

ISSN 0130-8475

---

**Институт почвоведения и агрохимии**

---

# **ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

*Основан в 1961 г.*

**№ 2(49)  
июль – декабрь 2012 г.**

Минск  
2012

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

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

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

Главный редактор *В.В. ЛАПА*

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

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

## **ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ**

**2(49)**

**Июль – декабрь 2012 г.**

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

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

© Республиканское научное дочернее унитарное  
предприятие «Институт почвоведения  
и агрохимии», 2012

# СОДЕРЖАНИЕ

## 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

<b>Черныш А.Ф., Лихацевич Н.А.</b> Совершенствование методики количественной оценки дефляции почв .....	8
<b>Лихацевич Н.А.</b> Верификация степенной модели дефляции почв .....	17
<b>Лихацевич Н.А., Черныш А.Ф.</b> Комплексные характеристики процесса выдувания почвы .....	27
<b>Цытрон Г.С., Матыченкова О.В.</b> Почва как объект охраны природных комплексов Беларуси .....	34
<b>Клебанович Н.В., Домась А.С.</b> Особенности состава гумуса дерново-подзолистых заболоченных почв с иллювиально-гумусовым горизонтом на территории Брестского Полесья .....	41
<b>Матыченков Д.В., Цытрон Г.С., Северцов В.В.</b> Информационно-логические схемы банка данных программно-информационного комплекса по оптимизации использования почвенных ресурсов Республики Беларусь .....	49
<b>Устинова А.М., Касьянчик С.А., Касьяненко И.И., Клус А.А.</b> Эффективность применения дифференцированных почвозащитных севооборотов на дерново-подзолистых эродированных почвах, сформированных на моренных суглинках .....	58
<b>Бамбалов Н.Н.</b> Взаимодействие известковых удобрений с органическим веществом торфяных почв .....	65
<b>Антоник М.И.</b> Особенности почвенных условий дубрав Беловежской пушчи .....	74

## 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

<b>Серая Т.М., Богатырева Е.Н., Бирюкова О.М., Мезенцева Е.Г.</b> Агроэкономическая эффективность органических удобрений при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве .....	82
<b>Бирюкова О.М.</b> Влияние последствия органических удобрений на урожайность ярового рапса на дерново-подзолистой супесчаной почве .....	96
<b>Лапа В.В., Лопух М.С., Кулеш О.Г., Ломонос М.М., Шпока Е.И.</b> Продуктивность ярового рапса и вынос элементов питания в зависимости от системы удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве .....	102
<b>Лапа В.В., Ивахненко Н.Н., Лопух М.С., Кулеш О.Г., Грачева А.А., Шумак С.М., Ломонос М.М.</b> Качество семян ярового рапса в зависимости от систем удобрения .....	109
<b>Путятин Ю.В., Богдевич И.М., Таврыкина О.М., Довнар В.А., Третьяков Е.С., Маркевич Д.В.</b> Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы и калийных удобрений на урожайность и качество зерна ячменя .....	121
<b>Шпока Е.И.</b> Влияние комплексного применения макро- и микроудобрений на урожайность и вынос элементов питания ячменем при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве .....	128

