненных территориях оптимальные уровни содержания калия определяются не только с агрономической, но и радиологической точки зрения. При этом в ряде случаев при повышенной требовательности возделываемых культур к почвенному плодородию и разной степени подвижности  $^{137}\text{Cs}$  в почве эти параметры могут не совпадать по своим значениям, что определяет необходимость устанавливать в разных случаях минимально значимые агрохимические или радиологические параметры. Однако в настоящее время достижение минимального содержания  $^{137}\text{Cs}$  в зеленой массе кукурузы не имеет экономического смысла, т. к. кукуруза отличается сравнительно невысокими параметрами перехода цезия в продукцию. Так, при плотности загрязнения 1480 кБк/кг (40 Ки/км<sup>2</sup>) и содержании в дерново-подзолистой супесчаной почве подвижных форм калия

на уровне 250 мг К<sub>2</sub>O на кг почвы коэффициент перехода не превысит 0,01, а активность <sup>137</sup>Cs в зеленой массе кукурузы не будет выше 15 Бк/кг, при допустимой концентрации для кормления дойного стада 165 Бк/кг [7]. В данном случае следует ориентироваться на оптимальный диапазон содержания подвижных форм калия для получения высокой урожайности кукурузы – агрохимические оптимумы.

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 <sup>137</sup>Cs пострадавших районов, что является экономически не целесообразным при нормативе в 40 тыс. USD [22].

Положительная роль известкования многогранна и не сводится к изменению реакции почвы. Важный механизм влияния извести на рост растений состоит в изменении ионного состава и концентрации элементов питания в почвенном растворе и поглощающем комплексе. Нейтрализация кислотности доломитовой мукой сопровождается увеличением в почве содержания обменных форм магния, который, как и калий, в почвенном растворе может вступать в антагонизм с цезием при поглощении их растениями.

Наши исследования в производственных посевах кукурузы показали, что повышение содержания обменного магния в почве способствовало снижению содержания <sup>137</sup>Cs в урожае зеленой массы кукурузы. По результатам маршрутных исследований величина содержания обменного магния, при котором отмечается минимальное накопление <sup>137</sup>Cs кукурузой, составило 244 мг/кг и варьирует по годам в пределах 197–302 мг/кг в пересчете на Mg.

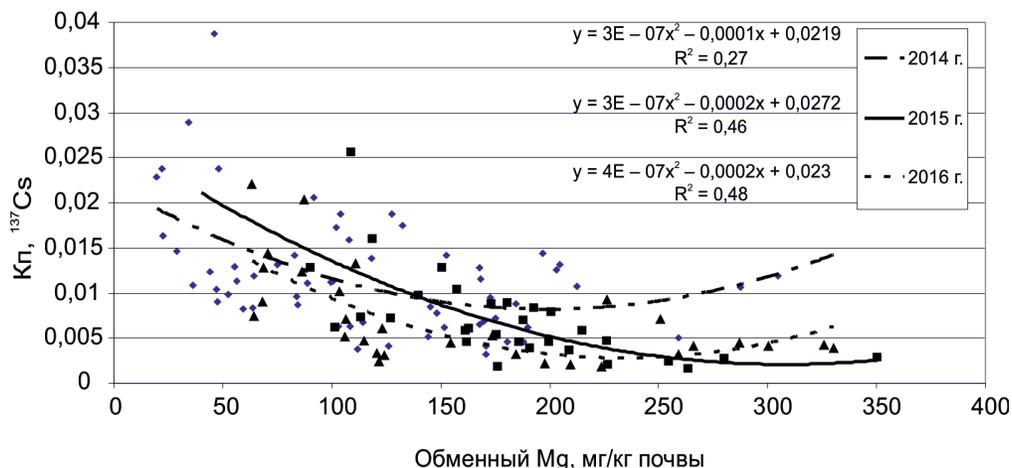


Рис. 4. Коэффициенты перехода (Кп) <sup>137</sup>Cs в зеленую массу кукурузы в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистых супесчаных почвах

Согласно действующим градациям по содержанию обменного магния (MgO) минеральные почвы Республики Беларусь подразделяются на очень низкообеспеченные (менее 60 мг/кг), низкообеспеченные (61–90 мг/кг), среднеобеспеченные (91–150 мг/кг), с повышенным содержанием (151–300 мг/кг), высокообеспеченные (301–450 мг/кг) и очень высокообеспеченные (более 450 мг/кг) [21]. Средняя величина агроэкологического оптимума содержания обменного магния, при котором

отмечается минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  кукурузой, соответствует высокообеспеченным почвам по данному элементу. По данным последнего тура обследования доля пахотных почв с содержанием обменного магния более 300 мг/кг почвы MgO в наиболее пострадавших районах составляет 26, 24,5 и 18 % в Брагинском, Наровлянском и Хойникском районах соответственно [1].

Таким образом, в качестве минимально значимых оптимальных уровней содержания калия в загрязненных минеральных почвах следует понимать некоторую зону, в пределах которой при прочих благоприятных факторах урожайность возделываемых культур и кратность снижения накопления  $^{137}\text{Cs}$ , достигнув наибольших величин, стабилизируется или изменяется в дальнейшем незначительно. Конкретное численное значение оптимума целесообразно устанавливать по его нижней и верхней границам отдельно для каждой групп почв и сельскохозяйственных культур.

## ВЫВОДЫ

1. В результате маршрутных исследований, проведенных на дерново-подзолистых супесчаных почвах, загрязненных радионуклидами, установлены пределы параметров агрохимических свойств почв, при которых обеспечивается минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  растениями. Минимум биологической доступности  $^{137}\text{Cs}$  для кукурузы, возделываемой на зеленую массу, отмечен при содержании гумуса 3,1 (2,8–3,5) %, подвижного калия – 436 (385–462) мг/кг, обменного магния – 244 (197–302) мг/кг и  $\text{pH}_{(\text{KCl})}$  6,3 (6,1–6,5).

2. Эффективность насыщения почвы органическим веществом, калием и магнием в дискриминации  $^{137}\text{Cs}$  значительно выше на почвах с низкой обеспеченностью данными элементами питания растений.

3. Определение интервалов агроэкологических оптимумов, в границах которых обеспеченность почв элементами питания не приводит к существенным изменениям в накоплении радионуклидов, позволяет более рационально подходить к программированию повышения плодородия почв, ставить конкретные цели применительно к каждому участку с учетом биологических особенностей растений и наиболее адекватно оценивать эколого-экономическую эффективность защитных агрохимических мероприятий в радиационно-стабильных условиях, характеризующихся прочностью фиксации радиоцезия и его низкими переходами в растения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

2. Путьтин, Ю. В. Минимизация поступления радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растениеводческую продукцию: монография / Ю. В. Путьтин – Минск, 2008. – 255 с.

3. Мельник, В. И. Агроклиматические ресурсы Белорусской ССР / В. И. Мельник, М. А. Гольберг. – Минск, 1985. – 450 с.

4. Смагин, А. И. Экология водоемов зоны техногенной радиационной аномалии на Южном Урале / А. И. Смагин. – Пермь, 2008. – 51 с.]

5. *Алексахин, Р. М.* Поведение  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва–растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожай / Р. М. Алексахин, И. Т. Моисеев, Ф. А. Тихомиров // *Агрохимия*. – 1992. – № 8. – С. 127–132.
6. *Анненков, Б. Н.* Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. Н. Анненков, Е. В. Юдинцева. – М.: Агропромиздат, 1991. – 287 с.].
7. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич [и др.]; под ред. И. М. Богдевича. – Минск, 2003. – 72 с.
8. Апробация технологий реабилитации сельскохозяйственных угодий с высокими уровнями радиоактивного загрязнения, временно выведенных из землепользования после аварии на ЧАЭС / И. Е. Титов [и др.] // *Радиация и риск*. – 2012. – Т. 21. – № 2. – С. 33–38.
9. Накопление  $^{137}\text{Cs}$  сельскохозяйственными культурами на песчаных и супесчаных почвах Белорусского Полесья под влиянием различных мелиорантов / Н. И. Санжарова [и др.] // *Сельскохозяйственная биология*. – 1996. – № 5. – С. 55–60.
10. Снижение накопления  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственных культурах под воздействием мелиорантов / В. К. Кузнецов [и др.] // *Агрохимия*. – 1995. – № 4. – С. 7–79.
11. *Юдинцева, Е. В.* О роли калия в доступности  $^{137}\text{Cs}$  растениям / Е. В. Юдинцева, Э. М. Левина // *Агрохимия*. – 1982. – № 4. – С. 75–83.
12. *Алексахин, Р. М.* Агрохимия  $^{137}\text{Cs}$  и его накопление сельскохозяйственными растениями / Р. М. Алексахин, И. Т. Моисеев, Ф. А. Тихомиров // *Агрохимия*. – 1977. – № 2. – С. 129–142.
13. *Моисеев, И. Т.* К вопросу о влиянии минеральных удобрений на доступность  $^{137}\text{Cs}$  из почвы сельскохозяйственным растениям / И. Т. Моисеев, Ф. А. Тихомиров, Л. А. Рерих // *Агрохимия*. – 1986. – № 2. – С. 89–94.
14. Quantitative analysis of radiocaesium retention in soils / A. Cremers [et al.] // *Nature*. – 1988. – Vol. 335. – P. 247–249.
15. *Nisbet, A. F.* Application of fertilisers and ameliorants to reduce soil to plant transfer of radiocaesium and radiostrontium in the medium to long term – a summary / A. F. Nisbet // *Sci. Total Environ.* – 1993. – № 137. – P. 173–182.
16. *Кузнецов, В. К.* Научные основы и системы мероприятий по реабилитации радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных территорий в адаптивно-ландшафтном земледелии: автореф. дис. ... д-ра. биол. наук: 03.01.01 / В. К. Кузнецов; ГНУ «ВНИИСХРАЭ». – Обнинск, 2014. – 51 с.
17. *Величко, В. А.* Оптимальные уровни содержания подвижного фосфора и обменного калия в дерново-подзолистой и серой лесной почвах центрального района Нечерноземной зоны России для основных полевых культур / В. А. Величко, В. А. Прошкин. – *Агрохимия*. – 1999. – № 12. – 359 с.
18. *Дерюгин, И. П.* Агрохимическое обоснование оптимальных параметров содержания в почве подвижных форм фосфора и калия и оптимизация доз фосфорных и калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах / И. П. Дерюгин, Н. А. Кирпичников, В. В. Прокошев // *Агрохимия*. – 1995. – № 2. – С. 3–11.
19. *Минеев, В. Г.* Агрохимические и экологические функции калия: монография / В. Г. Минеев. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 332 с.
20. Оптимальные параметры плодородия почв: монография / под ред. Т. Н. Кулаковской. – М.: Колос, 1984. – 271 с.
21. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: методические указания /

И. М. Богдевич [и др.]; под ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 48 с.

22. *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.

## **INFLUENCE OF AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOD-PODZOLIC SANDY SOIL ON THE ACCUMULATION $^{137}\text{CS}$ BY GREEN MASS OF CORN**

**Yu. V. Putyatin, I. M. Bogdevitch, N. V. Sidoreiko**

### **Summary**

The close negative nonlinear correlations have been found between indexes of soil fertility and  $^{137}\text{Cs}$  accumulation by corn in field experiments conducted on sod-podzolic sandy soils. The minimum bioavailability of  $^{137}\text{Cs}$  for corn cultivated for green mass was observed at the organic matter content of 3.1 (2.8–3.5) %, mobile potassium – 436 (385–462) ppm, exchange magnesium – 244 (197–302) ppm and pH(KCl) – 6.3 (6.1–6.5). The effectiveness of soil saturation with organic matter, potassium and magnesium in  $^{137}\text{Cs}$  discrimination is much higher on soils with low supply of these nutrients for plants.

*Поступила 21.11.18*

УДК 633.112.9:631.445.2:631.438

## **НАКОПЛЕНИЕ $^{137}\text{CS}$ МНОГОЛЕТНИМИ ЗЛАКОВЫМИ ТРАВАМИ НА ТОРФЯНИСТО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ**

**Н.Н. Цыбулько<sup>1</sup>, И.И. Жукова<sup>2</sup>, Е.Б. Евсеев<sup>3</sup>**

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

*<sup>2</sup>Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка,  
г. Минск, Беларусь*

*<sup>3</sup>Институт радиологии,  
г. Гомель, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Генетические особенности почв оказывают существенное влияние на процессы сорбции радионуклидов и интенсивность перехода их в растения. В зависимости от свойств почв содержание обменной формы радионуклидов варьирует от 9 до 40 % для  $^{137}\text{Cs}$  и от 64 до 93 % – для  $^{90}\text{Sr}$  [1].

На территории радиоактивного загрязнения в составе сельскохозяйственных земель значительный удельный вес занимают торфяные почвы. В настоящее время площади торфяных почв с разной мощностью торфа и деградированных торфяно-минеральных почв в наиболее загрязненных радионуклидами Гомельской, Могилевской и Брестской областях составляют около 500 тыс. га [2].

Органогенные почвы отличаются от минеральных более высоким поступлением радионуклидов в растения и являются критичными для получения нормально чистой сельскохозяйственной продукции. Высокие показатели миграции радионуклидов в растения на этих почвах обусловлены особенностями их морфологического и генетического строения, водно-физическими и агрохимическими свойствами. Из-за повышенной адсорбционной способности органического вещества и емкости катионного обмена, низкого отрицательного поверхностного заряда этих почв значительное количество веществ, в том числе и радионуклидов, удерживается в доступных для растений формах. Ведущим механизмом взаимодействия радионуклидов с почвой является ионный обмен, а основную роль играют фульво- и гуминовые кислоты, находящиеся в почвенном растворе [3, 4].

Применение калийных удобрений – основной агрохимический прием, снижающий поступление  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственные культуры. На почвах разного генезиса под влиянием калия накопление  $^{137}\text{Cs}$  в растениях может уменьшаться от 2 до 20 раз [5]. Положительная роль его возрастает на фоне оптимальных параметров минерального питания растений [6].

Снижение перехода радионуклидов в растения при внесении калийных удобрений существенно зависит от исходной обеспеченности почвы подвижным калием [7]. Установлено, что уровень содержания подвижного калия в почве, превышение которого не снижает накопление  $^{137}\text{Cs}$  в полевых культурах, составляет 240–260 мг/кг почвы. Внесение высоких доз калийных удобрений (180–240 кг/га) на слабообеспеченных почвах (150 мг/кг почвы) снижает в 1,5–2,7 раза содержание  $^{137}\text{Cs}$ . На почвах с повышенным (250 мг/кг почвы) и высоким (350 мг/кг почвы) содержанием подвижного калия внесение повышенных доз калийных удобрений малоэффективно [8].

Для прогнозирования поступления радионуклидов из почвы в растения используют такой показатель, как коэффициент перехода ( $K_n$ ) – отношение удельной активности радионуклида в растениях к плотности загрязнения почвы на единицу площади (Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>). В международных публикациях используется аналогичный показатель – Aggregated transfer factor ( $T_{ag}$ ) [9]. С целью прогноза загрязнения радионуклидами продукции сельскохозяйственных культур разработаны усредненные  $K_n$  для основных типов почв, в том числе для торфяно-болотных почв [10]. В то же время для деградированных торфяно-минеральных почв эти показатели отсутствуют, что не позволяет прогнозировать накопление радионуклидов в растениеводческой продукции, определять дозы калийных удобрений как защитной меры, обеспечивающей минимальное накопление радионуклидов в продукции сельскохозяйственных культур.

Цель настоящей работы – изучить влияние возрастающих доз калийных удобрений на поступление  $^{137}\text{Cs}$  в сено многолетних злаковых трав на торфянисто-глеевой почве.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в 2016–2018 гг. в стационарных полевых опытах на территории землепользования СПК «Новое Полесье» Лунинецкого района Брестской области. Объектом исследования являлась торфянисто-глеевая низинная осушенная, развивающаяся на тростниково-осоковых торфах, подстилаемых с глубины 0,26 м связными древнеаллювиальными песками, почва. Агрохимические показатели пахотного (0–25 см) слоя почвы следующие (средние значения): органическое вещество – 60,4 %,  $N_{\text{общ}}$  – 1,74 %, рН в КСl – 5,37; подвижные формы (в 0,2 М НСl)  $P_2O_5$  – 876 и  $K_2O$  – 818 мг/кг почвы.

Почва относится, согласно градации [11], ко второй группе (1,0–4,9 Ки/км<sup>2</sup>) по степени загрязнения <sup>137</sup>Cs. Плотность загрязнения колебалась от 3,5 до 4,5 Ки/км<sup>2</sup>, в среднем – 4,0 Ки/км<sup>2</sup>.

Возделывали многолетнюю среднеспелую злаковую травосмесь, включающую тимофеевку луговую (2 кг/га), овсяницу луговую (5 кг/га), кострец безостый (6 кг/га).

Схема опыта, дозы и сроки применения фосфорных и калийных удобрений приведены в табл. 1.

Таблица 1

### Схема применения минеральных удобрений в опыте

Варианты опыта	Дозы удобрений под 1-й укос, кг/га д.в.		Дозы удобрений под 2-й укос, кг/га д.в.	
	Р	К	Р	К
1. Контроль (без удобрений)	–	–	–	–
2. $P_{90}K_{120}$	90	90	–	30
3. $P_{90}K_{150}$	90	90	–	60
4. $P_{90}K_{180}$	90	120	–	60

Размещение делянок в опыте рендомизированное. Повторность вариантов в опыте четырехкратная. Общая площадь делянки составляла 20 м<sup>2</sup>, учетная площадь – 12 м<sup>2</sup>.

Агрохимические показатели почв определяли по методикам: органическое вещество – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212-91 [12]; рН<sub>КСl</sub> – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483-85 [13]; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207-91 [14]; общий азот – по ГОСТ 26107-84 [15].

Отбор проб почвы для определения содержания <sup>137</sup>Cs проводили согласно методике [16], подготовку почвенных и растительных проб – по методикам [17, 18]. Определение удельной активности <sup>137</sup>Cs (Бк/кг) в почвенных пробах выполняли на  $\gamma$ - $\beta$ -спектрометре МКС–АТ1315, в растительных образцах – на  $\gamma$ -спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard». Основная относительная погрешность измерений при доверительном интервале  $P = 95\%$  не превышала 15–30 %. Аппаратурная ошибка измерений не превышала 15 %. Плотность загрязнения почвы <sup>137</sup>Cs рассчитывали согласно методике [11]. Для количественной оценки поступления <sup>137</sup>Cs из почвы в растения рассчитывали коэффициент перехода ( $K_n$ ) – отношение удельной активности радионуклида в растениях к плотности загрязнения почвы на единицу площади (Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>).

Полученные данные обрабатывали методами корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа [19] с использованием компьютерного программного обеспечения (*Excel 7.0*, *Statistic 7.0*).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что миграция радионуклидов в системе почва-растение и накопление их в растениеводческой продукции существенно зависит от метеорологических условий в период возделывания сельскохозяйственных культур. За период проведения наших исследований по гидротермическим условиям 2016 г. характеризовался как слабозасушливый (ГТК – 1,28), 2017 г. отличался повышенным увлажнением (ГТК – 2,24), а 2018 г. был засушливым (ГТК – 0,97). Вегетационный период 2016 г. характеризовался неустойчивым режимом влагообеспеченности. Наиболее близкая к среднему многолетнему значению среднесуточная температура воздуха за время активной вегетации культур (апрель–август) наблюдалась в 2017 г. В 2018 г. метеорологические условия отмечались очень низким количеством влаги за вегетационный период.

Накопление  $^{137}\text{Cs}$  многолетними злаковыми травами зависело от метеорологических условий вегетационных периодов, укосов и уровней применения минеральных удобрений. Среднее по всем вариантам опыта значение удельной активности радионуклида в травах первого укоса составило в 2016 г. 74,76 Бк/кг, в 2017 г. – 48,53 и в 2018 г. – 29,72 Бк/кг.

В целом за годы исследований удельная активность радионуклида в сене не превышала 150 Бк/кг при допустимом содержании 1300 Бк/кг для скармливания дойному поголовью при получении цельного молока и 520 Бк/кг для скармливания поголовью при получении мяса (табл. 2).

Таблица 2

**Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в сене многолетних злаковых трав в зависимости от доз фосфорных и калийных удобрений, Бк/кг**

Вариант опыта	Годы			Среднее значение	Процент к контролю
	2016	2017	2018		
<i>Первый укос</i>					
1. Контроль	103,88	61,37	65,10	76,78	100
2. $\text{P}_{90}\text{K}_{120(90+30)}$	71,66	47,89	21,09	46,88	61
3. $\text{P}_{90}\text{K}_{150(90+60)}$	71,03	48,32	21,36	46,90	61
4. $\text{P}_{90}\text{K}_{180(120+60)}$	51,85	36,13	11,44	33,14	43
<i>Второй укос</i>					
1. Контроль	–	73,97	50,08	62,03	100
2. $\text{P}_{90}\text{K}_{120(90+30)}$	–	30,58	17,38	23,98	39
3. $\text{P}_{90}\text{K}_{150(90+60)}$	–	29,21	15,20	22,21	36
4. $\text{P}_{90}\text{K}_{180(120+60)}$	–	27,16	8,80	17,98	29

Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в сене трав первого укоса на контроле (без применения удобрений) колебалось по годам в среднем от 61,37 до 103,88 Бк/кг. Фосфорные и калийные удобрения, внесенные под первый укос трав в дозах  $\text{P}_{90}\text{K}_{90}$  (варианты 2 и 3), уменьшали накопление радионуклида в сене первого укоса 21 до 67 %, в среднем на 39 % (в зависимости от года пользования трав). Наибольшее снижение отмечено в засушливом 2018 г., наименьшее – в 2017 г. с повышенным увлажнением.

Применение под первый укос трав дозы калия 120 кг/га (вариант 4) также было эффективным. Удельная активность радионуклида в сене уменьшилась

в среднем с 46,88–46,90 до 33,14 Бк/кг, или на 29% по отношению к варианту  $P_{90}K_{90}$ .

Содержание  $^{137}Cs$  в сене трав второго укоса на контроле изменялось по годам от 50,08 до 73,97 Бк/кг. Подкормка трав под второй укос калием в дозе 30 кг/га на фоне  $P_{90}K_{90}$  (вариант 2) способствовала уменьшению удельной активности  $^{137}Cs$  в сене по отношению к контролю в среднем с 62,03 до 23,98 Бк/кг, или в 2,6 раза. Внесение под второй укос  $K_{60}$  на фонах  $P_{90}K_{90}$  (вариант 3) и  $P_{90}K_{120}$  (вариант 4) не способствовало существенному снижению поступления радионуклида в сено по сравнению с вариантом 2.

Расчеты коэффициентов перехода  $^{137}Cs$  из почвы в многолетние травы показали следующее. За годы исследований различия в переходе  $^{137}Cs$  в многолетние травы первого укоса достигали 4,3 раза, второго укоса – 3,3 раза (в зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов). На контрольном варианте коэффициент перехода изменялся по годам для трав первого укоса в пределах – 0,51–0,87 Бк/кг: кБк/м<sup>2</sup>, для второго укоса – в пределах 0,42–0,62 Бк/кг: кБк/м<sup>2</sup> (табл. 3).

Таблица 3

**Коэффициенты перехода  $^{137}Cs$  в сено многолетних бобово-злаковых трав в зависимости от доз фосфорных и калийных удобрений, Бк/кг**

Вариант опыта	Годы			Среднее значение	Процент к контролю
	2016	2017	2018		
<i>Первый укос</i>					
1. Контроль	0,87	0,51	0,54	0,64	100
2. $P_{90}K_{120}$ (90 +30)	0,61	0,40	0,19	0,40	63
3. $P_{90}K_{150}$ (90 +60)	0,60	0,41	0,18	0,40	63
4. $P_{90}K_{180}$ (120 +60)	0,43	0,30	0,10	0,28	44
<i>Второй укос</i>					
1. Контроль	–	0,62	0,42	0,52	100
2. $P_{90}K_{120}$ (90 +30)	–	0,26	0,15	0,21	40
3. $P_{90}K_{150}$ (90 +60)	–	0,24	0,13	0,19	37
4. $P_{90}K_{180}$ (120 +60)	–	0,23	0,07	0,15	29

Фосфорные и калийные удобрения в дозах  $P_{90}K_{90}$  снизили переход  $^{137}Cs$  из почвы в травы первого укоса с 0,64 до 0,40, или на 27 % по отношению к контролю. При внесении под первый укос  $K_{120}$  также наблюдалось снижение показателя перехода  $^{137}Cs$  из почвы в растения с 0,40 до 0,28 Бк/кг: кБк/м<sup>2</sup>.

Подкормка трав второго укоса калием в дозе 30 кг/га на фоне  $P_{90}K_{90}$  обеспечила уменьшение коэффициента перехода радионуклида в сено на 60%. Внесение под второй укос  $K_{60}$  на фонах  $P_{90}K_{90}$  (вариант 3) и  $P_{90}K_{120}$  (вариант 4) также наблюдалось снижение коэффициента перехода  $^{137}Cs$  по отношению к варианту 2 ( $P_{90}K_{120}$ ), однако оно было не существенным.

На основании коэффициентов перехода  $^{137}Cs$  в многолетние злаковые травы, полученных при разных дозах применения фосфорных и калийных удобрений, определены допустимые плотности загрязнения почвы (ДП<sub>п</sub>) при возделывании их для получения сена, при скармливании его поголовью с целью получения цельного молока и мяса, отвечающих республиканским допустимым уровням (РДУ) и

допустимым уровням, принятым в рамках Таможенного союза (ДУ ТС). Расчеты проводились по формуле [10]:

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

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, л; 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.

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 [20, 21].

Установлено, что на торфянисто-глеевой почве с содержанием подвижных форм фосфора и калия соответственно 876 и 818 мг/кг почвы, применяя фосфорные и калийные удобрения, многолетние злаковые травы можно возделывать без ограничений по плотности загрязнения <sup>137</sup>Cs (до 40 Ки/км<sup>2</sup>) для производства сена при использовании его на корм для получения цельного молока, молока-сырья при переработке на масло и мяса, отвечающих республиканским нормативным требованиям по содержанию радионуклида (табл. 4).

Таблица 4

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

Вариант опыта	Получение сена первого укоса			Получение сена второго укоса		
	РДУ 1300 Бк/кг	РДУ 1850 Бк/кг	ДУ ТР ТС 520 Бк/кг	РДУ 1300 Бк/кг	РДУ 1850 Бк/кг	ДУ ТР ТС 520 Бк/кг
1. Контроль	40,0	40,0	22,0	40,0	40,0	27,0
2. P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	40,0	40,0	35,1	40,0	40,0	40,0
3. P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	40,0	40,0	35,1	40,0	40,0	40,0
4. P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0

Для производства мяса с содержанием <sup>137</sup>Cs до 200 Бк/кг нормативно чистое сено многолетних злаковых трав возможно получить на фоне применения фосфорных и калийных удобрений в дозах P<sub>90</sub>K<sub>120</sub> и P<sub>90</sub>K<sub>150</sub> при плотности радиоактивного загрязнения почвы 35,0 Ки/км<sup>2</sup>, а при дозах P<sub>90</sub>K<sub>180</sub> – плотностью загрязнения до 40,0 Ки/км<sup>2</sup>.

## ВЫВОДЫ

1. В зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов переход  $^{137}\text{Cs}$  в сено многолетних трав первого укоса изменяется до 4,3 раза, в сено второго укоса – до 3,3 раза. Такие колебания в содержании радионуклида в продукции в значительной степени обусловлены уровнями формируемой продуктивности трав.

2. При возделывании многолетних злаковых трав на торфянисто-глеевой почве с содержанием  $\text{P}_2\text{O}_5$  876 мг/кг и  $\text{K}_2\text{O}$  818 мг/кг максимальное снижение содержания  $^{137}\text{Cs}$  в сене первого укоса в 2,3 раза, в сене второго укоса в 3,5 раза обеспечивает применение фосфорных удобрений в дозе  $\text{P}_{90}$  и калийных удобрений в дозе  $\text{K}_{180}$  ( $\text{K}_{120}$  под первый укос и  $\text{K}_{60}$  под второй укос).

3. Производство сена многолетних злаковых трав, пригодного по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  для получения цельного молока, молока-сырья при переработке на масло и мясо, отвечающих РДУ, возможно без ограничений по плотности загрязнения торфянисто-глеевой почвы при применении фосфорных и калийных удобрений в дозах  $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$  ( $\text{K}_{90}$  под первый укос и  $\text{K}_{30}$  под второй укос).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сысоева, А. А. Экспериментальное исследование и моделирование процессов, определяющих подвижность  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва–растение: автореф. дис. ... канд. биол. наук / А. А. Сысоева. – Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2004. – 29 с.

2. Мееровский, А. С. Проблемы использования и сохранения торфяных почв / А. С. Мееровский, В. П. Трибис // Новости науки и технологий. – 2010. – № 4(23). – С. 3–9.

3. Путятин, Ю. В. Минимизация поступления радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растениеводческую продукцию / Ю. В. Путятин. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 268 с.

4. Соколик, Г. А. Действие фульво- и гуминовых кислот на механизмы накопления радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  растительными клетками / Г. А. Соколик // Радиоэкология торфяных почв: материалы Междунар. конф., Санкт-Петербургский гос. аграр. ун-т. – СПб., 1994. – С. 23–24.

5. 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 преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Респ. Беларусь, 2006. – 112 с.

6. Алексахин, Р. М. Поведение  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва – растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожай / Р. М. Алексахин, И. Т. Моисеев, Ф. А. Тихомиров // Агрохимия. – 1992. – № 8. – С. 127–138.

7. Путятин, Ю. В. Влияние кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы и доз калийных удобрений на переход  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в яровую пшеницу / Ю. В. Путятин, Т. М. Серая, О. М. Петрикевич // Почвоведение и агрохимия. – 2004. – Вып. 33. – С. 163–169.

8. Богдевич, И. М. Урожай и поступление радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в сельскохозяйственные культуры в зависимости от доз калийных удобрений / И. М. Богдевич // Почвенные исследования и применение удобрений. – 2003. – № 27. – С. 158–168.

9. Quantities, Units and Terms in Radioecology. International Commission on Radiation Units and Measurements. ICRU Report 65 // J. ICRU. – 2001. – V. 1, № 2. – P. 2–44.

10. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы. – Минск: Департамент по ликвидации катастрофы на ЧАЭС, 2012. – 121 с.

11. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: метод. указания / И. М. Богдевич [и др.]; под ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 48 с.

12. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212-91. – Введ. 1993.07.01. – Минск: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.

13. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение рН по методу ЦИНАО: ГОСТ 26483-85. – Введ. 07.01.86. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1987. – 4 с.

14. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26207-91. – Введ. 07.01.93. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 6 с.

15. Почвы. Методы определения общего азота: ГОСТ 26107-84. – Введ. 07.01.85. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1985. – 6 с.

16. Почвы. Отбор проб: ГОСТ 28168-89. – Введ. 01.04.90. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.

17. СТБ 1056.98. Радиационный контроль. Отбор проб сельхозсырья и кормов. – Введ. 01.07.1998. – Минск: Белстандарт, 1998. – 7 с.

18. СТБ 1059.98. Радиационный контроль. Подготовка проб для определения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . – Введ. 01.07.1998. – Минск: Белстандарт, 1998. – 22 с.

19. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

20. ГН №10–117–99. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99): утвержден постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь № 6 от 26.04.1999.

21. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»: утв. решением Комиссии Таможенного союза № 880 от 9.12.2011.

## **ACCUMULATION OF $^{137}\text{CS}$ PERENNIAL CEREAL GRASSES ON PEARLY-GLAY SOIL DEPENDING FROM RATES OF POTASSIUM FERTILIZERS**

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

### **Summary**

Depending on the meteorological conditions of the growing season, the transition of  $^{137}\text{Cs}$  to the hay of perennial grasses of the first cut changes up to 4.3 times, and to the hay of the second cut – up to 3.3 times. Such fluctuations in the content of radionuclides in products are largely due to the levels of the formed productivity of herbs.

When cultivating perennial grasses on peaty gley soil with a  $P_2O_5$  content of 876 mg/kg and  $K_2O$  818 mg/kg, the maximum reduction of  $^{137}Cs$  content in hay of the first crop by 2,3 times provides 3,5 times in hay of the second cut phosphate fertilizers in a rate of  $P_{90}$  and potash fertilizers in a rate of  $K_{180}$  ( $K_{120}$  for the first cut and  $K_{60}$  for the second cut). Hay production of perennial cereal grasses, suitable for  $^{137}Cs$  content for obtaining whole milk, raw milk during processing for oil and meat, meets RDU, is possible without restrictions on the density of contamination of peaty-gley soil using phosphorus and potash fertilizers in rates of  $P_{90}K_{120}$  ( $K_{90}$  under the first cut and  $K_{30}$  under the second cut).

*Поступила 29.11.18*

УДК 631.811:631.445.2

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК КУКУРУЗЫ ЦИНКОМ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ЭТИМ ЭЛЕМЕНТОМ**

**М. В. Рак, С. А. Титова, Т. Г. Николаева, Л. Н. Гук, Ю. А. Артюх**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Сельскохозяйственные культуры обладают избирательной способностью к разным микроэлементам. Цинк является важнейшим элементом минерального питания кукурузы. Физиологическая роль цинка у растений в значительной мере определяется его наличием в составе большинства металлоферментов и его участием в металлоферментных комплексах. Установлено, что основные функции цинка в растениях связаны с метаболизмом углеводов, протеинов и фосфатов, а также с образованием ауксинов, ДНК и рибосом. Накапливаясь в точках роста листьев и корней, цинк резко усиливает ферментативную активность в прорастающих семенах [1–3].

Наиболее высокое содержание цинка (на единицу сухого вещества) отмечено в листьях, в точках роста растений, в генеративных органах и, прежде всего, в зародышах семян. Это дополнительно указывает на связь цинка с такими важнейшими процессами в жизнедеятельности растений, как фотосинтез и образование семян. Потребность растений в цинке увеличивается при высоком содержании доступного фосфора и азота в почве, при внесении больших доз фосфорных и азотных удобрений. Агрохимия цинка весьма многогранна и значимость его в современном земледелии заметно усиливается. Острее становятся вопросы методологического характера и необходимость изучения эффективности применения новых форм цинковых удобрений, выработка нормативной базы для комплексного применения микроэлемента с другими средствами химизации [4].

Эффективность цинковых удобрений во многом зависит от содержания подвижных форм цинка в почве. По данным крупномасштабного обследования почв пашни Беларуси за период 2000–2016 гг. средневзвешенное содержание подвижного цинка снизилось с 4,01 мг до 3,06 мг/кг почвы. Доля пахотных почв с низким содержанием подвижного цинка увеличилась с 50,2 до 63,8 % от общей площади [5, 6]. В республике закономерности распределения в почвах цинка и потребления его кукурузой в зависимости от обеспеченности почвы этим элементом и некорневых подкормок цинковым удобрением в период вегетации практически не изучены. В связи с этим разработка количественных критериев для оптимизации питания растений цинком актуальна и будет способствовать повышению эффективности применения цинковых удобрений в технологии возделывания кукурузы.

Цель исследований – определить содержание и миграцию подвижного цинка в профиле дерново-подзолистой супесчаной почвы и разработать параметры оптимизации питания кукурузы этим микроэлементом.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в полевом опыте с кукурузой в 2017–2018 гг. в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района на дерново-подзолистой супесчаной почве, развивающейся на рыхлых водно-ледниковых супесях, сменяемых с глубины около 0,5 м связной супесью. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: рН в KCl 5,89, гумус – 2,64 %,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  – 241 и 276 мг/кг почвы.

Схема полевого опыта была развернута на 4-х уровнях насыщения супесчаной почвы цинком: 1 – низкий уровень (< 3,0 мг/кг), 2 – средний уровень (3,1–5,0 мг/кг), 3 – высокий уровень (5,1–10,0 мг/кг), 4 – избыточный уровень (> 10,0 мг/кг). Уровни насыщения пахотного слоя почвы цинком в полевых опытах созданы путем внесения сернокислого цинка в виде водного раствора с учетом исходного содержания подвижного элемента в почве на каждом уровне и нормативов затрат для смещения содержания подвижного цинка на данной почве. Схема опыта включала варианты некорневых подкормок кукурузы возрастающими дозами цинка 0,05; 0,10; 0,15; 0,20 кг/га на различных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком.

Схема опыта (2017–2018 гг.):

1. Контроль без удобрений;
2.  $N_{160}P_{90}K_{150}$  – фон;
3. Фон +  $Zn_{0,05}$ ;
4. Фон +  $Zn_{0,10}$ ;
5. Фон +  $Zn_{0,15}$ ;
6. Фон +  $Zn_{0,20}$ .

Некорневая подкормка кукурузы проводилась в фазе 6–8 листьев. Расход рабочего раствора – 200 л/га. Для некорневой подкормки применялось жидкое микроудобрение МикроСтим-Цинк, содержащее 50 г/л цинка в хелатной форме.

В полевых опытах возделывали кукурузу Палацио (ФАО 180). Предшественник – озимая пшеница. Исследования проводили на фоне минеральных удобрений  $N_{160}P_{90}K_{150}$ . Фосфорные и калийные удобрения внесены под основную обработку почвы. Азотное удобрение (карбамид) под кукурузу в дозе  $N_{114}$  внесено под предпосевную культивацию, и  $N_{46}$  – в подкормку в фазе 4–6 листа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При возделывании кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве установлено, что содержание валового цинка на низком и среднем уровне обеспеченности почвы этим элементом снижалось с 24,8 и 27,7 мг/кг в пахотном горизонте до 16,4 и 16,6 мг/кг в горизонте В<sub>2</sub>D соответственно (табл. 1). На уровнях с высоким и избыточным содержанием элемента в почве также отмечено снижение содержания валового цинка по генетическим горизонтам почвы (от пахотного горизонта до горизонта В<sub>2</sub>D).

Таблица 1

**Содержание цинка по горизонтам профиля дерново-подзолистой супесчаной почвы (после уборки кукурузы, 2017–2018 гг.)**

Обеспеченность почвы цинком	Горизонт	Глубина, см	Содержание цинка, мг/кг почвы		Коэффициент подвижности цинка
			валовый	подвижный	
Низкая (2,6 мг/кг)	Апах	0–28	24,8	2,6	10,5
	А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	28–47	12,7	1,2	9,4
	А <sub>2</sub> В <sub>1</sub>	47–85	14,8	1,5	9,7
	В <sub>2</sub> D	85–115	16,4	1,6	9,8
Средняя (4,7 мг/кг)	Апах	0–28	27,7	5,3	19,1
	А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	28–47	19,6	2,4	11,1
	А <sub>2</sub> В <sub>1</sub>	47–85	13,3	2,0	15,1
	В <sub>2</sub> D	85–115	16,6	1,8	11,1
Высокая (7,5 мг/кг)	Апах	0–28	31,6	7,6	24,1
	А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	28–47	17,9	1,7	9,3
	А <sub>2</sub> В <sub>1</sub>	47–85	16,6	1,3	8,2
	В <sub>2</sub> D	85–115	17,5	1,0	5,7
Избыточная (11,6 мг/кг)	Апах	0–28	33,9	13,9	41,0
	А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	28–47	19,8	2,8	13,5
	А <sub>2</sub> В <sub>1</sub>	47–85	15,0	2,1	13,8
	В <sub>2</sub> D	85–115	15,4	1,9	11,8

Наибольшее количество подвижного цинка содержится в пахотном горизонте почвы. Отмечается снижение содержания подвижного цинка по профилю дерново-подзолистой супесчаной почвы от горизонта Апах до горизонта В<sub>2</sub>D на всех уровнях обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком. Коэффициент подвижности цинка в почве напрямую зависит от содержания валовой и подвижной формы элемента в профиле дерново-подзолистой супесчаной почвы. На низком уровне обеспеченности почвы цинком коэффициент подвижности элемента в пахотном горизонте почвы составил 10,5 % и не изменялся значительно по генетическим горизонтам. С увеличением содержания цинка в почве этот показатель увеличивался. В фоновых вариантах на среднем, высоком и избыточном уровне обеспеченности почвы коэффициент подвижности цинка значительно снижался по горизонтам профиля почвы и составил 19,1 %; 24,1 %; 41,0 % соответственно.

При возделывании кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве урожайность зеленой массы зависела от уровня обеспеченности почвы цинком и доз

внесения цинкового удобрения (табл. 2). В варианте без удобрений урожайность зеленой массы составила 395 ц/га, зерна – 50,7 ц/га. На низком уровне обеспеченности почвы подвижным цинком в фоновом варианте урожайность зеленой массы и зерна кукурузы увеличилась до 557 и 70,9 ц/га соответственно. При этом наиболее высокую прибавку урожайности зеленой массы (69,0 ц/га) и зерна (8,8 ц/га) обеспечивало внесение в некорневую подкормку микроудобрения МикроСтим-Цинк в дозе 0,15 кг/га д.в.

На почве со средней обеспеченностью цинком урожайность зеленой массы и зерна кукурузы была выше и в фоновом варианте составила 602 и 75,4 ц/га соответственно. Более высокую прибавку урожайности зеленой массы и зерна (52,0 и 4,1 ц/га) обеспечивало внесение цинкового удобрения в дозе 0,10 кг/га д.в.

На высоком и избыточном уровнях содержания подвижного цинка в супесчаной почве некорневая подкормка кукурузы микроудобрением МикроСтим-Цинк в возрастающих дозах не способствовала существенному повышению урожайности.