<b>Таврыкина О.М., Богдевич И.М., Путятин Ю.В., Третьяков Е.С., Довнар В.А., Маркевич Д.В.</b> Влияние обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием на урожайность и качество зерна кукурузы .....	135
<b>Персикова Т.Ф., Терешонкова А.В.</b> Влияние комплексного удобрения, регуляторов роста и микроэлементов на урожайность и качество клубней картофеля на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве .....	143
<b>Аксенюк А.Р., Забара Ю.М., Якимович А.В., Мойсевич Н.В.</b> Влияние комплексных минеральных удобрений на урожайность и качество капусты белокочанной ранней при разных способах посадки .....	150
<b>Рак М.В., Титова С.А., Николаева Т.Г., Пукалова Е.Н.</b> Эффективность микроудобрений МикроСил при возделывании зерновых, зернобобовых и пропашных культур на дерново-подзолистых почвах .....	159
<b>Привалов Ф.И.</b> Применение микроудобрений для предпосевной инкрустации семян озимых зерновых культур .....	166
<b>Кутовая А.Н.</b> Содержание микроэлементов в сельскохозяйственных культурах в зависимости от применения макро- и микроэлементов .....	171
<b>Милоста Г.М.</b> Влияние микроудобрений на динамику накопления биомассы валерианы лекарственной .....	177
<b>Лапа В.В., Михайловская Н.А., Ломонос М.М., Лопух М.С., Василевская О.В., Погирницкая Т.В.</b> Влияние систем удобрения на ферментативную активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы.....	187
<b>Гуторова О.А., Шеуджен А.Х.</b> Динамика агрохимических свойств почв при возделывании риса.....	200
<b>Сороко В.И., Пироговская Г.В.</b> Влияние системы удобрения на накопление корневых и пожнивных остатков многолетними травосмесями на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве .....	206
<b>Сачивко Т.В.</b> Содержание основных элементов питания и их вынос различными сортообразцами базилика .....	215
<b>Пироговская Г.В., Хмелевский С.С.</b> Содержание и соотношения элементов питания в листьях и хвое зеленых насаждений (на примере г. Минска).....	222
<b>Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Исупова Ю.А.</b> Плодородие и физико-химические свойства чернозема выщелоченного Западного Предкавказья при длительном применении минеральных удобрений .....	233
<b>Лукашенко Н.К., Головатый С.Е., Сидорейко Н.В.</b> Пространственное распределение минерального азота, подвижного фосфора и калия в почвах территорий, прилегающих к животноводческим комплексам .....	239
<b>Сафроновская Г.М., Пироговская Г.В., Царук И.А.</b> Агрохимические показатели деградированных торфяных почв по данным крупномасштабного агрохимического обследования .....	249

<b>Доценко А.В.</b> Баланс питательных веществ и изменения агрохимических свойств чернозема типичного Левобережной Лесостепи Украины при различных системах удобрения.....	260
<b>Потапенко Л.В., Кризская М.А.</b> Агрохимическая и агроэкологическая оценки системы удобрения картофеля на дерново-подзолистых почвах Полесья.....	267
<b>Булавин Л.А.</b> Экономическая эффективность азотных удобрений на посевах озимого и ярового рапса.....	276
<b>Рефераты</b> .....	283
<b>Правила для авторов</b> .....	295

# CONTENTS

## 1. SOIL RESOURCES AND THEIR RATIONAL USE

<b>Chernysh A.F., Lihatsевич N.A.</b> The upgrading of the quantitative assessment methods of wind erosion intensity .....	8
<b>Lihatsевич N.A.</b> The verification of power soils wind erosion model.....	17
<b>Lihatsевич N.A., Chernysh A.F.</b> Complex characteristics of soil blowing process .....	27
<b>Tsytron G.S., Matychenkova O.V.</b> Soil in the protected areas of Belarus.....	34
<b>Klebanovich N.V., Domas' A.S.</b> Humus peculiarutys of podzols of Brest Polesye.....	41
<b>Matychenkov D.V., Tsytron G.S., Severtsov V.V.</b> The data bank information and logic scheme of the software and information complex for optimize use of soil resources in the Republic of Belarus .....	49
<b>Ustinova A.M., Kas,yanchik S.A., Kas,yanenko I.I., Klus A.A</b> The efficiency of the differentiated soil protective crop rotations application on the eroded sod-podzolic soils developed on moraine clay loams, in the conditions .....	58
<b>Bambalov N.N.</b> Interaction of caicareous fertilizers with organic matter of peat soils .....	65
<b>Antonik M.I.</b> The soils conditions of the oukwoods in Bieloviezskaya Puscha .....	74