Таблица 2

**Влияние микроудобрения МикроСтим-Цинк на урожайность кукурузы при различной обеспеченности почвы подвижным цинком, ц/га (среднее 2017–2018 гг.)**

Обеспеченность почвы цинком	Вариант	Зеленая масса		Зерно		
		урожайность	прибавка	урожайность	прибавка	
Низкая (2,6 мг/кг)	1. Контроль без удобрений	395	–	50,7	–	
	2. N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	557	–	70,9	–	
	3. Фон + Zn <sub>0,05</sub>	МикроСтим-Цинк	581	24	75,2	4,3
	4. Фон + Zn <sub>0,10</sub>		600	43	78,3	7,4
	5. Фон + Zn <sub>0,15</sub>		626	69	79,7	8,8
	6. Фон + Zn <sub>0,20</sub>		596	39	77,2	6,3
Средняя (4,7 мг/кг)	2. N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	602	–	75,4	–	
	3. Фон + Zn <sub>0,05</sub>	МикроСтим-Цинк	636	34	78,5	3,1
	4. Фон + Zn <sub>0,10</sub>		654	52	79,5	4,1
	5. Фон + Zn <sub>0,15</sub>		626	24	78,8	3,4
	6. Фон + Zn <sub>0,20</sub>		633	31	78,9	3,5
	Высокая (7,5 мг/кг)	2. N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	588	–	74,9	–
3. Фон + Zn <sub>0,05</sub>		МикроСтим-Цинк	603	15	77,1	2,2
4. Фон + Zn <sub>0,10</sub>			610	22	78,6	3,7
5. Фон + Zn <sub>0,15</sub>			620	32	77,3	2,4
6. Фон + Zn <sub>0,20</sub>			609	21	76,6	1,7
Избыточная (11,6 мг/кг)		2. N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	572	–	71,7	–
	3. Фон + Zn <sub>0,05</sub>	МикроСтим-Цинк	581	9	73,6	1,9
	4. Фон + Zn <sub>0,10</sub>		592	20	73,3	1,6
	5. Фон + Zn <sub>0,15</sub>		585	13	72,8	1,1
	6. Фон + Zn <sub>0,20</sub>		586	14	72,1	0,4
	НСР <sub>05</sub>		21,67		3,02	

Содержание цинка в зеленой массе и зерне кукурузы зависело от обеспеченности почвы этим элементом и доз внесения микроудобрения МикроСтим-Цинк

(табл. 3). Некорневая подкормка кукурузы микроудобрением МикроСтим-Цинк в возрастающих дозах способствовала повышению содержания цинка в растениях на всех уровнях обеспеченности почвы этим элементом в сравнении с фоновым вариантом. Так, на низком уровне обеспеченности почвы цинком в фоновом варианте содержание цинка в зеленой массе составило 11,2 мг/кг сухой массы. Применение микроудобрения МикроСтим-Цинк в возрастающих дозах повысила содержание цинка до 12,8–17,4 мг/кг сухой массы. На среднем уровне обеспеченности почвы цинком содержание данного элемента увеличивалось от некорневых подкормок микроудобрением МикроСтим-Цинк до 18,8–23,9 мг/кг при содержании в фоновом варианте 16,4 мг/кг сухой массы. При повышении содержания подвижного цинка до высокого и избыточного уровня обеспеченности почвы этим элементом содержание его в зеленой массе увеличивается до 20,1–26,5 мг/кг и до 29,6–33,9 мг/кг сухой массы соответственно. Следует отметить, что при средней и высокой обеспеченности супесчаной почвы цинком внесение в некорневые подкормки кукурузы цинкового удобрения повышало содержание этого элемента в зеленой массе до оптимального уровня для кормов (20–60 мг/кг сухой массы) [7].

Таблица 3

**Влияние микроудобрения МикроСтим-Цинк на содержание цинка в зеленой массе и зерне кукурузы при различной обеспеченности супесчаной почвы этим элементом (среднее 2017–2018 гг.)**

Обеспеченность почвы цинком	Вариант	Зеленая масса	Зерно
		мг/кг сухой массы	
Низкая (2,6 мг/кг)	1. Контроль без удобрений	10,6	10,6
	2. N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	11,2	10,9
	3. Фон + Zn <sub>0,05</sub>	12,8	11,6
	4. Фон + Zn <sub>0,10</sub>	13,9	12,1
	5. Фон + Zn <sub>0,15</sub>	15,1	12,3
	6. Фон + Zn <sub>0,20</sub>	17,4	12,7
Средняя (4,7 мг/кг)	2. N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	16,4	11,9
	3. Фон + Zn <sub>0,05</sub>	18,1	12,9
	4. Фон + Zn <sub>0,10</sub>	20,3	13,9
	5. Фон + Zn <sub>0,15</sub>	22,0	13,5
	6. Фон + Zn <sub>0,20</sub>	23,9	14,1
	Высокая (7,5 мг/кг)	2. N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	19,4
3. Фон + Zn <sub>0,05</sub>		20,1	13,8
4. Фон + Zn <sub>0,10</sub>		24,3	14,2
5. Фон + Zn <sub>0,15</sub>		25,5	14,3
6. Фон + Zn <sub>0,20</sub>		26,5	15,1
Избыточная (11,6 мг/кг)		2. N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	27,0
	3. Фон + Zn <sub>0,05</sub>	29,6	14,9
	4. Фон + Zn <sub>0,10</sub>	32,0	15,6
	5. Фон + Zn <sub>0,15</sub>	33,0	15,5
	6. Фон + Zn <sub>0,20</sub>	33,9	15,9

Накопление цинка в зерне кукурузы также зависело от уровня обеспеченности супесчаной почвы этим элементом и некорневых подкормок цинковым

удобрением. Так, внесение микроудобрения МикроСтим-Цинк в возрастающих дозах повышало содержание цинка в зерне на низком уровне до 11,6–12,7 мг/кг, среднем – до 12,9–14,1 мг/кг, высоком – 13,8–15,1 мг/кг и избыточном – до 14,9–15,39 мг/кг сухой массы при содержании его в фоновом варианте 10,9; 11,9; 12,9 и 14,1 мг/кг соответственно.

Коэффициент биологического поглощения характеризует интенсивность поглощения растениями элементов питания из почвы. Установлено, что при возделывании кукурузы на зеленую массу коэффициент поглощения цинка снижался по мере увеличения содержания данного элемента в почве (рис. 1). Так, на низком уровне обеспеченности почвы цинком коэффициент составил 4,6–4,9, а на избыточном – 2,5–2,7. При выращивании кукурузы на зерно коэффициент биологического поглощения был ниже и на низком уровне обеспеченности составил 3,9–4,3, на избыточном – 1,1–1,2 (рис. 2).

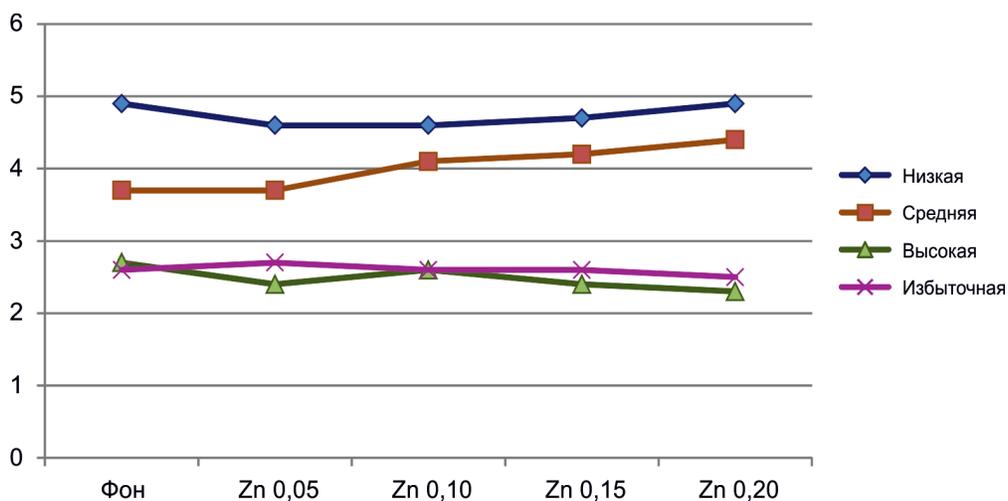


Рис. 1. Коэффициент биологического поглощения цинка растениями кукурузы (зеленая масса)

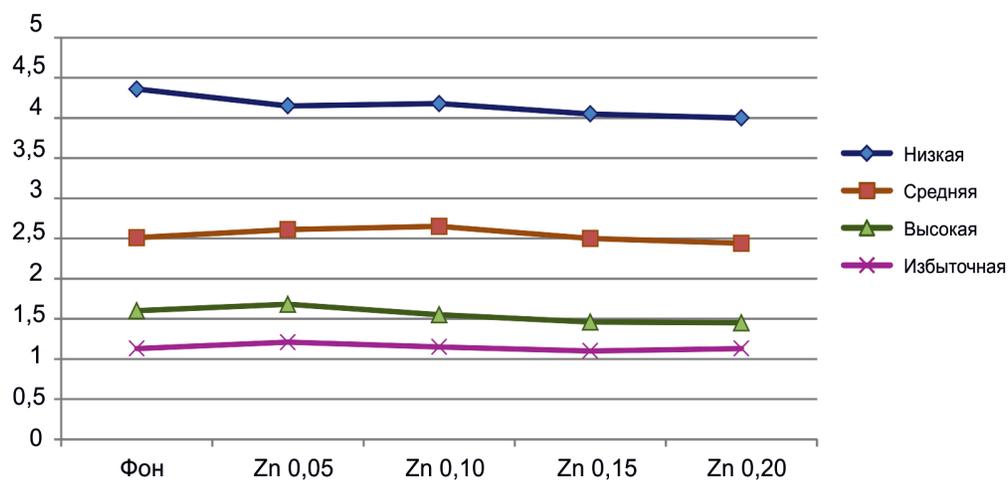


Рис. 2. Коэффициент биологического поглощения цинка растениями кукурузы (зерно)

Для оценки экономической эффективности применения микроудобрения МикроСтим-Цинк при возделывании кукурузы на различных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком использовались полученные в опыте прибавки урожайности, нормативные данные затрат и цены на текущий год [8]. Расчеты показали, что применение микроудобрения МикроСтим-Цинк в некорневую подкормку кукурузы в возрастающих дозах экономически оправдано только при низком и среднем уровнях обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижным цинком. При низком содержании подвижного цинка в супесчаной почве более высокие экономические показатели обеспечивало внесение в некорневую подкормку кукурузы микроудобрения МикроСтим-Цинк в дозе 0,15 кг/га д.в. (табл. 4). Так, при возделывании кукурузы на зеленую массу и зерно условно чистый доход от применения микроудобрения МикроСтим-Цинк в этой дозе составил 83,4 и 74,1 USD/га при рентабельности 153 % и 185 % соответственно.

Таблица 4

**Экономическая эффективность микроудобрения МикроСтим-Цинк при возделывании кукурузы на различных уровнях обеспеченности почвы цинком (среднее 2017–2018 гг.)**

Обеспеченность почвы цинком	Вариант	Прибавка урожая, ц/га	Стоимость прибавки, USD/га	Общие затраты, USD/га	Условно чистый доход, USD/га	Рентабельность, %
<i>Зеленая масса</i>						
Низкая (2,6 мг/кг)	N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	–	–	–	–	–
	Фон + Zn <sub>0,05</sub>	24	48	21,2	26,8	127
	Фон + Zn <sub>0,10</sub>	43	86	35,7	50,3	141
	Фон + Zn <sub>0,15</sub>	69	138	54,6	83,4	153
	Фон + Zn <sub>0,20</sub>	39	78	38,3	39,7	104
Средняя (4,7 мг/кг)	Фон + Zn <sub>0,05</sub>	34	68	27,5	40,5	148
	Фон + Zn <sub>0,10</sub>	52	104	41,4	62,6	151
	Фон + Zn <sub>0,15</sub>	24	48	26,3	21,7	83
	Фон + Zn <sub>0,20</sub>	31	62	33,2	28,8	87
<i>Зерно</i>						
Низкая (2,6 мг/кг)	N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	–	–	–	–	–
	Фон + Zn <sub>0,05</sub>	4,3	55,9	20,2	35,7	176
	Фон + Zn <sub>0,10</sub>	7,4	96,2	33,0	63,2	191
	Фон + Zn <sub>0,15</sub>	8,8	114,4	40,2	74,1	185
	Фон + Zn <sub>0,20</sub>	6,3	81,9	34,5	47,4	82
Средняя (4,7 мг/кг)	Фон + Zn <sub>0,05</sub>	3,1	40,3	16,3	24,0	148
	Фон + Zn <sub>0,10</sub>	4,1	53,3	22,2	31,2	141
	Фон + Zn <sub>0,15</sub>	3,4	44,2	22,4	21,8	97
	Фон + Zn <sub>0,20</sub>	3,5	45,5	25,3	20,3	80

На среднем уровне обеспеченности почвы подвижным цинком наиболее высокую эффективность внесения микроудобрения МикроСтим-Цинк в некорневую подкормку кукурузы на зеленую массу и зерно обеспечивала доза 0,10 кг/га д.в.

при условно чистом доходе 62,6 и 31,2 USD/га, рентабельности 151 % и 141 % соответственно.

На основании экспериментальных данных полевых и лабораторных исследований разработаны параметры оптимизации питания кукурузы цинком (табл. 5). При низкой и средней обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком для повышения урожайности и увеличения накопления элемента в зеленой массе и зерне рекомендуется проведение некорневой подкормки цинковыми удобрениями в фазе 6–8 листьев в дозах 0,15 и 0,10 кг/га д.в. соответственно. При высокой обеспеченности почвы цинком некорневая подкормка цинковыми удобрениями нецелесообразна.

Таблица 5

**Параметры оптимизации питания кукурузы цинком при различной обеспеченности Дерново-подзолистой супесчаной почвы этим микроэлементом**

Обеспеченность почвы цинком	Дозы удобрений, кг/га д.в.	Срок некорневой подкормки цинком	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Содержание цинка, мг/кг сухой массы
I уровень (низкий, 2,6 мг/кг)	N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	–	$\frac{557^*}{70,9}$	–	$\frac{11,2}{10,9}$
	N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> +Zn <sub>0,15</sub>	в фазе 6–8 листьев	$\frac{626}{79,7}$	$\frac{69}{8,8}$	$\frac{15,1}{12,3}$
II уровень (средний, 4,7 мг/кг)	N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	–	$\frac{602}{75,4}$	–	$\frac{19,4}{11,9}$
	N <sub>160</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> +Zn <sub>0,10</sub>	в фазе 6–8 листьев	$\frac{654}{79,5}$	$\frac{52}{4,1}$	$\frac{20,3}{13,9}$

\* *Примечание.* Над чертой – зеленая масса, под чертой – зерно.

## ВЫВОДЫ

1. В дерново-подзолистой супесчаной почве содержание подвижного цинка находится в прямой зависимости от его валового содержания. Коэффициент подвижности цинка в профиле почвы увеличивается при повышении обеспеченности ее цинком.

2. Некорневые подкормки кукурузы цинковым удобрением эффективны при низком и среднем уровне обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижным цинком. При низкой обеспеченности почвы подвижным элементом (2,6 мг/кг) внесение в некорневую подкормку кукурузы микроудобрения МикроСтим-Цинк в дозе 0,15 кг/га д.в. повышает урожайность зеленой массы на 69,0 ц/га, зерна – на 8,8 ц/га при чистом доходе 83,4 и 74,1 USD/га, рентабельности – на 153 и 185 % соответственно. На среднем уровне обеспеченности почвы цинком эффективно внесение микроудобрения МикроСтим-Цинк в некорневую подкормку кукурузы в дозе 0,10 кг/га д.в. При высокой обеспеченности почвы цинком некорневая подкормка цинковыми удобрениями нецелесообразна.

3. Коэффициент биологического поглощения цинка растениями кукурузы уменьшается при увеличении содержания этого микроэлемента в почве. Применение цинкового удобрения в некорневую подкормку кукурузы повышает концентрацию цинка в растениеводческой продукции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Школьник, М. Я. Микроэлементы в жизни растений / М. Я. Школьник. – Л.: Наука, 1974. – 324 с.
2. Кабата Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / Кабата Пендиас А., Пендиас Х. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
3. Сычев, В. Г. Цинк в агроэкосистемах России. Мониторинг и эффективность применения / В. Г. Сычев, А. Н. Аристархов, Т. А. Яковлева. – М.: ВНИИА, 2015. – 204 с.
4. Интенсификация продукционного процесса растений. Приемы управления / В. Г. Сычев [и др.]. – М.: ВНИИА, 2009. – 520 с.
5. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / Богдевич И.М. [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 275 с.
6. Рак, М. В. Микроэлементы в почвах Беларуси и применение микроудобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур / М. В. Рак // Биогеохимия и биохимия микроэлементов в условиях техногенеза биосферы: материалы VIII Междунар. биогеохим. школы, посвященной 150-летию со дня рождения академика В. И. Вернадского. – М: ГЕОХИ РАН, 2013. – С. 339–342.
7. Ковальский, В. В. Микроэлементы в растениях и кормах / В. В. Ковальский, Ю. Е. Раецкая, Т. И. Грачева. – М.: Колос, 1971. – 235 с.
8. Методика определения агрономической и экономической эффективности удобрений и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

## EFFICIENCY OF USING NON-ROOT DRESSINGS OF WINTER WHEAT UNDER DIFFERENT ZINC SOIL AVAILABILITY

M. V. Rak, S. A. Titova, T. G. Nikolaeva, L. N. Hooke,  
Yu. A. Artyukh

### Summary

The effect of MicroStim-Zinc on the yield and quality of maize for varying sufficiency of sod-podzolic sandy loam soil with this element was studied. It has been established that foliar application of corn with zinc fertilizer is effective only at low and medium levels of zinc soil availability. An increase in the accumulation of the element in the green mass and grain of maize was noted with an increase in its content in the soil and the introduction of microfertilizer MicroStim-Zinc into the foliar top-dressings.

*Поступила 05.12.18*

## **ВЛИЯНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ АДОБ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ВЫСОКООКУЛЬТУРЕННОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ**

**Н. С. Иванова**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Пшеница – самая древняя и распространенная культура. Пшеницей кормится абсолютное большинство населения мира. В странах СНГ пшеница – основная продовольственная культура, обеспечивающая производство белого хлеба. В Беларуси, наряду с ржаным (черным) хлебом, в рационе населения значительных удельный вес занимает пшеничный (белый) [1].

За счет потребляемого хлеба и других продуктов, получаемых из зерна, человек получает около половины необходимых организму белков и углеводов, 70–80 % витамина В<sub>1</sub> (тиамина), значительную часть витаминов РР и Е, минеральных и других веществ. Важнейшими и наиболее ценными компонентами пшеничного зерна являются белки, состоящие из аминокислот, восемь из которых являются незаменимыми [2, 3].

Важнейшая задача сельского хозяйства – улучшение качества продукции зерновых и зернобобовых культур и увеличение производства растительного белка. Успешное решение этой задачи заключается в применении минеральных удобрений, в том числе и микроудобрений, внесение которых, по многочисленным данным, является эффективным приемом повышения урожайности и создания оптимальных условий питания культур всеми необходимыми элементами, в том числе и микроэлементами [4, 5, 6, 7, 8].

Многими исследованиями показано, что микроэлементы участвуют во всех важных процессах роста и развития растений, повышают урожай и улучшают качество продукции, принимают участие в процессах оплодотворения, синтеза и перемещения углеводов в белковом и жировом обмене. Они способны ускорять появление всходов, развитие растений, цветение и созревание плодов [9, 10, 11].

Под их влиянием повышается использование питательных веществ растениями из почв и удобрений, усиливается положительное действие азотных, фосфорных и калийных удобрений. При недостатке микроэлементов в почвах сельскохозяйственные культуры не полностью реализуют свой потенциал, дают неполноценный урожай и поражаются болезнями. Недостаток в почве некоторых микроэлементов негативно отражается на уровне и качестве урожая. Для создания 1 ц урожая зерна озимой пшеницы требуется около 20 г железа, 10 г марганца, 8 г цинка, 1,2 г меди, 1,0 г бора, 0,05 г молибдена [12, 13].

Внесение микроудобрений в почву оказывает незначительное влияние на увеличение микроэлементов в растениеводческой продукции. Наиболее действенным и дешевым способом обогащения сельскохозяйственных культур мик-

роэлементами являются некорневые подкормки, позволяющие оптимизировать микроэлементный состав растениеводческой продукции [14].

Цель исследований – изучить влияние микроудобрений АДОБ на урожайность и качество зерна озимой пшеницы при возделывании на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевой опыт с озимой пшеницей Сукцес по изучению эффективности применения различных марок микроудобрений АДОБ проводили в 2016–2018 гг. на опытном поле РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве, развивающейся на мощных лессовидных легких суглинках. Во время закладки полевого опыта почва опытного участка характеризовалась следующими агрохимическими показателями, 2016 г.:  $pH_{KCl}$  6,6, содержание гумуса – 2,0 %,  $P_2O_5$  – 590 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 400 мг/кг почвы,  $Cu$  – 2,7,  $Mn$  – 2,0,  $Zn$  – 3,5 мг/кг почвы; 2017 г.:  $pH_{KCl}$  6,3, содержание гумуса – 2,7 %,  $P_2O_5$  – 614 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 434 мг/кг почвы,  $Cu$  – 2,4,  $Mn$  – 1,6,  $Zn$  – 3,4 мг/кг почвы; 2018 г.:  $pH_{KCl}$  6,2, содержание гумуса – 2,5 %,  $P_2O_5$  – 646 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 391 мг/кг почвы,  $Cu$  – 3,2,  $Mn$  – 1,6,  $Zn$  – 4,7 мг/кг почвы.

Агрохимические показатели пахотного слоя определяли по общепринятым методикам: обменную кислотность  $pH_{KCl}$  – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91), содержание гумуса – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91), обменный марганец – из вытяжки 1,0 М  $KCl$  на атомно-абсорбционном спектрометре Solaar ICE 3000 (ГОСТ 26486-85), подвижный цинк и медь – на атомно-абсорбционном спектрометре Solaar ICE 3000 (ГОСТ 28268-89). В зерне озимой пшеницы определяли содержание протеина и клейковины – на ИК спектрометре Infraneo, содержание сырого белка – расчетным методом [15].

Общая площадь одной делянки составляла 25 м<sup>2</sup>, учетная – 18 м<sup>2</sup>. Повторность вариантов в полевом опыте четырехкратная. Метод размещения вариантов в повторении случайный (рэндомизированный). Норма высева озимой пшеницы – 4,5 млн всхожих семян на гектар. Предшественник – озимый рапс. Исследования проводили в соответствии с методическими указаниями по закладке полевых опытов. Статистическую обработку результатов исследований осуществляли методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [16] с использованием MS Excel 2010. Агротехника возделывания озимой пшеницы – общепринятая для Республики Беларусь [17].

Схема опыта развернута на двух фонах внесения минеральных удобрений. Дробное внесение азотных удобрений в подкормку в дозе  $N_{70+35+55}$  – фон 1, дробное внесение азотных удобрений в подкормку в дозе  $N_{70+35+55}$ , фосфорных –  $P_{30}$  и калийных –  $K_{60}$  (35 % выноса фосфора и калия с планируемой урожайностью 80 ц/га) – фон 2.

Фосфорные удобрения (аммонизированный суперфосфат) и калийные удобрения (хлористый калий) применяли согласно схеме в основное внесение. Подкормки азотом проводили в 3 срока: первая – весной в начале активной вегетации –  $N_{70}$  (КАС), вторая – в стадию первого узла –  $N_{35}$  (карбамид), третья – в стадию появления флагового листа –  $N_{55}$  (карбамид). При возделывании озимой пшеницы применяли интегрированную систему защиты растений.

Некорневые подкормки посевов озимой пшеницы различными марками микроудобрений АДОБ проводили в стадию первого узла и стадию появления флагового листа. В качестве микроудобрений использовали жидкие удобрения, содержащие микроэлементы в хелатной форме – АДОБ Cu IDHA (Cu – 6,14 %), АДОБ Mn IDHA (Mn – 15,26 %) и АДОБ Zn IDHA (Zn – 6,16 %). Схема опыта представлена далее в таблицах. Доза микроудобрений в одну некорневую подкормку составляла 50 г/га д.в. Расход рабочего раствора – 200 л/га. Рабочий раствор готовили непосредственно перед проведением некорневых подкормок растений путем разведения концентрата водой. Учет урожайности озимой пшеницы проводили поделочно при наступлении полной спелости зерна.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты трехлетних исследований показали, что некорневые подкормки медными, марганцевыми и цинковыми удобрениями при возделывании озимой пшеницы способствовали повышению урожайности зерна на двух фонах внесения минеральных удобрений. Уровень прибавок урожая зависел от марок вносимых микроудобрений (табл. 1).

В среднем за три года исследований наиболее существенные прибавки урожайности зерна получены при проведении двукратной некорневой подкормки на фоне с дробным внесением азотных удобрений в подкормку  $N_{70+35+55}$  (фон 1). Так, наиболее высокие прибавки урожая зерна были отмечены при применении АДОБ  $Cu_{0,05}$  + АДОБ  $Mn_{0,05}$ , а также при внесении АДОБ  $Cu_{0,05}$  и АДОБ  $Mn_{0,05}$  (4,7–5,4 ц/га). Тройное сочетание микроэлементов АДОБ  $Cu_{0,05}$ +АДОБ  $Mn_{0,05}$  + АДОБ  $Zn_{0,05}$  позволило повысить урожайность на 4,1 ц/га по сравнению с фоновым вариантом. Прибавки от некорневых подкормок АДОБ  $Zn_{0,05}$ , АДОБ  $Cu_{0,05}$ +АДОБ  $Zn_{0,05}$  и АДОБ  $Mn_{0,05}$  + АДОБ  $Zn_{0,05}$  находились примерно на одном уровне и составили 3,8 ц/га.

На фоне с дробным внесением азотных удобрений в подкормку  $N_{70+35+55}$ , фосфорных –  $P_{30}$  и калийных –  $K_{60}$  (фон 2) следует отметить варианты с использованием АДОБ  $Cu_{0,05}$  + АДОБ  $Mn_{0,05}$ , АДОБ  $Cu_{0,05}$  и АДОБ  $Mn_{0,05}$ , где также получены более существенные прибавки урожая по сравнению с фоновым вариантом (4,3–5,2 ц/га). Применение остальных микроэлементов и их сочетание при проведении двукратной некорневой подкормки повысило урожайность зерна озимой пшеницы на 3,2–3,8 ц/га.

Важнейшая составляющая часть зерна – азотистые вещества, состоящие главным образом из белков. От количества и качества их зависит питательная ценность пшеницы. Наибольшую ценность представляют глиадины и глютеины. От содержания их зависит качество клейковины.

За три года исследований установлено положительное влияние микроудобрений на некоторые качественные показатели зерна озимой пшеницы (табл. 2). Двукратная некорневая подкормка микроудобрениями АДОБ на фоне с дробным внесением азотных удобрений в подкормку в дозе  $N_{70+35+55}$  не способствовала значительному увеличению содержания сырого белка. В среднем содержание сырого белка относительно фонового варианта увеличилось на 0,7 %. Однако содержание клейковины увеличилось с 24,6 % до 25,7–27,5 %. Наибольшее содержание клейковины отмечено при применении в подкормку АДОБ  $Zn_{0,05}$ , АДОБ  $Cu_{0,05}$  + АДОБ  $Mn_{0,05}$  + АДОБ  $Zn_{0,05}$  – 27,3 % и АДОБ  $Mn_{0,05}$  + АДОБ  $Zn_{0,05}$  – 27,5 %. Максимальный выход сырого белка отмечен в варианте с применением АДОБ  $Zn_{0,05}$  – 6,7 ц/га.

Таблица 1

## Влияние микроудобрений АДОБ на урожайность зерна озимой пшеницы 2016–2018 гг.

Вариант	2016 г.		2017 г.		2018 г.		Среднее 2016–2018 гг.	
	Урожай- ность, ц/га	Прибавка к фонду, ц/га	Урожай- ность, ц/га	Прибавка к фонду, ц/га	Урожай- ность, ц/га	Прибавка к фонду, ц/га	Урожай- ность, ц/га	Прибавка к фонду, ц/га
Контроль без удобрений	39,5	–	51,4	–	30,3	–	40,4	–
N <sub>70+35+55</sub> – фон 1	58,9	–	89,0	–	46,8	–	64,9	–
Фон 1 + АДОБ Cu <sub>0,05</sub> *	64,8	5,9	94,2	5,2	50,0	3,2	69,7	4,8
Фон 1 + АДОБ Mn <sub>0,05</sub>	63,3	4,4	93,0	4,0	52,5	5,7	69,6	4,7
Фон 1 + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	61,9	3,0	92,5	3,5	51,6	4,8	68,7	3,8
Фон 1 + АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Mn <sub>0,05</sub>	65,4	6,5	94,8	5,8	50,8	4,0	70,3	5,4
Фон 1 + АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	62,8	3,9	93,0	4,0	50,1	3,3	68,6	3,7
Фон 1 + АДОБ Mn <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	62,2	3,3	92,8	3,8	50,9	4,1	68,6	3,7
Фон 1 + АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Mn <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	62,4	3,5	93,3	4,3	51,3	4,5	69,0	4,1
N <sub>70+35+55</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> – фон 2	62,1	–	87,5	–	51,8	–	67,1	–
Фон 2 + АДОБ Cu <sub>0,05</sub>	66,1	4,0	92,3	4,8	58,5	6,7	72,3	5,2
Фон 2 + АДОБ Mn <sub>0,05</sub>	64,3	2,2	91,1	3,6	58,9	7,1	71,4	4,3
Фон 2 + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	63,8	1,7	90,4	2,9	57,6	5,8	70,6	3,5
Фон 2 + АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Mn <sub>0,05</sub>	64,4	2,3	91,2	3,7	58,8	7,0	71,5	4,4
Фон 2 + АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	64,2	2,1	90,8	3,3	57,9	6,1	70,9	3,8
Фон 2 + АДОБ Mn <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	64,0	1,9	90,5	3,0	56,4	4,6	70,3	3,2
Фон 2 + АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Mn <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	63,9	1,8	90,4	2,9	57,9	6,1	70,7	3,6
НСР <sub>05</sub>		2,0		3,1		3,0		3,0

\* Дозы меди, марганца и цинка, кг/га.

Таблица 2

**Влияние микроудобрений АДОБ на качество зерна озимой пшеницы  
(среднее 2016–2018 гг.)**

Вариант	Содержание сырого белка, %	Выход сырого белка, ц/га	Содержание клейковины, %
Контроль без удобрений	8,5	2,8	22,6
N <sub>70+35+55</sub> – фон 1	10,8	6,0	24,6
Фон 1 + АДОБ Cu <sub>0,05</sub>	10,6	6,2	26,1
Фон 1 + АДОБ Mn <sub>0,05</sub>	10,5	6,1	26,1
Фон 1 + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	11,5	6,7	27,3
Фон 1 + АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Mn <sub>0,05</sub>	10,7	6,3	27,0
Фон 1 + АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	10,5	6,0	25,7
Фон 1 + АДОБ Mn <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	11,4	6,5	27,5
Фон 1 + АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Mn <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	10,5	6,1	27,3
N <sub>70+35+55</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> – фон 2	11,5	6,4	24,6
Фон 2 + АДОБ Cu <sub>0,05</sub>	10,6	6,4	26,4
Фон 2 + АДОБ Mn <sub>0,05</sub>	10,8	6,5	25,3
Фон 2 + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	11,5	6,9	26,4
Фон 2 + АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Mn <sub>0,05</sub>	11,1	4,9	26,7
Фон 2 + АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	11,1	4,9	25,2
Фон 2 + АДОБ Mn <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	10,8	6,4	26,0
Фон 2 + АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Mn <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	11,1	6,5	26,5

Содержание клейковины от применения АДОБ на фоне с дробным внесением азотных удобрений в подкормку N<sub>70+35+55</sub>, фосфорных – P<sub>30</sub> и калийных – K<sub>60</sub> было несколько ниже. Наибольшее содержание клейковины получено в варианте с применением АДОБ Cu<sub>0,05</sub> + АДОБ Mn<sub>0,05</sub> – 26,7 %. Содержание сырого белка варьировало в пределах 10,6–11,5 %. Наибольший выход сырого белка, как и на фоне, только с дробным внесением азотных удобрений в подкормку в дозе N<sub>70+35+55</sub>, отмечен в варианте с применением АДОБ Zn<sub>0,05</sub> и составил 6,9 ц/га.

При оценке экономической эффективности некорневых подкормок озимой пшеницы медными, марганцевыми и цинковыми удобрениями установлено, что некорневые подкормки отдельными видами микроудобрений и их сочетанием рентабельны на двух фонах внесения минеральных удобрений (табл. 3). Рентабельность некорневых подкормок озимой пшеницы различными марками микроудобрений АДОБ составила 108–224,5 %.

Таблица 3

**Экономическая эффективность применения в некорневые подкормки озимой пшеницы различных марок микроудобрений АДОБ**

Вариант	Прибавка урожайности, ц/га	Стоимость прибавки, USD	Всего затрат, USD	Чистый доход, USD/га	Рентабельность, %
<i>Фон 1 – дробное внесение азотных удобрений в подкормку N<sub>70+35+55</sub></i>					
АДОБ Cu <sub>0,05</sub>	4,8	82,1	50,1	31,9	196,1
АДОБ Mn <sub>0,05</sub>	4,7	80,4	50,1	30,3	224,5

Вариант	Прибавка урожайности, ц/га	Стоимость прибавки, USD	Всего затрат, USD	Чистый доход, USD/га	Рентабельность, %
АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	3,8	65,0	47,3	17,6	151,5
АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Mn <sub>0,05</sub>	5,4	92,3	53,2	39,1	134,5
АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	3,7	63,3	48,0	15,3	67,0
АДОБ Mn <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	3,7	63,3	48,2	15,0	79,5
АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Mn <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	4,1	70,1	50,5	19,7	43,4
<i>Фон 2 – дробное внесение азотных удобрений в подкормку N<sub>70+35+55</sub>P<sub>30</sub>K<sub>60</sub></i>					
АДОБ Cu <sub>0,05</sub>	5,2	88,9	51,4	37,5	206,6
АДОБ Mn <sub>0,05</sub>	4,3	73,5	48,8	24,7	213,0
АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	3,5	59,9	46,4	13,5	140,6
АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Mn <sub>0,05</sub>	4,4	75,2	50,1	25,2	108,0
АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	3,8	65,0	48,3	16,7	70,1
АДОБ Mn <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	3,2	54,7	46,7	8,1	62,6
АДОБ Cu <sub>0,05</sub> + АДОБ Mn <sub>0,05</sub> + АДОБ Zn <sub>0,05</sub>	3,6	61,6	48,9	12,7	30,2

## ВЫВОДЫ

1. Применение микроудобрений АДОБ в некорневые подкормки озимой пшеницы на дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве на двух фонах внесения минеральных удобрений повышало урожайность зерна на 3,2–5,4 ц/га, содержание клейковины – на 0,6–2,9 %, содержание сырого белка – на 0,7 %, выход сырого белка – на 0,7 ц/га.

2. Использование отдельных марок микроудобрений АДОБ и их сочетаний является рентабельным. Рентабельность составила 108–224,5 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голуб, И. А. Научные основы формирования высоких урожаев озимых зерновых культур в Беларуси / И. А. Голуб. – Минск, 1996. – 199 с.
2. Кретович, В. Л. Биохимия зерна и хлеба / В. Л. Кретович. – М.: Наука, 1991. – 131 с.
3. Удобрения и качество сельскохозяйственных культур: монография / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: УП «Технопринт», 2005. – 276 с.
4. Пейве, Я. В. Биохимия почв / Я. В. Пейве. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 422 с.
5. Школьник, М. Я. Микроэлементы в жизни растений / М. Я. Школьник. – Л.: Наука, 1974. – 324 с.
6. Митрохина, О. А. Некорневые обработки посевов озимой пшеницы микроэлементами в различные фазы развития / О. А. Митрохина // Земледелие. – 2014. – № 5. – С. 30–31.
7. Баранова, Э. В. Влияние микроэлементов на фотосинтетический потенциал и урожайность яровой пшеницы / Э. В. Баранова // Сборник статей: Междунар.

науч. конф. молодых ученых и специалистов, Москва, 23–24 апреля 2009 г. / Изд-во РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева. – М., 2009. – С. 8–11.

8. *Иодковская, А. А.* Влияние медьсодержащих удобрений на качество озимой пшеницы / А. А. Иодковская // *Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. научн. тр. / УО «ГГАУ»*; ред.: В. К. Пестис. – Гродно, 2005. – Т. 4, Ч. 1. – С. 19–23.

9. *Коданев, И. М.* Повышение качества зерна / И. М. Коданев. – М.: Колос, 1976. – 304 с.

10. *Штотц, Л–П.* Современное сельское хозяйство / Л–П Штотц; пер. с нем. – Минск: Эволайн, 2012. – 352 с.

11. *Аристархов, А. Н.* Действие микроудобрений на урожайность, сбор белка, качество продукции зерновых и зернобобовых культур / А. Н. Аристархов, В. П. Толстоусов, А. Ф. Харитоновна // *Агрохимия*. – 2010. – № 3. – С. 36–49.

12. *Тавровская, О. Л.* Применение микроудобрений под зерновые культуры в странах Западной Европы / О. Л. Тавровская // *Химизация сельского хозяйства*. – 1991. – № 9. – С. 103–106.

13. *Куликович, С. Н.* Озимая пшеница в вопросах и ответах / С. Н. Куликович, В. С. Бобер. – Минск: Наша идея, 2012. – 320 с.

14. *Вильдфлуш, И. Р.* Эффективность совместного внесения КАС с микроудобрениями при возделывании озимой пшеницы и тритикале / И. Р. Вильдфлуш, Э. М. Батыршаев // *Почвоведение и агрохимия*. – 2009. – № 1. – С. 206–214.

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

16. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

17. *Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов / Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова.* – Минск: Беларус. наука, 2012. – 288 с.

## THE EFFECT OF MICROFERTILITIES OF ADOB ON THE YIELD AND QUALITY OF GRAIN OF WINTER WHEAT ON THE SOD-PODZOLIC HIGH CULTURED LIGHT LOAMY SOIL

N. S. Ivanova

### Summary

The article presents the results of research on the effect of various types of microfertilizers ADOB on the yield and quality of winter wheat when cultivated on sod-podzolic highly cultivated light loamy soil. It was established that double foliar top dressing of winter wheat with ADOB microfertilizers contributes to an increase in grain yield by 3,2–5,4 q/ha, gluten content – by 0,6–2,9 %, crude protein content – by 0,7 %, yield crude protein – by 0,7 centners/ha with a profitability of 108,0–224,5 %.

*Поступила 05.12.18*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАБАЧКА В РАЗНЫХ СИСТЕМАХ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ВЫСОКОКУЛЬТУРЕННОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ**

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

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Методы ведения аграрного хозяйства в современном мире основаны на интенсивных технологиях, благодаря которым стало возможным наращивать объемы сельскохозяйственного производства. Однако зачастую от этого страдает качество продукции. Кроме того, использование интенсивных методов хозяйствования может оказывать неблагоприятное воздействие на окружающую среду и вызывать отрицательные эффекты, такие как загрязнение почвы, воды и воздуха, деградация земель, снижение биоразнообразия, что в конечном итоге сказывается на человеке. Данные недостатки стали импульсом к развитию альтернативного (органического, биоорганического, экологически чистого) направления.

Органическое сельское хозяйство может решить ряд проблем, возникших в современном мире в сфере сельского хозяйства, ведь это форма ведения аграрного производства, которое исключает применение синтетических агрохимикатов, пестицидов, фунгицидов, антибиотиков, гормональных препаратов, пищевых добавок неорганического происхождения, генно-модифицированных (генно-инженерных, трансгенных) организмов [1, 2].

Органическое сельское хозяйство практикуется в 160 странах мира, в 84 странах действуют собственные законы об органическом сельском хозяйстве [3].

В Республике Беларусь органическим сельским хозяйством занимаются только отдельные фермерские хозяйства. Толчок развитию данного направления в республике, возможно, даст принятый Палатой представителей 2.10.2018 г., одобренный Советом Республики 24.10.2018 г. и подписанный Президентом Республики Беларусь 9.11.2018 г. № 144-3 «Закон Республики Беларусь о производстве и обращении органической продукции».

В Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Беларуси до 2030 г. предусмотрено формирование экологически безопасного производства сельскохозяйственных продуктов, конкурентоспособных на мировом рынке. Одно из главных направлений развития сельского хозяйства – рост доли органического земледелия к 2030 г. до 3–4 % [4, 5].

Кабачок является ценнейшим пищевым и диетическим продуктом питания с минимальной калорийностью и максимальной биологической ценностью [6]. Несмотря на то что культура является традиционной для Республики Беларусь и хорошо произрастает в почвенно-климатических условиях страны, основной

проблемой, не позволяющей удовлетворить внутреннюю потребность в кабачке, является особенность данной культуры накапливать нитратный азот в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации (400 мг/кг) на пищевые цели и (150 мг/кг) для переработки на детское питание. Для решения проблемы, касающейся выращивания кабачка высокого качества с низким содержанием нитратов, данная культура была определена Министерством сельского хозяйства и продовольствия РБ в качестве одной из приоритетных для выращивания в органическом земледелии.

Цель исследований – дать сравнительную агроэкономическую оценку возделывания кабачка в разных системах земледелия на высокоплодородной дерново-подзолистой суглинистой почве.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Технологический стационарный опыт проведен на опытном поле Института почвоведения и агрохимии, расположенном в ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой, оглеенной внизу, суглинистой, развивающейся на мощном легком лессовидном суглинке почве. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы перед закладкой опыта:  $pH_{KCl}$  5,7–6,0, содержание гумуса – 2,52–2,99 %, подвижных форм  $P_2O_5$  – 733–818 мг/кг и  $K_2O$  – 375–404 мг/кг почвы, обменных соединений  $CaO$  – 1796–1878 мг/кг и  $MgO$  – 225–269 мг/кг почвы.

Исследования проведены в звене севооборота: картофель (2014, 2015 гг.) – гречиха (2015, 2016 гг.) – кабачок (2016, 2017 гг.). Предшественник – овес. Повторность вариантов в опыте четырехкратная, размер делянки – 29,4 м<sup>2</sup>. Опыт заложен в двух последовательно открывающихся полях. В каждом поле изучали возделывание культур в трех системах земледелия. Традиционная система земледелия предусматривала применение минеральных удобрений и химических средств защиты растений. Органическая система земледелия исключала применение минеральных удобрений и пестицидов, предусматривала применение агротехнических и биологических средств защиты растений, запарку соломы и сидератов, а также внесение удобрений, приготовленных из натуральных продуктов. Биологизированная система земледелия (используются отдельные методы органического земледелия) включала варианты аналогичные органической системе при химической защите растений. При возделывании кабачка защита растений не проводилась и его возделывание в биологизированной системе земледелия не отличалось от выращивания в органической.

В традиционной системе земледелия под кабачок вносили подстилочный навоз КРС (ПН КРС) в дозе 60 т/га осенью под вспашку, карбамид, аммофос и хлористый калий ( $N_{60}P_{30}K_{60}$ ) – весной под культивацию. В биологизированной и органической системах земледелия подстилочный навоз КРС вносили в дозе 40 т/га осенью под вспашку, Вермикомпост и ПолиФунКур (ферментированный куриный помет) – весной под культивацию. Микробное удобрение Байкал ЭМ1 внесено в 2 приема по 3 л/га: обработка почвы до посева и некорневая обработка в начале бутонизации растений. Микробиологическое удобрение Жыцень в дозе 3 л/га внесено по соломе гречихи. Количество элементов питания, поступивших в почву с органическими удобрениями, представлено в табл. 1.

**Количество элементов питания, поступивших в почву с органическими удобрениями под урожай кабачка, кг/га (среднее за 2016–2017 гг.)**

Вариант	C	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
<i>Традиционная система земледелия</i>						
Подстилочный навоз КРС 60 т/га	4677	318	141	297	120	72
<i>Органическая и биологизированная системы земледелия</i>						
Подстилочный навоз КРС, 40 т/га	3378	216	104	254	106	68
Вермикомпост, 5 т/га	330	37	23	42	11	11
Солома гречихи (биологизированная), 3,2 т/га	1344	13	26	78	15	7
Солома гречихи (органическая), 2,5 т/га	1050	11	20	61	11	6
ПолиФунКур, 0,5 т/га	119	12	10	11	9	3

В результате изучения и анализа характеристики сортов и гибридов кабачка для возделывания в системе органического земледелия выбран ранний высокоурожайный гибрид F1 Каризма. Vegetационный период от всходов до начала плодоношения – 43–44 дня, гибрид характеризуется длительным периодом сбора урожая и отличными вкусовыми качествами. Предназначен для реализации в свежем виде и переработки. Требуется минимум затрат на профилактические обработки за счет высокого уровня имеющихся устойчивостей к болезням.

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

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

В плодах кабачка определяли следующие показатели: нитраты – ионометрическим методом (ГОСТ 13496.19-93), критические и незаменимые аминокислоты – на жидкостном хроматографе Agilent 1100 после предварительной подготовки проб методом гидролиза (6 Н соляная кислота, 108± 20С в течение суток).

Статистическую обработку результатов осуществляли согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова [7] с использованием MS Excel 2010.

Метеорологические условия периодов вегетации кабачка 2016–2017 гг. различались как между собой, так и в сравнении со среднемноголетними показателями. Сумма атмосферных осадков в мае 2016 г. была на уровне среднемноголетней – 55 мм. Повышенная температура воздуха (15,5 °С) в этот период способствовала быстрому прогреванию верхнего слоя почвы до оптимального для посева кабачка уровня. В июне стояла достаточно тёплая и сухая погода: среднесуточная температура была выше среднемноголетней на 2,7 °С, количество осадков – на 28 мм ниже среднемноголетнего значения. В целом весь период весенне-летней вегетации характеризуется как слабозасушливый, ГТК составил 1,29.

Метеорологические условия вегетационного периода 2017 г. находились на уровне среднемноголетних показателей. Только июль характеризовался избыточным увлажнением (150,0 мм осадков) по сравнению со среднемноголетними значениями (91,0 мм). Гидротермический коэффициент увлажнения (ГТК) за весь вегетационный период составил 1,49, что соответствует оптимальному увлажнению.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что погодные условия 2017 г. были более благоприятны для роста и развития кабачка, в результате урожайность в среднем по опыту была на 20 % выше, чем в 2016 г. (табл. 2).

Таблица 2

### Влияние разных систем земледелия и удобрений на урожайность кабачка, среднее за 2016–2017 гг., т/га

Вариант	Урожайность			Прибавка к контролю / к фону	Недобор урожая
	2016 г.	2017 г.	среднее		
<i>Традиционная система земледелия</i>					
Без удобрений (контроль)	79,0	82,0	80,5	–	–
ПН КРС, 60 т/га	134,5	142,4	138,5	58,0	–
ПН КРС, 60 т/га + N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	144,1	148,2	146,2	65,7	–
<i>Биологизированная система земледелия</i>					
Солома – Фон	82,6	92,5	87,6	–	–
Фон + ПН КРС, 40 т/га	115,8	142,3	129,1	41,5	–
Фон + ПолиФунКур, 0,5 т/га	118,6	125,4	122,0	34,5	–
Фон + Вермикомпост, 5 т/га	110,8	130,2	120,5	32,9	–
Фон + Байкал ЭМ1, 6 л/га	106,6	123,5	115,1	27,5	–
<i>Органическая система земледелия</i>					
Солома – Фон	76,9	99,6	88,3	–	–
Фон + ПН КРС, 40 т/га	90,2	134,8	112,5	24,3	–16,6
Фон + ПолиФунКур, 0,5 т/га	74,6	98,4	86,5	–1,8	–35,5
Фон + Вермикомпост, 5 т/га	75,4	110,6	93,0	4,8	–27,5
Фон + Байкал ЭМ1, 6 л/га	61,2	95,8	78,5	–9,8	–36,6
Фон + ПолиФунКур, 2% р-р	69,6	98,8	84,2	–4,1	х
Фон + Жыцень, 3 л/га	82,1	108,7	95,4	7,1	х
НСР <sub>05</sub>	6,2	7,3		6,8	–

В среднем за два года на дерново-подзолистой высокоокультуренной суглинистой почве при соблюдении традиционных элементов возделывания кабачка урожайность составила 80,5 т/га (контроль). Внесение подстилочного навоза КРС в дозе 60 т/га способствовало росту урожайности на 58,0 т/га. Применение N<sub>60</sub>P<sub>30</sub>K<sub>60</sub> на фоне подстилочного навоза КРС обеспечило прибавку урожайности 7,7 т/га, или 13 % к навозному фону.

В биологизированной системе земледелия в варианте, где осенью была запахана солома гречихи (фон 1), средняя урожайность кабачка за два года составила 87,6 т/га. Максимальную урожайность в блоке обеспечило внесение подстилочного навоза КРС в дозе 40 т/га – 129,1 т/га, что составило 47 % к

фону 1. Прибавка урожайности в результате применения 0,5 т/га биоудобрения ПолиФунКур, полученного в процессе аэробной ферментации птичьего помёта, была несколько ниже и составила 34,5 т/га, или 39 % к фону 1. Существенную прибавку урожая по сравнению с фоном обеспечило также внесение Вермикомпоста в дозе 5 т/га (32,9 т/га) и двукратная обработка удобрением Байкал ЭМ1 (27,5 т/га).

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

В среднем за 2 года при органоминеральной системе удобрения урожайность кабачка составила 146,2 т/га, в биологизированной системе земледелия в среднем по удобренным вариантам – 121,7 т/га, в органической – 91,7 т/га. Таким образом, третья культура севооборота при возделывании в органической системе земледелия снизила урожайность в среднем на 37 % по сравнению с органоминеральной системой удобрения и на 25 % по сравнению с биологизированной системой земледелия (рис. 1).

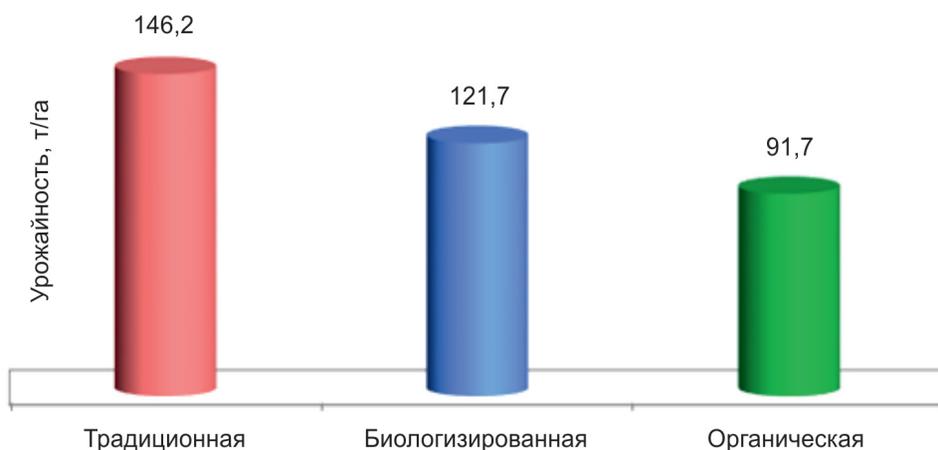


Рис. Сравнительная эффективность разных систем возделывания кабачка, НСР<sub>05</sub> 6,2 т/га (среднее за 2016–2017 гг.)

Разница в урожае между одинаковыми вариантами в биологической и органической системах земледелия в определенной степени связана с разной метаболической активностью почвы, которая сложилась в предыдущие 4 года в результате отказа от химических средств защиты растений в органической системе земледелия. В рамках договора о научном сотрудничестве коллегами из Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН определена микробная биомасса и ее метаболическая активность в почве в блоках с разными

системами земледелия. Установлено, что средний метаболический коэффициент по традиционной системе составляет 1,21, по биологизированной – 1,11, по органической – 0,80, т.е. микробное сообщество почвы гораздо лучше себя чувствует при органической системе возделывания и, соответственно, в больших количествах потребляет органический углерод, а вместе с ним и азот.

Таким образом, в результате внесения удобрений с высокой биологической активностью и невысоким содержанием элементов питания (ПолиФунКур) или полным их отсутствием (Байкал ЭМ1) при использовании биологической защиты посевов из-за нехватки, в первую очередь, минерального азота урожайность культуры снижается по сравнению с аналогичными вариантами, где применялась химическая защита посевов даже в последствии.

Накопление нитратов в плодах кабачка представляет естественный физиологический процесс и зависит от погодных условий. ПДК содержания нитратов (NO<sub>3</sub>) в плодах кабачка на продовольственные цели составляет 400 мг/кг, на детское питание – 150 мг/кг [8]. В среднем за два года данные лабораторных исследований показали, что чем более зрелый плод, тем меньше содержит нитратов. Установлено также, что в кабачках каждого последующего сбора накапливается нитратов меньше, чем в предыдущем, особенно это было характерно для урожая в биологизированной и органической системах земледелия. Плоды третьего сбора в блоках с биологизированной и органической системами земледелия практически были пригодны для переработки на детское питание. Весь урожай четвертого сбора по содержанию нитратов проходил на детское питание (табл. 3). В среднем содержание нитратов в плодах кабачка, выращенных в традиционной системе земледелия, было на 27 % выше, чем в органической.

Таблица 3

**Содержание нитратов в плодах кабачка в зависимости от удобрений  
(среднее за 2016–2017 гг.)**

Вариант	Содержание нитратов, мг NO <sub>3</sub> /кг				
	1-й сбор	2-й сбор	3-й сбор	4-й сбор	среднее
<i>Традиционная система земледелия</i>					
Без удобрений (контроль)	400	283	180	126	247
Навоз, 60 т/га	452	343	252	149	299
Навоз, 60 т/га + N60P30K60	522	488	217	132	340
Среднее	458	371	216	136	<b>295</b>
<i>Биологизированная система земледелия</i>					
Солома – Фон 1	395	256	150	142	236
Фон 1 + ПН КРС, 40 т/га	420	302	167	149	260
Фон 1 + ПолиФунКур, 0,5 т/га	462	293	145	144	261
Фон 1 + Вермикомпост, 5 т/га	395	306	139	134	244
Фон 1 + Байкал ЭМ1, 6 л/га	426	345	171	109	263
Среднее	420	300	154	136	<b>253</b>
<i>Органическая система земледелия</i>					
Солома – Фон 2	376	223	138	112	212
Фон 2 + ПН КРС, 40 т/га	412	285	158	124	245
Фон 2 + ПолиФунКур, 0,5 т/га	450	285	114	94	236

Вариант	Содержание нитратов, мг NO <sub>3</sub> /кг				
	1-й сбор	2-й сбор	3-й сбор	4-й сбор	среднее
Фон 2 + Вермикомпост, 5 т/га	382	292	127	89	223
Фон 2 + Байкал ЭМ1, 6 л/га	421	285	162	108	244
Фон 2+ ПолиФунКур, 2% р-р	410	277	103	99	222
Фон 2 + Жыцень, 3 л/га	472	305	107	97	245
Среднее	418	238	130	103	232

Применение удобрений оказало существенное влияние на содержание белка в плодах кабачка: максимальное его содержание (12,4 %) отмечено в варианте с органоминеральной системой удобрения (табл. 4). В органической системе земледелия в зависимости от удобрения содержание белка было на уровне 9,0–11,2 %.

Содержание незаменимых аминокислот определяет биологическую ценность белка кабачка. Установлено, что суммарное содержание как критических, так и незаменимых аминокислот в плодах кабачка имело выраженную тенденцию к снижению при органической системе земледелия по сравнению с органоминеральной системой удобрения (табл. 4). Содержание критических и незаменимых аминокислот в плодах кабачка при органоминеральной системе удобрения в сумме составило 9,50 и 24,11 г/кг соответственно, в то время как при органической системе земледелия в зависимости от системы удобрения сумма критических аминокислот составила 7,43–8,46 г/кг, незаменимых – 18,22–20,60 г/кг.

Таблица 4

**Влияние систем земледелия и удобрений на содержание незаменимых и критических аминокислот в плодах кабачка (на сухое вещество) (среднее за 2 года)**

Вариант	Белок, %	Лизин	Треонин	Метионин	Валин	Изолейцин	Лейцин	Фенилаланин	Сумма аминокислот, г/кг	
									критические	незаменимые
<i>Традиционная система земледелия</i>										
ПН КРС, 60 т/га + N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	12,4	4,03	3,58	1,89	4,62	2,48	4,24	3,29	9,50	24,11
<i>Органическая система земледелия</i>										
Солома – Фон	9,7	3,49	3,06	1,27	3,97	3,27	3,49	1,59	8,46	20,11
Фон + ПН КРС, 40 т/га	9,7	2,58	3,15	1,17	3,61	2,45	3,55	1,72	7,80	18,22
Фон+ ПолиФунКур, 0,5 т/га	9,0	2,84	3,03	1,24	4,05	2,63	3,62	1,84	7,43	19,22
Фон + Вермикомпост, 5 т/га	10,3	2,49	3,63	1,60	4,29	2,91	3,76	1,93	7,60	20,60
Фон + Байкал ЭМ1, 6 л/га	9,4	2,68	3,00	1,22	3,98	2,29	3,61	1,83	7,49	18,58
Фон + ПолиФунКур, 2% р-р	9,4	2,74	3,61	1,50	4,30	2,90	3,65	1,84	7,87	20,54
Фон + Жыцень, 3 л/га	11,2	3,05	3,38	1,46	4,07	2,30	4,02	2,20	7,81	20,45

В условиях полевого опыта снижение урожайности культур в системе органического земледелия в сравнении с традиционной технологией возделывания наблюдалось по всем вариантам применения органических удобрений и биопре-

паратов. Расчет изменения денежной выручки сделан в USD/га на основе средней цены, по которой был сдан кабачок на Столбцовский плодоовощной завод (25 USD/т), а также дополнительных разноуровневых затрат, связанных с применением микробиологических, органических удобрений и биопрепаратов (в ценах на 2017 г.).

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

Таблица 5

**Изменение денежной выручки при возделывании кабачка в системе органического земледелия с учетом затрат при применении различных систем удобрения и защиты**

Вариант	Урожайность, т/га	Изменение (Δ) урожайности, т/га	Затраты на удобрения		Потери денежной выручки, USD/га	
			всего	Δ к традиционной	за счет снижения урожайности	с учетом затрат на удобрения
<i>Традиционная система земледелия</i>						
ПН КРС, 60 т/га+N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	146,2		281			
<i>Органическая система земледелия*</i>						
Солома – фон	88,3	-57,9	–	-281	-1448	-1166
Фон + ПН КРС, 40 т/га	112,5	-33,7	144	-137	-843	-706
Фон + ПолиФунКур, 0,5 т/га	86,5	-59,7	150	-131	-1493	-1362
Фон + Вермикомпост, 5 т/га	93	-53,2	500	219	-1330	-1549
Фон + Байкал, 6 л/га	78,5	-67,7	35	-246	-1693	-1447
Фон + ПолиФунКур, 2% р-р	84,2	-62	15	-266	-1550	-1284
Фон + Жыцень, 3 л/га	82,1	-64,1	15	-266	-1603	-1336

Наименьшие потери денежной выручки в органической системе земледелия, в сравнении с традиционной технологией возделывания кабачка, наблюдались при внесении по фону соломы подстилочного навоза КРС в дозе 40 т/га – 706 USD/га, наибольшие потери денежной выручки отмечены при применении биоорганических удобрений Вермикомпост, ПолиФунКур и микробного удобрения Байкал ЭМ1.

## ВЫВОДЫ

На дерново-подзолистой высококультуренной суглинистой почве максимальную урожайность кабачка в среднем за 2 года обеспечило применение N<sub>60</sub>P<sub>30</sub>K<sub>60</sub> на фоне подстилочного навоза КРС в дозе 60 т/га – 146,2 т/га. В органической системе земледелия урожайность на фоне заправки соломы гречихи составила 88,3 т/га, достоверную прибавку урожая к фону обеспечило внесение 40 т/га подстилочного навоза КРС – 24,3 т/га (28 %) и обработка соломы микробиологическим удобрением Жыцень – 7,1 т/га (8 %); применение бактериального удобрения Байкал ЭМ1 способствовало снижению урожайности на 9,8 т/га; внесение ПолиФункура и Вермикомпоста в изучаемых дозах существенного влияния на урожай-

ность кабачка по сравнению с фоном не оказало. В целом урожайность кабачка при возделывании в органической системе земледелия была ниже на 37 % по сравнению с органоминеральной системой удобрения.

Содержание нитратов в кабачках в большей степени зависело от зрелости плода и срока сбора урожая и мало зависело от системы удобрения. Кабачок 3-го сбора в блоках с биологизированной и органической системами земледелия был пригоден для переработки на детское питание (ПДК 150 мг/кг). Весь урожай 4-го сбора по содержанию нитратов проходил на детское питание. В среднем содержание нитратов в плодах кабачка, выращенных в органической системе земледелия, было на 27 % ниже, чем в традиционной.

Максимальное содержание белка в плодах кабачка (12,4 %) отмечено в варианте с органоминеральной системой удобрения при традиционной системе земледелия. В органической системе земледелия в зависимости от удобрения содержание белка в плодах составило 9,0–11,2 %, содержание незаменимых аминокислот имело выраженную тенденцию к снижению по сравнению с органоминеральной системой удобрения.

При средней цене на кабачок для промышленной переработки 25 USD/т потери денежной выручки в органическом земледелии, в сравнении с традиционной технологией возделывания кабачка, составили 706–1549 USD/га. Поэтому, для того чтобы сельхозпроизводители органической продукции находились в равных условиях с производителями традиционной растениеводческой продукции, цены на органическую продукцию должны быть как минимум на 30 % выше.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Поречина, Н. Н.* Органическое сельское хозяйство Беларуси: перспективы развития / Н. И. Поречина: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Минск: Донарит, 2012. – С. 104.
2. *Лавыш, В. Г.* Органическое сельское хозяйство: мировой опыт и возможности развития в Республике Беларусь / В. Г. Лавыш // Беларусь в современном мире: материалы VII Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 22 мая 2014 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомельский гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого; под общ. ред. В. В. Кириенко. – Гомель, 2014. – С. 219–221.
3. *Willer, H.* Organic Agriculture Worldwide 2017: Current Statistics / H. Willer, J. Lernoud. – Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), 2017.
4. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года // М-во экономики Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.economy.gov.by/dadvfiles/001251\\_55175\\_NSUR.pdf](http://www.economy.gov.by/dadvfiles/001251_55175_NSUR.pdf). – Дата доступа: 29.09.2017.
5. Национальный план действий по развитию «зелёной» экономики в Республике Беларусь до 2020 года: Постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 21.12.2016 г. № 1061 / Совет Министров РБ. – Режим доступа: <http://www.government.by/upload/docs/fileb9cfb7e9401807aa.PDF>. – Дата доступа: 20.03.2017.
6. *Зволинский, В. П.* Производство овоще-бахчевых культур в условиях Астраханской области / В. П. Зволинский, Н. В. Тютюма, З. С. Таранова. – Волгоград: Волгоградская ГСХА, 2011. – 292 с.

7. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

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

## EFFICIENCY OF ZUCCHINI CULTIVATION IN VARIOUS FARMING SYSTEMS ON THE SOD-PODZOLIC HIGHLY CULTURED LOAMY SOIL

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

### Summary

It was found that on highly fertile sod-podzolic loamy soil under organic farming system on the background of buckwheat straw plowing the yield of zucchini amounted to 88.3 t/ha. The significant yield increase compared to the background (24,3 t/ha, or 28 %) was obtained with the application of 40 t/ha cattle manure. Average yield of zucchini 112,5 t/ha ensured the lowest losses of proceeding in cash (706 USD) in comparison with the traditional technology. On the average maintenance of nitrates in the zucchini grown in the organic system of agriculture was on 27 % below, than in traditional.

*Поступила 29.11.18*

УДК 631.8.022.3:635.01

## ИЗМЕНЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Н. Ю. Жабровская, Г. В. Пироговская, Н. Н. Семененко

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

### ВВЕДЕНИЕ

Основные химические компоненты овощных растений, имеющие пищевую ценность для человека, – сахара, белки, органические кислоты, витамины, минеральные вещества. Важным показателем, характеризующим питательную ценность овощей, является также содержание сухих веществ, определяющих выход полезной продукции. У многих овощей содержание сухих веществ, вследствие высокой воднённости тканей, небольшое (4–9 %). Оно значительно больше у капусты и лука (10–15 %), а также чеснока (30–35 %). В продуктивных органах овощных растений накапливается 3–8 % сахаров. Очень мало сахаров содержится в огурцах – 1–1,5 %. Сахара овощей на 70–90 % представлены глюкозой, фруктозой и сахарозой. В капусте, томатах, перце, огурцах, баклажанах, зелёном горошке, арбузах преобладают моносахариды, а в луке – сахароза. В тканях большинства овощей

накапливается значительное количество органических кислот. Меньше их содержится в луке, огурцах, капусте, дынях, арбузах, в листьях шпината – 0,1–0,2 %, значительно больше – в томатах (0,5 %), щавеле и ревене (1–1,5 %). В овощах много содержится аскорбиновой кислоты, цитрина и провитамина А-каротина. По многолетним данным научно-исследовательских учреждений содержание аскорбиновой кислоты в зелени укропа составляло от 52 до 242 мг %. Укроп покрывает суточную потребность в витамине С при употреблении его в количестве 40–50 г. В сладком перце в фазе технической зрелости содержится 140–270 мг % аскорбиновой кислоты. В солнечную жаркую погоду, т.е. при усилении солнечной радиации и повышении температуры, накопление сахаров и аскорбиновой кислоты в овощах, как правило, увеличивается, тогда как при влажной погоде и поливах количество сахаров и аскорбиновой кислоты уменьшается [1–5].

Овощные растения потребляют довольно много питательных веществ на формирование продуктивных органов. Поэтому одно из главных требований при выращивании овощных культур – обеспечение сбалансированного питания растений на всех стадиях. Недостаток одного из элементов в процессе вегетативного роста обычно приводит к существенному снижению урожайности овощных культур, а в период формирования продуктивных органов как к снижению выхода товарной продукции, так и её качества. Так, например, при недостатке фосфора или калия в овощах снижается накопление сахаров и аскорбиновой кислоты, а при недостатке азота наблюдается понижение концентрации белков и каротина [1–9].

Не менее вредным является избыточное азотное питание, вызывающее уменьшение накопления сахаров и аскорбиновой кислоты и повышение концентрации нитратов. Поэтому при внесении удобрений под овощные культуры строго следят за тем, чтобы азот в достаточной степени был сбалансирован фосфором и калием. Очень часто применяется дробное внесение азотных удобрений небольшими дозами с тем, чтобы предотвратить накопление в овощах опасной концентрации нитратов. Особенно это важно при выращивании зеленых овощей [2, 4, 5, 7, 10].

Как отметил В. А. Толстоусов, одна из причин ухудшения качества – применение удобрений без учета потребности растений, почвенно-климатических условий и особенностей технологий возделывания растений [11].

По данным А. А. Казаковой, удобрение навозом в дозе 30 т/га повысило урожай лука-батун, но при этом содержание сухих веществ и аскорбиновой кислоты в листьях снизилось, содержание сахаров повысилось [12].

В. М. Бадьина отметила, что при увеличении доз органических удобрений под капусту происходило некоторое снижение содержания сухих веществ, сахаров, витамина С. Но, повышая урожай, удобрения увеличивают сбор этих веществ с единицы площади [13].

Сравнивая действие минеральных и органических удобрений, Blank D. и др. отметили, что при применении навоза были получены более крупные головки салата, которые содержали большее количество сухих веществ и меньшее количество нитратов [14].

По результатам опытов В. А. Борисова и В. Ф. Кулиша с петрушкой удобрения существенного влияния на содержание сухого вещества, сахаров и аскорбиновой кислоты не оказали.

Evers Aino Maija, дав обзор исследований по определению влияния удобрений на качество овощной продукции, проведенных в Финляндии и странах Скандина-

вии, отметил, что на содержание витамина С в растениях сильно влияет генотип и интенсивность света. Оптимальная доза азота оказывает на этот показатель небольшое влияние, но избышек азота снижает содержание витамина С, влияние удобрений на содержание сахаров невелико [16].

Таким образом, учитывая особенности формирования продуктивных органов и влияние на качество продукции режима питания и других условий выращивания, возможно получение высоких урожаев овощных культур с оптимальным содержанием полезных химических веществ.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние удобрений на качество овощных культур проводилось на опытном поле РУП «Институт овощеводства», ОАО «Гастелловское», ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Минского района Минской области на дерново-подзолистых легкосуглинистых, развивающихся на мощных лессовидных суглинках почвах.

Закладку и проведение полевых опытов проводили в соответствии с методическими указаниями по закладке полевых опытов. Агрохимические показатели почвы: гумус – 2,7–2,9 %, рН 6,0–6,5, 276–365 мг/кг почвы подвижного фосфора и 278–349 мг/кг почвы обменного калия.

Предметом изучения явились овощные культуры. Поставленные задачи реализовывались путем закладки полевых опытов с различными дозами удобрений под овощные культуры.

Схемы возделывания соответствовали технологическим регламентам, принятым в овощеводстве.

Лабораторные исследования биохимических показателей овощных культур проводили по общепринятым методикам.

Статистическая обработка результатов исследований проводилась с использованием программ для дисперсионного анализа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате многолетних исследований накоплены данные по динамике биохимических показателей овощных культур в зависимости от применяемых удобрений и метеорологических условий. В таблице представлены диапазоны изменения биохимических показателей.

Таблица

**Биохимические показатели овощных культур**

Культура	Сухое вещество, %	Сахара, %	Аскорбиновая кислота, мг %	Каротин, мг %	Нитраты сырой массы, мг/кг
Лук на зеленый лист	6,2–9,5	3,13–4,78	37,5–43,8	–*	154–684
Салат листовой	7,5–11,8	–*	–*	–*	296–1616
Салат кочанный	4,2–9,1	1,24–1,49	22,6–28,5	–*	167–1764
Укроп	12,8–21,8	2,74–3,84	17–175	–*	702–2785
Кинза	6,3–8,5	–*	–*	–*	1975–2787
Петрушка листовая	5,1–7,9	–*	–*	–*	218–1916

Культура	Сухое вещество, %	Сахара, %	Аскорбиновая кислота, мг %	Каротин, мг %	Нитраты сырой массы, мг/кг
Редис	3,8–11,0	1,0–3,86	1,3–11,8	–*	220–1013
Капуста цветная	8,5–9,3	2,5–5,4	57,0–73,9	–*	227–1220
Морковь	9,2–11,3	6,5–8,2	–*	11,3–12,7	170–256
Свекла столовая	10,4–12,2	13,4–15,5	–*	–*	346–3200
Кабачок	3,9–6,2	2,5–4,5	27–33	–*	254–980
Тыква	6,5–7,8	3,7–5,1	–*	4,8–5,9	50–180

\* Показатель не определялся.

Анализ биохимического состава растений лука при выращивании на зеленый лист (сорт Стригуновский) показал незначительное варьирование содержания сухого вещества в зависимости от метеорологических условий, минеральных и органических удобрений (6,2–9,5 %). Вероятно, сказывается использование потенциала материнской луковицы для выгонки зеленого листа. Наибольшее содержание сахаров в луке на зеленый лист по годам было выше в вариантах без удобрений (4,03–4,78 %). Внесение как минеральных, так и органических удобрений снижало содержание сахаров до 3,13–4,25 %. Содержание аскорбиновой кислоты, напротив, повышалось с 37,5 мг % в варианте без удобрений до 43,8 мг % при внесении  $N_{90}P_{60}K_{90}$ , при дальнейшем увеличении дозы азотных удобрений – снижалось. Одним из главных факторов, определяющих уровень нитратов в растениях, является доза азотных удобрений при последовательном увеличении с 30 до 120 кг га д.в. на фоне  $P_{60}K_{90}$ . Содержание нитратов в листьях лука в среднем за годы исследований повышалось с 379 до 684 мг/кг сырой массы, при 154 мг/кг – на контроле без удобрений, ПДК – 600 мг/кг. В опытах не установлено зависимости изменения содержания нитратов от применения фосфорных и калийных удобрений.

В листовом салате в стадии потребительской зрелости содержание сухого вещества составляло 7,5–11,8 % и существенно не зависело от применяемых удобрений. Внесение оптимальных доз комплексных минеральных удобрений  $N_{60}P_{32}K_{70}$  с микроэлементами и эпином обеспечивало увеличение урожайности листового салата до 14,3 т/га и, соответственно, повышало сбор сухого вещества с единицы площади. Содержание нитратов в листовом салате – максимальное в начале стадии потребительской зрелости (20 июня – 910–1616 мг/кг сырой массы), ожидание срока сбора урожая без потери товарного качества снижает содержание нитратов (16 июля – 296–1366 мг/кг сырой массы), ПДК – 2000 мг/кг сырой массы. Во все сроки уборки минимальное значение отмечено в варианте без удобрений.

Процент сухого вещества в растениях кочанного салата (сорт Крупнокочанный) изменялся от 8,1–9,1 % в условиях низкой обеспеченности влагой до 4,2–5,1 % в более дождливые периоды. Влияние удобрений было незначительным. Содержание сахаров и аскорбиновой кислоты в кочанном салате было максимальным на варианте без удобрений, но в большей степени зависело от метеорологических условий, чем от вносимых удобрений. Салат имеет короткий период вегетации и при применении азотных удобрений накапливает значительное количество нитратов – от 539 мг/кг на варианте без удобрений до 1519 мг/кг при внесении  $N_{120}P_{60}K_{90}$  в среднем за годы исследований.

Урожай зелени укропа (сорт Грибовский) убирали в фазе хозяйственной зрелости, через 3–4 недели после появления всходов, когда растения образовали 5–7 листьев, до появления зонтиков. Укроп, выращенный в засушливых условиях, отличался более высоким содержанием сухого вещества (18,9–21,8 %) по сравнению с влажными (12,8–14,3 %). Содержание сахаров мало изменялось по годам и было максимальным на варианте без удобрений. При внесении как минеральных, так и органических удобрений отмечено незначительное уменьшение процента сахаров. В наших опытах содержание аскорбиновой кислоты сильно варьировало по годам от 17 до 175 мг %, причем резкое уменьшение отмечено при недостатке влаги, растения укропа быстро грубеют и теряют товарные качества. Укроп относится к культурам, накапливающим значительные количества нитратов. Продукция укропа убиралась в период интенсивного роста растений, содержание нитратов в ней изменялось в широких пределах от 702 до 2785 мг/кг (ПДК – 2000 мг/кг сырой массы) и в значительной степени зависело от уровня азотного питания.

Содержание сухого вещества в зелени кинзы в опытах составило 6,3–8,5 %. Как и в опытах с укропом, зелень кинзы собиралась в период интенсивного роста растений, этим можно объяснить высокое содержание нитратов – от 1975 мг/кг до 2787 мг/кг сырой массы при внесении  $N_{60}P_{60}K_{90}$ .

В опыте с петрушкой листовой содержание сухого вещества изменялось от 5,1 до 7,9 % и в большей степени зависело от режима влажности в момент уборки. Петрушка листовая – многоразового сбора, анализ данных по содержанию нитратов показывает, что более высокое содержание нитратов отмечено в период интенсивного роста листового аппарата (отбор 6 августа – от 621 до 1916 мг). Минимальное значение отмечено в варианте без удобрений, в дальнейшем уровень нитратов снижается и влияние удобрений, внесенных перед посевом, становится менее заметным (1 октября – 218–527 мг/кг сырой массы).

Изучение биохимических показателей корнеплодов редиса (сорт Жара) показало, что в зависимости от погодных условий содержание сухого вещества изменялось в пределах 3,8–11,0 %, сахаров – 1,0–3,86 %, аскорбиновой кислоты – 1,3–11,8 мг %. Максимальные значения по этим показателям отмечены в варианте без удобрений, внесение минеральных и органических удобрений значительно снижали содержание сахаров и аскорбиновой кислоты. Следует отметить, что в корнеплодах редиса содержание нитратов по годам сильно варьировало от 220 до 1013 мг/кг и зависело от доз азотных удобрений.

Анализ данных, полученных в опытах с цветной капустой (сорт Мовир 74), показал, что применение минеральных и органических удобрений повысило процент сухого вещества до 8,8–9,3 % по сравнению с контролем (8,5 %). На содержание сахаров удобрения не оказывали существенного влияния. Наибольшее (73,9 мг %) содержание аскорбиновой кислоты было отмечено при применении фосфорно-калийных удобрений в дозе  $P_{60}K_{90}$ . Увеличение доз азотного удобрения до  $N_{120}$  на фоне  $P_{60}K_{90}$  снижало этот показатель до 59,9 мг %. Содержание нитратов колебалось от 227 до 532 мг/кг сырой массы на варианте без внесения удобрений, следовательно, в значительной степени зависело от погодных условий. Внесение азотных удобрений от 30 до 120 кг/га д.в. увеличивало этот показатель в 1,5–2,1 раза. Между количеством азотных удобрений и содержанием нитратов в цветной капусте установлена прямая связь, коэффициент корреляции – 0,91–0,96.

В отдельные годы содержание нитратов при внесении торфо-навозного компоста было таким же, а в иногда и выше, чем при внесении минеральных удобрений.

В корнеплодах моркови (сорт Лявониха) содержание сухого вещества изменялось от 9,2 до 11,3 %, сахаров – от 6,5 до 8,2 %, каротина – 11,3–12,7 мг %. Продолжительный вегетационный период, вероятно, определяет то, что к моменту уборки существенной разницы по этим показателям между вариантами с разными дозами удобрений не отмечено.

Корнеплоды свеклы (сорт Прыгажуня) содержали во все годы исследований высокий процент сухого вещества (10,4–12,2), сахара (13,4–15,5). Для корнеплодов свеклы характерно высокое содержание нитратов. В отдельные годы на вариантах  $N_{90-120}P_{60}K_{90}$  и даже при внесении 40 т/га торфо-навозного компоста содержание нитратов достигало до 2800–3200 мг/кг сырой массы (ПДК – 1400 мг/кг сырой массы), вероятно, это было обусловлено интенсивностью биохимических процессов в растениях в момент уборки. В более благоприятные годы уровень содержания нитратов в корнеплодах на всех вариантах находился в рамках предельно допустимых концентраций, но тенденция повышения на вариантах с высокими дозами азотных удобрений сохранялась.

Фаза потребительской зрелости кабачка (сорт Грибовские) приходится на период интенсивного роста плодов, особенно в первые сборы, что и определяет высокое содержание нитратов в плодах в июне–июле – 654–980 мг/кг сырой массы (ПДК – 400 мг/кг), понижение температуры в августе–сентябре, следовательно, замедление биохимических процессов обуславливает минимальное содержание нитратов – 254–380 мг/кг сырой массы.

Плоды тыквы (сорт Золотая корона) характеризуются высоким содержанием сухих веществ (6,5–7,8 %), сахаров (3,7–5,1 %) и, самое важное, высоким содержанием каротина в мякоти (4,8–5,9 мг %). Вносимые удобрения существенно не повлияли на биохимические показатели, но при увеличении урожайности культуры отмечено повышение сбора этих веществ с единицы площади.

Таким образом, биохимические показатели, такие как содержание сахаров, аскорбиновой кислоты, каротина в большей степени зависели от метеорологических условий вегетационного периода, чем от системы удобрений. Вносимые удобрения, особенно азотные, существенно влияли на содержание нитратов в овощной продукции, особенно в тех растениях, в которых фаза потребительской зрелости приходилась на период интенсивного роста.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борисов, В. А.* Система удобрения овощных культур / В. А. Борисов. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – 392 с.
2. *Дьяченко, В. С.* Овощи и их пищевая ценность / В. С. Дьяченко. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 159 с.
3. *Ермаков, А. И.* Биохимия овощных культур / А. И. Ермаков, В. В. Арасимович. – Л.; М.: Изд-во с.-х. лит-ры, журналов и плакатов, 1961. – 544 с.
4. *Литвинов, С. С.* Выращивание овощей для детского и диетического питания / С. С. Литвинов, В. А. Борисов М., 1998. – 114 с.
5. *Пругар, Я.* Избыточный азот в овощах / Я Пругар, А. Пругарова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 127 с.

6. *Сирота, С. М.* Влияние длительного систематического применения удобрений на урожайность и качество овощных культур / С. М. Сирота, М. А. Беляков // *Агрохимия*. – 2001. – № 7. – С. 29–32.
7. *Сокол, П. Ф.* Улучшение качества продукции овощных и бахчевых культур / П. Ф. Сокол. – М.: Колос, 1978. – 293 с.
8. *Якименко, В. Н.* Калийные удобрения под овощные культуры / В. Н. Якименко // *Химизация сельского хозяйства*. – 1991. – № 9. – С. 48–50.
9. *Брагина, В. А.* Изучение на дерново-подзолистой почве форм азотных и калийных удобрений / В. А. Брагина // *Удобрение овощных культур в открытом грунте*. – М., 1978. – С. 13–29.
10. *Жабровская, Н. Ю.* Влияние удобрений на урожайность и качество лука на зеленое перо и кочанного салата: автореф. дис. ...канд, с.-х. наук: 06.01.04 / Н. Ю. Жабровская; БелНИИО. – Минск, 1998. – 19 с.
11. *Толстоусов, В. П.* Удобрение и качество урожая / В. П. Толстоусов. – М.: Колос, 1974. – С. 154.
12. *Казакова, А. А.* Лук / А. А. Казакова. – Л.: Колос, 1978. – 222 с.
13. *Бадьина, В. М.* Действие и последствие органических удобрений на урожайность, качество овощных культур и плодородие почвы: автореф. дис. ....канд. с.-х. наук: 06.01.04 / В.М. Бадьина; БелНИИКПО. – Горки: БСХА, 1989. – 18 с.
14. *Blanc, D.* Die Wirkung der Dungung auf Ertrag und Qualitat von Tomaten und Salat unter Glas / D. Blanc, M. Montrone, Ch. Otto // *Gartenbauwissenschaft*. – 1983. – № 1. – P. 1–4.
15. *Борисов, В. А.* Урожайность и качество при рациональном использовании удобрений / В. А. Борисов, В. Ф. Кулиш // *Агрохимия*. – 1991. – № 5. – С. 79–82.
16. *Tvert Aino-Maijja.* The Influence of fertilization and environment on some nutritionally important – a review of research in the Noretic countrirs / Tvert Aino-Maijja // *Agr.Sci. Finl.* – 1994. – № 2. – P. 177–188.
17. Санитарные нормы и правила «Требования к продовольственному сырью и пищевым продуктам»: постановление Мин-ва здравоохранения Респ. Беларусь. 21 июня. 2013 г., № 52. – С. 145–146.

## **CHANGE OF BIOCHEMICAL INDICATORS OF VEGETABLE PRODUCTS DEPENDING ON THE USE OF FERTILIZERS**

**N. Yu. Zhabrovskaya, G. V. Pirogovskaya, N. N. Semenenko**

### **Summary**

The article presents the biochemical indicators of the production of vegetable crops on the basis of years of research. It was established that the content of sugars, ascorbic acid, carotin was more dependent on the meteorological conditions of the growing season than on the fertilizer system. Fertilizers, especially nitrogen, significantly influenced the content of nitrates in vegetable products, especially in those plants in which the phase of consumer maturity fell on a period of intensive growth.

*Поступила 05.12.18*

## ВЛИЯНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ НА УРОЖАЙНОСТЬ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Н. Ю. Жабровская, А. М. Устинова

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

Овощные культуры – это большая группа растений, относящихся к разным ботаническим семействам, родам и видам. Эти растения могут возделываться в открытом или защищенном грунте, в течение короткого срока, а могут быть многолетними. В качестве товарной части используются различные вегетативные и генеративные органы: листья, соцветия, плоды, луковицы, корнеплоды, к тому же в разной степени потребительской зрелости для использования как в свежем виде, так и для переработки. Многообразие возделывания и использования овощных культур определяет трудоемкость данного направления в растениеводстве [4, 12, 19, 49].

В Республике Беларусь сосредоточены значительные площади овощных культур (рис.) [31, 45]. Реализация высокой продуктивности овощных культур возможна лишь при гармоничном сочетании всех факторов жизнеобеспечения растений. За счет рационального применения органических, минеральных макро- и микроудобрений в сочетании с рациональной системой защиты от вредителей и болезней можно добиться стабильной урожайности овощных культур при сохранении высокого качества продукции [2, 6, 8, 20, 26, 44, 51].

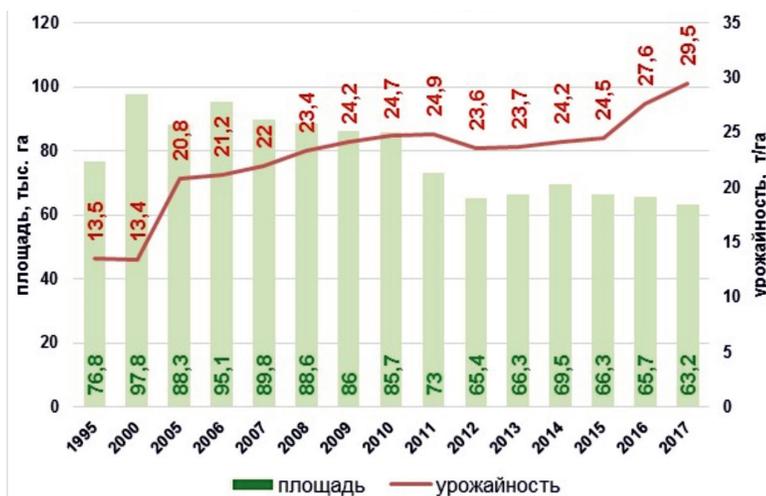


Рис. Посевная площадь и урожайность овощных культур (по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь)

Овощные культуры характеризуются более высокой продуктивностью, предъявляют повышенные требования к почвенному плодородию и уровню минераль-

ного питания по сравнению с полевыми культурами, выносят большое количество питательных веществ из почвы [4, 6, 28, 32, 46]. Так, по данным В. И. Эдельштейна, салат в период максимального прироста дает прибавку сырой массы 2,2 т в день, или 132 кг сухой массы с 1 га [49].

Интенсивный рост растений, а в дальнейшем и их урожайность в наибольшей мере зависят от агрофизических и агрохимических свойств почвы (механический состав почвы, плотность, структурность, кислотность, содержание гумуса, питательных элементов). Поскольку выращивание овощей возможно только на плодородных почвах, целесообразно формировать овощные севообороты и в дальнейшем поддерживать эффективное плодородие почв на уровне, обеспечивающем рентабельное производство продукции.

Из овощных культур, занимающих наибольшие площади в нашей зоне, по степени требования к почвенным условиям можно выделить несколько групп [3, 27, 49]:

- очень требовательные: огурец, дайкон, капуста цветная, брюссельская, брокколи, петрушка корневая;
- требовательные: чеснок, лук репчатый, кабачок, патиссон, тыква, морковь, баклажан, перец, пастернак, сельдерей, базилик, салат, фенхель, шпинат, хрен, кориандр;
- средне требовательные: томат, капуста белокочанная, кольраби, свекла столовая, редис, кукуруза сахарная, арбуз, горох;
- нетребовательные: укроп, репа, редька, щавель, ревень.

Исследования М. П. Сапуна, В. П. Переднева показывают, что в Беларуси для овощных культур лучшими являются окультуренные дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые почвы, агрофизические свойства которых обеспечивают благоприятные условия для роста и развития большинства овощных культур. На песчаных и супесчаных почвах можно выращивать при орошении лук, морковь, столовую свеклу и другие овощные культуры, однако затраты на частые поливы и дробное внесение минеральных удобрений существенно снижают рентабельность овощеводства на этих почвах [28, 35].

Под овощные культуры следует отводить хорошо гумусированные почвы. Учитывая, что большинство овощных культур имеет слаборазвитую корневую систему, расположенную в основном в пахотном слое, их следует размещать на плодородных почвах с пахотным горизонтом не менее 22 см.

По данным В. А. Борисова оптимальное количество гумуса в почвах для овощей – 2,5–3,5 %, при снижении его до 1,5–2,0 % недобор урожая достигает 12–27 %, а при содержании гумуса менее 2,0 % продуктивность овощей находится на уровне 10–20 т/га, т.е. их возделывание малорентабельно. На почвах низкого плодородия, деградированных или подверженных эрозионным процессам, невозможно получить удовлетворительные урожаи овощных культур. Следует отметить, что наиболее отзывчивой культурой на повышенное содержание органического вещества в почвах является морковь. Таким образом, поддержание на должном уровне содержания органического вещества в почве является одним из важнейших факторов повышения продуктивности овощных культур [3–5].

В то же время под овощными культурами потери гумуса из-за интенсивной его минерализации и незначительного поступления в почву послеуборочных растительных остатков происходят довольно быстро. Органическое вещество, поступающее с растительными остатками не восполняют ежегодные потери гумуса [39,

43]. По результатам ВНИИ овощеводства наибольшее количество растительных остатков в почве, преимущественно в виде корней, оставляют бобово-злаковые смеси многолетних трав – 125 ц/га, вико-овсяная смесь – 70 ц/га, это в 2–4 раза больше, чем овощные культуры. Отмечено уменьшение на 25–35 % растительных остатков овощных культур в почве при повторном их выращивании, в звене с многолетними травами одного года использования растительных остатков в почве за три года было накоплено на 34–55 % больше, чем в звеньях такой же длительности с одними овощными культурами.

В комплексе мероприятий, направленных на повышение плодородия почв в овощных севооборотах, применению органических удобрений отводится особая роль, их следует рассматривать не только как источник пополнения питательных элементов, но и в качестве приема восполнения содержания гумуса в почве. Экспериментальные данные дают основание предположить, что применение одних минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах в овощных севооборотах существенно уменьшает содержание гумуса.

Многолетние стационарные опыты, проведенные в БелНИИКПО в севооборотах с чередованием овощных культур, показали, что при ежегодном 30-летнем внесении 20 т/га навоза КРС и даже 10 т/га навоза в сочетании с  $N_{50}P_{25}K_{60}$  содержание гумуса увеличилось с 20,09 до 2,7 %, или ежегодно на 0,02 %. При ежегодном внесении только минеральных удобрений  $N_{100}P_{50}K_{120}$  содержание гумуса уменьшалось на 0,01 % или оставалось на том же уровне. В почве без внесения удобрений при длительном выращивании овощных культур происходило уменьшение гумуса на 0,02 %. Восполнение потерь гумуса в результате минерализации в овощных севооборотах достигается ежегодным внесением органических удобрений. Внесение больших доз органических удобрений 60–120 т/га в первые годы ротации севооборота даже при большом выносе питательных веществ увеличивало содержание гумуса на 0,1–0,6 %. Там, где нельзя обеспечить внесение достаточного количества органических удобрений, необходимо выращивать многолетние бобово-злаковые травы. Запашка зеленой массы люпина, выращенного после основной культуры в овощном севообороте, увеличивала содержание гумуса в почве после его разложения на 0,01 % [1, 13, 27, 28].

Установлено, что в Нечерноземной зоне в дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах под культурами сплошного сева (зерновыми, зернобобовыми, травами) ежегодно минерализуется около 0,8–1,2 % (0,4–0,8 т/га) гумуса, под пропашными культурами (картофель, свекла, капуста и др.) – 1,6–2,0 %, в пахующей почве – 2,5–3,0 % [15, 16].

Использование промежуточной сидеральной культуры горчицы белой в течение трёх лет, оказав положительное влияние на физические, химико-биологические свойства почвы, естественно, оказало и позитивное влияние на величину урожайности и качество плодов, корнеплодов, луковиц. Максимальная урожайность всех культур была получена в варианте с наличием сидерата и севооборота [14].

По данным ряда авторов положительное действие промежуточных сидеральных культур в севообороте на урожайность овощей прослеживается в течение двух-трех лет, а на качество овощной продукции – в течение трех-четырёх лет [19, 27, 34].

Улучшение почвенных условий для роста и развития овощных культур при использовании сидеральных культур и органических удобрений способствует уве-

личению урожайности в прямом действии и последствии и зависит от вида сидерата и удобрений. Наивысший биологический урожай получен при применении клевера красного второго укоса (капуста – 43,0 т/га, свекла – 31,3 т/га, морковь – 52,9 т/га) [24].

В многолетнем стационарном опыте НИИОХ стабилизация содержания гумуса в пахотном и подпахотном горизонтах наблюдалась при минерально-органобиологической системе удобрения (применение расчетных доз полного минерального удобрения сочетается с применением 1 раз в 5 лет навоза 50 т/га и запашкой сидератов 25–30 т/га). Комбинированная система удобрения способствует также сохранению в почве высокого содержания валового азота и обменного калия и несколько повышает количество подвижного фосфора [10].

В опытах, проведенных в ОПБ ВНИИССОК, сидераты – козлятник и навоз – несколько снижали минерализацию по сравнению с неудобренной дерново-подзолистой почвой. В результате этого содержание гумуса при использовании навоза возросло на 0,28 %, козлятника – 0,31 %. Вико-овес, заделанный в качестве сидерата, способствовал проявлению тенденции повышения гумусированности [50].

Известкование кислых почв в овощных севооборотах является необходимым условием повышения урожайности. Повышенная кислотность и низкое содержание кальция и магния в почве почти у всех овощных культур вызывает снижение урожайности и эффективности минеральных удобрений. Большинство овощных растений страдают, если содержание подвижного алюминия превышает 30–40 мг на кг почвы, однако некоторые из них (лук, чеснок и др.) угнетаются при содержании алюминия более 10–20 мг/кг. Если кислотность почвы становится выше оптимальной, известкование в овощном севообороте всегда окупается [26].

По данным многочисленных опытов оптимальная реакция почвенной среды для овощных культур на дерново-подзолистых почвах находится в пределах pH 6,0–7,0. Оптимальная реакция почвенного раствора (pH) составляет для огурца 6,5–7,0, для томата – 6,2–6,7, для лука – 6,0–7,0, моркови – 5,6–6,0, столовой свеклы – 6,0–6,5, капусты – 5,5–7,0, гороха 6,0–6,5 [25]. Многими исследователями установлено, что известкование почвы под капустные овощные культуры – профилактическая мера против заболевания растений килой. Регуляция кислотности (повышение pH) кислых почв производится путем известкования [3, 26, 27, 30, 49].

Одним из важнейших показателей плодородия почв является содержание в ней подвижного фосфора. Многочисленные исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, свидетельствуют, что высокий уровень содержания фосфора и калия в почве, создаваемый за счет длительного применения удобрений, имеет более важное значение для формирования высоких урожаев, нежели повышенные дозы удобрений, внесенные на бедных почвах непосредственно под культуры [7, 9, 10, 18, 22, 36].

Анализ данных полевых опытов В.А. Борисова показывает, что при наличии в почве менее 50 мг  $P_2O_5$  на кг почвы урожайность позднеспелых овощей находится на уровне 15–25 т/га (в среднем 20 т/га), при повышении количества подвижного фосфора до 100 мг  $P_2O_5$  урожайность всех овощных культур существенно увеличивается, особенно капусты, моркови, свеклы и огурца (до 25–40 т/га). Дальнейшее повышение подвижного фосфора в почве также сопровождается ростом продуктивности овощных растений, причем этот рост продолжается до уровня

200–250 мг  $P_2O_5$  (средний урожай овощей 35–85 т/га). При более высоком уровне накопления подвижного фосфора в почве увеличения урожайности овощей не наблюдается (кроме огурца и цветной капусты). В целом можно сделать вывод, что для позднеспелых овощных культур (капуста, морковь, свекла) оптимальным содержанием подвижного фосфора можно считать уровень 200–250 мг  $P_2O_5$ , для цветной капусты и огурца – 250–300 мг, а для редиса – 150–250 мг  $P_2O_5$  на кг почвы [3].

По данным многих авторов, из-за слабого развития корневой системы у овощных культур растения плохо используют почвенный фосфор на ранних этапах роста и положительно отзываются на внесение фосфорных удобрений, даже на почвах, хорошо обеспеченных  $P_2O_5$ . По мнению ряда ученых, на почвах с высоким содержанием фосфора и калия удобрения не вносят даже под те культуры, потребность которых в этих элементах очень высока. Регулярное проведение анализов позволит определить тот период, когда уровень фосфора и калия оптимизируется и внесение удобрений снова станет целесообразным [33, 41, 42, 47].

По данным В. П. Переднева, при внесении 20 т/га или минеральных удобрений, равных этой дозе, содержание подвижного фосфора мало изменялось, а при сочетании этих удобрений (20 т/га навоза +  $N_{60-120}P_{90}K_{120}$ ) содержание подвижного фосфора ежегодно увеличивалось на 6 мг на кг почвы. При внесении  $P_{30-90}$  в сочетании с  $N_{60}K_{90}$  на дерново-подзолистой хорошо окультуренной почве урожайность зеленных культур значительно возрастала, при этом содержание  $P_2O_5$  увеличилось на 4–11 мг в опыте с луком и 11–24 мг/кг почвы в опыте с салатом [27, 28].

На содержание фосфора и калия в почве существенно влияют органические удобрения и сидеральные культуры. Так, в опытах Е. Н. Закабуниной и др. на посевах укропа и бобов навоз обеспечивал  $P_2O_5$  на 38, козлятник – на 56 мг/кг почвы. К периоду уборки культур различия в сравнении с неудобренным вариантом достигали 47–63 мг/кг, т.е. происходило постепенное высвобождение доступных форм фосфора из состава органического вещества навоза и козлятника. По содержанию обменного калия изучаемая почва характеризуется как имеющая высокую обеспеченность. Применение навоза вызывало прирост его содержания на 22–24 мг/кг почвы, козлятник способствовал росту на 30 мг/кг [50].

Хорошая обеспеченность почв обменным калием очень важна для получения высокой урожайности овощных культур и повышения качества продукции. По мнению Г. В. Добровольского, для овощеводства необходимо создавать повышенный уровень содержания обменного калия (300 мг  $K_2O$  на кг почвы) [11]. Другие авторы считают, что уровень 200–250 мг/кг  $K_2O$  позволяет полностью удовлетворить потребности овощных культур в калийном питании и что такие почвы слабо нуждаются в калийных удобрениях [6, 17].

Анализ данных полевых опытов показывает, что различные овощные культуры неодинаково отзываются на содержание обменного калия в почве. Для редиса вполне достаточным является содержание  $K_2O$  на уровне 10–12 мг/100 г почвы, для цветной капусты – 100–150 мг/кг, а белокочанная капуста, морковь и столовая свекла дают наиболее высокую урожайность при 200–250 мг/кг. Дальнейшее повышение содержания обменного калия в почве не приводило к росту продуктивности овощных растений, кроме огурца. Оптимум для этой культуры составляет, по данным В. А. Борисова, 250–350 мг  $K_2O$  на кг почвы [3].

В. М. Назарюк отметил, что положительное действие калийных удобрений на продуктивность овощных культур проявлялось чаще всего на почвах с низким содержанием калия – менее 150 мг на кг почвы [22].

Овощные культуры по-разному реагируют на качественный и количественный состав микроэлементов, имеют различные потребности в них. Так, лук и шпинат требовательны к наличию многих микроэлементов, а некоторые культуры весьма чувствительны к присутствию только определенных питательных элементов — например, бор очень важен в удобрении свеклы, белокачанной и цветной капусты, брокколи. Если в почве низкое содержание определенного элемента, то удобрение им может вызвать значительный прирост урожая только у культур, имеющих высокую потребность в данном элементе. Культуры же с низкими потребностями в этом элементе на такое удобрение не отреагируют. Поэтому при внесении микроэлементов следует учитывать потребности отдельных овощных культур в них, а также насыщенность почвы этими элементами [21, 32, 37, 48].

Недостаточное обеспечение овощей микроэлементами чаще всего возникает не по причине отсутствия их в почве, а из-за того, что они не могут быть усвоены корневой системой растений. Основным фактором, влияющим на растворимость большинства солей, а значит и на доступность содержащихся в них микроэлементов, является рН почвы (концентрация ионов водорода в почвенном растворе). Очень хорошим источником микроэлементов являются органические удобрения. Оптимальным решением является также использование основных удобрений, обогащенных микроэлементами, листовая подкормка, обработка семян микроудобрениями [37, 38, 40, 44].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

18. *Бадьина, В. М.* Действие и последствие органических удобрений на урожайность, качество овощных культур и плодородие почвы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / В. М. Бадьина, БелНИИКПО. – Горки: БСХА, 1989. – 18 с.
19. *Биггс, Т.* Овощные культуры / Т. Биггс. – М.: Мир, 1986. – С.44–49.
20. *Борисов, В. А.* Система удобрения овощных культур / В. А. Борисов. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – 392 с.
21. *Борисов, В. А.* Удобрение овощных культур / В. А. Борисов. – М.: Колос, 1978. – 207 с.
22. *Борисов, В. А.* Урожайность и качество при рациональном использовании удобрений / В. А. Борисов, В.Ф. Кулиш // *Агрoхимия*. – 1991.– № 5. – С. 79–82.
23. *Вендило, Г. Г.* Эффективность применения удобрений в повышении урожайности и качества овощей: автореф. дис. ...д-ра с.-х. наук: 06.01.06 / Г. Г. Вендило.– М., 1985. – 46 с.
24. *Гладких, В. И.* Влияние длительного систематического применения удобрений на урожайность и качество овощных культур / В. И. Гладких, С. М. Сирота, М. А. Беляков // *Агрoхимия*. – 2001. – № 7. – С. 29–32.
25. *Глунцов, Н. М.* Научное обоснование рационального применения удобрений в овощеводстве защищенного грунта: автореф. дис. ...д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / Н. М. Глунцов. – М., 1991. – 35 с.

26. *Гончаренко, В. Е.* Разработка и обоснование системы удобрения овощных культур в лесостепи Украины: автореф. дис. ...д-ра. с.-х. наук: 06.00.04 / В. Е. Гончаренко. – Харьков, 1995. – 47 с.

27. Действие удобрений при их длительном применении на продуктивность овощекормового севооборота и свойства аллювиальной луговой почвы / В. А. Борисов [и др.] // Агрохимия. – 1989. – № 10. – С. 37–44.

28. *Добровольский, Г. В.* Почвы речных пойм центра русской равнины / Г. В. Добровольский. – М.: Изд. МГУ, 1968. – 290 с.

29. *Дьяченко, В. С.* Овощи и их пищевая ценность / В. С. Дьяченко. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 159 с.

30. *Жабровская, Н. Ю.* Влияние удобрений на урожайность и качество лука на зеленое перо и кочанного салата: автореф. дис. ...канд, с.-х. наук: 06.01.04 / Н. Ю. Жабровская; БелНИИО. – Минск, 1998. – 19 с.

31. *Зеленичкин, В. Г.* Влияние сидератов в овощном агробиоценозе на свойства почвы и продуктивность растений / В. Г. Зеленичкин, А. В. Иванов, М. К. Калисту // Актуальные проблемы сельскохозяйственных наук в России и за рубежом: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф., Новосибирск, 10 фев. 2015 г. – Новосибирск, 2015. – № 2. – С. 42 с.

32. *Кидин, В. В.* Основы питания растений и применение удобрений / В. В. Кидин. – М.: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2008. – 415 с.

33. *Кидин, В. В.* Система удобрения / В. В. Кидин. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2011. – 290 с.

34. *Кораблева, Л. И.* Плодородие, агрохимические свойства и удобрение пойменных почв Нечерноземной зоны / Л. И. Кораблева. – М.: Наука, 1969. – 278 с.

35. *Литвинов, С. С.* Влияние интенсивного овощного севооборота на изменение плодородия и продуктивности аллювиальных луговых почв и качество овощной продукции / С. С. Литвинов, С. С. Ванеян, А. М. Меньших // Экологические проблемы современного овощеводства и качество овощной продукции: сб. науч. тр. – ФГБНУ ВНИИО – М., 2014. – Вып. 1. – С. 313.

36. *Литвинов, С. С.* Выращивание овощей для детского и диетического питания / С. С. Литвинов, В. А. Борисов. – М., 1998. – 114 с.

37. *Литвинов, С. С.* Проблемы экологизации овощеводства России / С. С. Литвинов. – М.: Россельхозакадемия, 1998. – 364 с.

38. *Магницкий, К. П.* Контроль питания полевых и овощных культур / К. П. Магницкий. – М.: Московский рабочий, 1964. – 304 с.

39. *Назарюк, В. М.* Агрохимические аспекты построения системы удобрения овощных культур в западной Сибири: автореф. дис. ...канд. биол. наук: 06.01.04 / В. М. Назарюк. – Новосибирск: ИПА СО РАН, 1991. – 32 с.

40. *Обуховская, Л. В.* Влияние различных норм азотных удобрений и ингибиторов нитрификации на накопление нитратов в овощных культурах: автореф. дис. ...канд. биол. наук: 06.01.04 / Л. В. Обуховская. – М.: ТСХА, 1981. – 22 с.

41. *Огородникова, Э. М.* Повышение продуктивности овощных культур при использовании сидератов в звене овоще-кормового севооборота в условиях Кировской области: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 06.01.06 / Э. М. Огородникова. – М., 2001. – 27 с.

42. Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посадочного материала: сб. отрасл. рег-

ламентов / Нац. акад. наук Беларуси, ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси; рук. разработ. В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 520 с.

43. *Пантиелев, Я. Х.* Пригородное овощеводство / Я. Х. Пантиелев. – М.: Колос, 1981. – 380 с.

44. *Переднев, В. П.* Повышение эффективности удобрений в овощеводстве Республики Беларусь: автореф. дис. ...д-ра. с.-х. наук: 06.01.04 / В. П. Переднев. – Минск, 1993. – 62 с.

45. *Переднев, В. П.* Удобрение овощных культур / В. П. Переднев. – Минск: Ураджай, 1987. – 144 с.

46. *Переднев, В. П.* Урожай и качество овощей при длительном внесении удобрений / В. П. Переднев, П. Я. Пивень // Качество овощей и бахчевых культур. – М.: Колос, 1981. – С. 172.

47. *Пестряков, В. К.* Повышение плодородия почв в овощном хозяйстве / В. К. Пестряков. – Л.: Лениздат, 1971. – С. 91–127.

48. Посевные площади основных сельскохозяйственных культур // Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.belstat.gov.by](http://www.belstat.gov.by). – Дата доступа: 28.11.2018.

49. Признаки голодания растений: сб. статей / под общ. ред. А. В. Петербургского. – Изд-во иностранной литературы, 1957. – 230 с.

50. *Пругар, Я.* Избыточный азот в овощах / Я. Пругар, А. Пругарова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 127 с.

51. *Разлукина, М. Л.* Промежуточные культуры в интенсивном овощеводстве / М. Л. Разлукина, В. А. Борисов, Н. Г. Журавлев // Картофель и овощи. – 1984. – № 11. – С. 14–16.

52. *Сапун, М. П.* Применение удобрений под овощные культуры / М. П. Сапун. – Минск: Госиздат, 1957. – 144 с.

53. *Сирота, С. М.* Влияние длительного систематического применения удобрений на урожайность и качество овощных культур / С. М. Сирота, М. А. Беляков // Агрохимия. – 2001. – № 7. – С. 29–32.

54. *Сокол, П. Ф.* Улучшение качества продукции овощных и бахчевых культур / П. Ф. Сокол. – М.: Колос, 1978. – 293 с.

55. Справочник овощевода / В. П. Переднев [и др.]; под ред. А. В. Круглякова. – Минск: Ураджай, 1984. – 174 с.

56. Справочник по овощеводству / В. И. Алексахин [и др.]; сост. В. А. Брызгалов. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Колос. Ленингр. отд., 1982. – 511 с.

57. *Столяров, А. И.* Как повысить урожай овощей / А. И. Столяров. – Краснодар: Кн. изд-во, 1985. – 127 с.

58. *Татьянич, Н. К.* Использование овощными растениями азота почвы и удобрений: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Н. К. Татьянич. – М., 1974. – 16 с.

59. *Теньков, А. Л.* Повышение урожайности, качества овощей и снижение в них тяжелых металлов при длительном применении удобрений на аллювиальных луговых почвах: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 01.06.04 / А. Л. Теньков. – М.: ВНИИО, 2005. – 25 с.

60. Удобрение в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур / А. М. Артюшин [и др.]; под ред. И. П. Дерюгина. – М.: Агропромиздат, 1991. – 223 с.

61. Удобрение овощных культур / Г. Г. Вендило [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1986. – 286 с.

62. Урожайность основных сельскохозяйственных культур // Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.belstat.gov.by](http://www.belstat.gov.by). – Дата доступа: 28.11.2018.

63. *Филин, В. И.* Потребление и вынос элементов питания растениями как научная основа рациональной системы удобрения овощных культур / В. И. Филин, В. В. Филин <https://elibrary.ru/item.asp?id=26863774>: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 25–27 янв. 2011 г. / Волгоградский гос. агр. ун-т. – Волгоград: ВГАУ, 2011. – 95–99 с.

64. *Хапова, С. А.* Система удобрения сельскохозяйственных культур / С. А. Хапова. – Ярославль: ИПК Индиго, 2014. – 198 с.

65. *Церлинг, В. В.* Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В. В. Церлинг. – М.: Наука, 1978. – 216 с.

66. *Эдельштейн, В. И.* Овощеводство / В. И. Эдельштейн. – М.: Сельхозгиз, 1932. – 920 с.

67. Элементы биологизации возделывания овощных культур / Е. Н. Закабунина [и др.] // Овощеводство и тепличное хозяйство. – 2018. – № 1. – С. 25–28.

68. *Якименко, В. Н.* Калийные удобрения под овощные культуры / В. Н. Якименко // Химизация сельского хозяйства. – 1991. – № 9. – С. 48–50.

## THE EFFECT OF AGROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOD-PODZOLIC SOILS ON PRODUCTIVITY OF VEGETABLE CULTURES

N. Yu. Zhabrovskaja, A. M. Ustinova

### Summary

In the Republic of Belarus are concentrated significant areas of vegetable crops. An analysis of the scientific literature has shown that vegetable crops place high demands on soil fertility and the level of mineral nutrition. Realization of high productivity of vegetable crops is possible only with the optimal combination of agrochemical characteristics of vegetable crop soil.

*Поступила 05.12.18*

# РЕФЕРАТЫ

## 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.452:631.472.17(476)

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

В статье кратко изложена методика оценки плодородия почв по второму туру кадастровой оценки сельскохозяйственных земель Беларуси. Дана характеристика всех факторов, учитываемых при оценке земель, приведены их оптимальные параметры, необходимые для жизнедеятельности растений и проведения сельскохозяйственных работ. Установлено влияние различных факторов на оценку плодородия почв и возможности его повышения за счет улучшения и доведения их до оптимальных параметров. Всего за счет улучшения культуртехнического и мелиоративного состояния рабочих участков, повышения окультуренности почв, плодородие почв может быть увеличено на 9,2 балла, в том числе за ближайшие 7–10 лет – на 1,8–2,3 балла.

Табл. 4. Библиогр. 7.

УДК 631.44

**Цырыбка В. Б., Усцінава Г. М., Лагачоў І. А., Касьяненка І. І.** Асаблівасці выкарыстоўвання міжнароднай сістэмы класіфікацыі глеб WRB ў Беларусі // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 14.

У артыкуле прыведзена прапанавая аўтарамі карэляцыя беларускай глебай класіфікацыі з міжнароднай сістэмай WRB. Агучаны праблемы карэляцыі, абумоўленыя прынцыповымі адрозненнямі ў падыходзе да распрацоўкі класіфікацыйных схем. Падкрэслены найбольш яркія недахопы сістэмы WRB, якія ставяць пад сумненне практычную значнасць гэтай класіфікацыі.

Табл. 2. Бібліягр. 19.

УДК 631.435:630\*114.441.2

**Дыдышко С. В., Азаренок Т. Н., Шульгина С. В.** Взаимосвязь гумуса и гранулометрического состава дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв разной степени агрогенной трансформации // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 20.

Приведена новая интерпретация гумус-гранулометрических отношений дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв в результате проявления культур-

ного процесса почвообразования. Показано наличие общего принципа взаимосвязи между фракциями гранулометрического состава и гумусным состоянием, в частности, между содержанием гумуса в физической глине, содержанием гумуса в почве и фракциями гранулометрического состава через константы динамического равновесия. Полученные данные гумус-гранулометрических отношений могут быть применены в качестве нового метода для оценки степени плодородия и устойчивости почв в результате агрогенного воздействия.

Рис. Табл. 2. Библиогр. 22.

УДК 631.421

**Генин В. А.** Методические подходы к картографированию содержания гумуса по данным дистанционного зондирования земли // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 32.

Разработана методика картографирования количественного содержания гумуса по данным дистанционного зондирования земли. В работе автор использовал данные ресурсных спутников высокого пространственного разрешения и 3 тестовых полигона, расположенных в Минском и Барановичском районах Республики Беларусь. Для исследуемых участков характерны дерново подзолистые почвы разной степени гидроморфности и гранулометрического состава. В ходе полевых работ было отобрано 240 почвенных образцов и проведен анализ на содержание гумуса по методу Тюрина. Данные агрохимического анализа почвы были сопоставлены с данными оптической яркости на космических изображениях. В результате статистического анализа были получены высокие значения коэффициентов детерминации для всех исследуемых полей, что позволяет использовать спектральные характеристики для получения данных о внутрипольной неравномерности содержания гумуса.

Рис. 8. Библиогр. 7.

## 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.84:633.1:631.445.2

**Цыбулько Н. Н.** Вклад азота почвы и удобрений в формирование урожая сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 43.

В азотном питании зерновых культур преобладает азот почвенных запасов. Урожайность зерна озимой ржи на 60–85 %, ячменя и яровой пшеницы – на 66–75, бобово-злаковой смеси – на 88–92 % образуется за счет азота почвы. При увеличении доз азотных удобрений и дробном их внесении долевое участие их в формировании урожая возрастает. Из форм азотных удобрений наиболее низкий удельный вес азота удобрений в его общем выносе был на автоморфной почве в варианте с карбамидом, на глееватой почве формы вносимого азота не раз-

личались. В зерне озимой ржи на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве концентрировалось 75–78 % всего поглощенного растениями азота удобрений, на супесчаной почве – 68–70 %. В зерне ячменя содержится 80–84 % азота удобрений от его общего выноса с основной и побочной продукцией. С увеличением доз удобрений и при дробном их внесении наблюдается повышение накопления азота в зерне. Формы вносимого азота не оказывают заметного влияния на структуру его потребления основной и побочной продукцией. Более существенно влияет степень гидроморфности почвы. Коэффициенты использования азота удобрений на дерново-подзолистых почвах изменяются от 20 до 62 % и зависят от уровня плодородия почв, возделываемой культуры, доз, сроков внесения и форм азотных удобрений. Дробное применение азота способствует увеличению коэффициента его использования, а при увеличении дозы азотных удобрений наблюдается снижение.

Табл. 5. Библиогр. 30.

УДК 631.84:633.11:631.445.2

**Пироговская Г. В., Хмелевский С. С., Сороко В. И., Исаева О. И., Пиларж М., Балек П.** Эффективность применения удобрения UREA<sup>stabil</sup> (в технологии возделывания озимой пшеницы) на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах в Беларуси // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 55.

В статье приведены экспериментальные данные об агрохимической эффективности азотного удобрения UREA<sup>stabil</sup>, производства Чешской компании AGRA GROUP a.s. при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах в Центральной части Республики Беларусь в период с 2013 по 2016 гг. Показано влияние данного удобрения на урожайность основной и побочной продукции, содержание протеина, клейковины и основных элементов питания в зерне пшеницы. Показана его эффективность по сравнению с карбамидом стандартным.

Табл. 8. Библиогр. 9.

УДК 631.8.022.3:633.112.9:631.829

**Станилевич И. С., Богдевич И. М., Путятин Ю. В.** Эффективность минеральных удобрений при возделывании ярового тритикале на разных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой суглинистой почвы обменным магнием // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 72.

Проведена экономическая оценка эффективности применения минеральных удобрений при возделывании ярового тритикале на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с разным содержанием обменного магния в почве. Установлено, что на контрольных вариантах без удобрений урожайность увеличилась на 35 % в пределах содержания Mg 46–147 мг/кг почвы. Дальнейшее повышение содержания Mg в почве до 198 мг/кг было избыточным, что сопровождалось снижением урожайности зерна на 10 %. Максимальные прибавки урожайности получены при сочетании полной дозы NPK и некорневых подкормок сульфатом магния при низком и среднем содержании обменного Mg 46–92 мг/кг почвы с чистым доходом

76 USD/га. Эффективность внесения NPK и Mg удобрений снижалась на участках с высоким уровнем обеспеченности почвы обменным магнием.

Табл. 2. Библиогр. 21.

УДК 633.112.9:631.445.2:631.82

**Станилевич И. С., Путятин Ю. В., Богдевич И. М.** Качество зерна ярового тритикале в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием и доз минеральных удобрений // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 80.

В полевых опытах установлено, что содержание сырого белка в зерне ярового тритикале и его сбор с единицы площади повышались с увеличением обеспеченности почвы обменным магнием до 138–147 мг/кг почвы. Наибольшие значения суммы критических и незаменимых аминокислот 7,02–7,17 и 24,00–25,31 мг/кг зерна получены в удобренных вариантах при эквивалентном соотношении в почве обменных катионов Ca:Mg в пределах около 5 и соотношении K:Mg – около 0,6.

Табл. 2. Рис. Библиогр. 16.

УДК 633.321:631.8:631.445.2

**Вильдфлуш И. Р., Мишура О. И.** Эффективность применения систем удобрения при возделывании клевера лугового на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 88.

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве применение  $N_9P_{40}K_{60}$  и  $N_{16}P_{60}K_{90}$  в подкормку весной и после уборки покровной культуры (ячменя) было равнозначным и повышало урожайность зеленой массы при дозе  $N_9P_{40}K_{60}$  на 69 и 87 ц/га, а при дозе  $N_{16}P_{60}K_{90}$  – на 171 и 181 ц/га соответственно. Окупаемость 1 кг NPK кг зеленой массы клевера при внесении весной  $N_{16}P_{60}K_{90}$  составила 103,0 и после уборки покровной культуры 109,0 кг.

Некорневая подкормка бором и молибденом на фоне  $N_{16}P_{60}K_{90}$  в подкормку весной способствовало повышению урожайности зеленой массы клевера на 60 ц/га (с 835 до 895 ц/га), обеспеченности кормовой единицы переваримым протеином на 9,9 г (с 146 до 155,9 г).

Применение  $N_{16}P_{60}K_{90}$  в подкормку весной и после уборки покровной культуры обеспечивало получение более высокого чистого дохода (131,9 и 153,5 USD/га) при рентабельности 44,6 и 51,3 % соответственно.

Табл. 4. Библиогр. 10.

УДК 632.118.3

**Путятин Ю. В.** Обменный кальций почвы и накопление  $^{90}Sr$  сельскохозяйственными культурами // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 95.

В полевых экспериментах, проведенных на дерново-подзолистой супесчаной почве, обнаружены тесные отрицательные корреляции между содержанием об-

менного кальция в почве и накоплением  $^{90}\text{Sr}$  растениями. Эффективность насыщения почв кальцием в дискриминации  $^{90}\text{Sr}$  значительно выше на почвах с низким содержанием Ca. Минимум биологической доступности  $^{90}\text{Sr}$  наблюдался для зерновых культур при содержании обменного кальция на уровне 1300–1400 мг/кг почвы, рапса – 1195, кукурузы – 1236, тимофеевки луговой – 980, клевера – 1229, люцерны – 1502 и картофеля – 1260 мг/кг почвы.

Табл. 2. Рис. 2. Библиогр. 19.

УДК 631.445.2:633.15:632.118.3

**Путятин Ю. В., Богдевич И. М., Сидорейко Н. В.** Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы на накопление  $^{137}\text{Cs}$  зеленой массой кукурузы // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 102.

В полевых экспериментах на дерново-подзолистой супесчаной почве установлены тесные отрицательные зависимости между биологической доступностью  $^{137}\text{Cs}$  и показателями плодородия почвы. Минимум биологической доступности  $^{137}\text{Cs}$  для кукурузы, возделываемой на зеленую массу, отмечен при содержании гумуса 3,1 (2,8–3,5) %, подвижного калия – 436 (385–462) мг/кг, обменного магния – 244 (197–302) мг/кг и  $\text{pH}_{(\text{KCl})}$  6,3 (6,1–6,5). Эффективность насыщения почвы органическим веществом, калием и магнием в дискриминации  $^{137}\text{Cs}$  значительно выше на почвах с низкой обеспеченностью данными элементами питания растений.

Табл. 2. Рис. 4. Библиогр. 22.

УДК 633.112.9:631.445.2:631.438

**Цыбулько Н. Н., Жукова И. И., Евсеев Е. Б.** Накопление  $^{137}\text{Cs}$  многолетними злаковыми травами на торфянисто-глеевой почве в зависимости от доз калийных удобрений // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 112.

В зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов переход  $^{137}\text{Cs}$  в сено многолетних трав первого укоса изменяется до 4,3 раза, в сено второго укоса – до 3,3 раза. Такие колебания в содержании радионуклида в продукции в значительной степени обусловлены уровнями формируемой продуктивности трав.

При возделывании многолетних злаковых трав на торфянисто-глеевой почве с содержанием  $\text{P}_2\text{O}_5$  876 мг/кг и  $\text{K}_2\text{O}$  818 мг/кг максимальное снижение содержания  $^{137}\text{Cs}$  в сене первого укоса в 2,3 раза, в сене второго укоса в 3,5 раза обеспечивает применение фосфорных удобрений в дозе  $\text{P}_{90}$  и калийных удобрений в дозе  $\text{K}_{180}$  ( $\text{K}_{120}$  под первый укос и  $\text{K}_{60}$  под второй укос). Производство сена многолетних злаковых трав, пригодного по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  для получения цельного молока, молока-сырья при переработке на масло и мяса, отвечающих РДУ, возможно без ограничений по плотности загрязнения торфянисто-глеевой почвы при применении фосфорных и калийных удобрений в дозах  $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$  ( $\text{K}_{90}$  под первый укос и  $\text{K}_{30}$  под второй укос).

Табл. 4. Библиогр. 21.

УДК 631.811:631.445.2

**Рак М. В., Титова С. А., Николаева Т. Г., Гук Л. Н., Артюх Ю. А.** Эффективность некорневых подкормок кукурузы цинком при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы этим элементом // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 120.

Изучено влияние микроудобрения МикроСтим-Цинк на урожайность и качества кукурузы при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы данным элементом. Установлено, что некорневые подкормки кукурузы цинковым удобрением эффективны только при низком и среднем уровне обеспеченности почвы цинком. Отмечено увеличение накопления элемента в зеленой массе и зерне кукурузы при повышении содержания его в почве и внесении в некорневые подкормки микроудобрения МикроСтим-Цинк.

Табл. 5. Рис. 2. Библиограф. 8.

УДК 631.81.095.337:633.119.3:631.445.2

**Иванова Н. С.** Влияние микроудобрений АДОБ на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 129.

В статье приведены результаты исследований по влиянию различных видов микроудобрений АДОБ на урожайность и качество озимой пшеницы при возделывании на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве. Установлено, что двукратная некорневая подкормка озимой пшеницы микроудобрениями АДОБ способствует повышению урожайности зерна на 3,2–5,4 ц/га, содержания клейковины – на 0,6–2,9 %, содержания сырого белка – на 0,7 %, выхода сырого белка – на 0,7 ц/га при рентабельности 108,0–224,5 %.

Табл. 3. Библиогр. 17.

УДК 631.445.2:635.621.3:631.58

**Белявская Ю. А., Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Кирдун Т. М.** Эффективность возделывания кабачка в разных системах земледелия на дерново-подзолистой высокоокультуренной суглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 136.

На дерново-подзолистой высокоокультуренной суглинистой почве установлено, что в органической системе земледелия выращивание кабачка на фоне заправки соломы гречихи обеспечило урожайность плодов на уровне 88,3 т/га. Достоверная прибавка к фону (24,3 т/га, или 28 %) получена при внесении подстилочного навоза КРС в дозе 40 т/га при урожайности 112,5 т/га и наименьших потерях денежной выручки (706 USD/га) в сравнении с традиционной технологией возделывания. В среднем содержание нитратов в плодах кабачка, выращенных в органической системе земледелия, было на 27 % ниже, чем в традиционной.

Табл. 5. Рис. Библиогр. 8.

---

УДК 631.8.022.3:635.01

**Жабровская Н. Ю., Пироговская Г. В., Семененко Н. Н.** Изменение биохимических показателей овощной продукции в зависимости от применения удобрений // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 145.

В статье по итогам многолетних исследований представлены биохимические показатели продукции овощных культур. Установлено, что содержание сахаров, аскорбиновой кислоты, каротина в большей степени зависели от метеорологических условий вегетационного периода, чем от системы удобрений. Вносимые удобрения, особенно азотные, существенно влияли на содержание нитратов в овощной продукции, особенно в тех растениях, в которых фаза потребительской зрелости приходилась на период интенсивного роста.

Табл. Библиогр. 18.

УДК 631.41:635:631.559

**Жабровская Н. Ю., Устинова А. М.** Влияние агрохимических показателей дерново-подзолистых почв на урожайность овощных культур // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 152.

В Республике Беларусь сосредоточены значительные площади овощных культур. Анализ научной литературы показал, что овощные культуры предъявляют повышенные требования к почвенному плодородию и уровню минерального питания. Реализация высокой продуктивности овощных культур возможна лишь при оптимальном сочетании агрохимических показателей почвы овощного севооборота.

Рис. Библиогр. 51.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия» согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 01.04.2014 № 94 (в редакции приказа Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь 13.01.2017 № 6) включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований. Направляемые статьи должны являться оригинальными материалами, не опубликованными ранее в других печатных изданиях.

Текст научной статьи должен быть подготовлен в соответствии с требованиями главы 5 Инструкции по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации (утверждена Постановлением ВАК Республики Беларусь от 28.02.2014 № 3) и иметь следующую структуру: индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК); введение; основную часть (разделы – объекты и методы исследований, результаты исследований и их обсуждение), выводы, список цитированных источников. К статье прилагается аннотация на русском и английском языках (с переводом названия статьи, фамилий авторов). Статья должна быть подписана всеми авторами.

Объем статьи не должен превышать 10 страниц формата А 4. Все материалы представляются распечатанными на белой бумаге и электронном носителе.

Электронный вариант должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word шрифтом Arial (размер кегля – 10 пт, через одинарный интервал, абзац – 0,75). Рисунки даются в формате TIF, JPG 300–600 точек на дюйм. Текст на рисунках также должен быть набран гарнитурой Arial, размер кегля соизмерим с размером рисунка. Подписи к рисункам и схемам делаются отдельно. Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

Размерность всех величин, используемых в статьях, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ).

Сведения об источниках оформляются в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 7.80-2000 «Библиографическая Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 25.06.2014, 7/2786 9 запись. Заголовок. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.82-2001 «Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.12-93 «Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.11-2004 «Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных европейских языках», государственным стандартом Республики Беларусь СТБ 7.12-2001 «Библиографическая запись. Сокращение слов на белорусском языке. Общие требования и правила».

Поступившая статья направляется на рецензию, затем визируется членом редколлегии и рассматривается на заседании редколлегии. Возвращение статьи автору на доработку не означает, что она принята к печати. Статьи не по профилю журнала возвращаются авторам после заключения редколлегии.

Редакция оставляет за собой право вносить в текст редакционную правку.