## 2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION

<b>Seraya T.M., Bogatyrova E.N., Biryukova O.M., Mezentsava E.G.</b> Agroecconomic efficiency of organic fertilizers at winter wheat cultivation on sod-podzoliclight loamy soil .....	82
<b>Biryukova O.M.</b> The influence of organic fertilizers aftereffect on the spring rape yield on sod-podzolic loamy sand soil.....	96
<b>Lapa V.V., Lopukh M.S., Kulesh O.H., Lomonos M.M., Shpoka E.I.</b> Efficiency spring rape and carrying out of nutrients depending on fertilizer system in cultivation on podzoluvisol loam soil.....	102
<b>Lapa V.V., Ivakhnenko N.N., Lopukh M.S., Kulesh O.G., Gracheva A.A., Shumak S.M., Lomonos M.M.</b> Spring rapeseed quality in dependence on fertilizer system .....	109
<b>Putyatin Yu.V., Bogdevitch I.M., Tavrykina O.M., Dovnar V.A., Tretjakov E.S., Markevich D.V.</b> Influence of agrochemical properties of sod-podzolic loamy sand soil and potash fertilizers on productivity and quality of barley grain .....	121
<b>Shpoka E.I.</b> Complex application macro- both micronutrients influence on productivityand carrying out of food elements by barl on cultivation on sod-podzolic sandy soi .....	128
<b>Tavrykina O.M., Bogdevich I.M., Putyatin Yu.V., Tret'yakov E.S., Dovnar, V.A., Markevich D.V.</b> Effect exchangeble magnesium in the podzoluvisol loam soil on the yield and quality of corn grai.....	135
<b>Persikova, T.F., Tereshonkova A.V.</b> Effect of fertilizer, growth regulators and microelements on yield and quality of potato tubersin soddy-podzolic loamy soil.....	143

<b>Akseniuk A.R., Zabara J.M., Yakimovich A.V., Moisevich N.M.</b> Effect of complex mineral fertilizers on yield and quality of products early cabbage for various profiles cultivated the soil surface .....	150
<b>Rak M.V., Titova S.A., Nikolaeva T.G., Pukalova E.N.</b> Effectiveness of micro fertilizers MicroSil in grain, grain leguminous and root crop cultivation on sod-podzolic soils .....	159
<b>Privalov F.I.</b> Microfertilizers in protective-stimulating mixtures .....	166
<b>Kutovaya A.N.</b> Contents of microelements in crops depending on the application macro- and microele-ments .....	171
<b>Milosta G.M.</b> The influence of microfertilizers on dynamics of accumulation of medicinal valerian biomass.....	177
<b>Lapa V.V., Mikhailouskaya N.A., Lomonos M.M., Lopukh M.S., Vasilevskaya O.V., Poghirnitskaya T.V.</b> Effect of fertilizer system on enzymatic activity of luvisol loamy sand soil.....	187
<b>Gutorova O.A., Sheudzhen A.Kh.</b> Dynamics of soil processes during rice cultivation.....	200
<b>Soroko V.I., Pirogovskaya G.V.</b> Impact of fertilizers systems on the root and stubble remains accumulation of the perenniale grasses on podzoluvisoil loamy sand soil .....	206
<b>Sachyuka T.V.</b> Maintenance of basic elements of a foodand their carrying out various phenotypes of the basilik.....	215
<b>Pirogovskaya G.V., Hmelevsky S.S.</b> Content and correlations of nutrients in leaves and pin green plantings (on an example of Minsk) .....	222
<b>Sheudzhen A.H., Onishchenko L.M., Isupova Y.A.</b> Fertility and physical and chemical properties of the Western Caucasus leached chernozem under long-term use of mineral fertilizers .....	233
<b>Lukashenko N.K., Golovatyj S.E., Sidoreiko N.V.</b> Spatial distribution of minearal nitrogen, mobile phos-phorus and potassium forms in soils of territories adjacent to animal complexes .....	239
<b>Safronovskaya G.M., Pirogovskaya G.V., Tsaruk I.A.</b> Agrochemical of parameters destroyed peat soil in conditions intensification of agricultural use .....	249
<b>Dotsenko A.V.</b> The nutrients balance and agrochemical properties changes of typical chernozem in leftbank Forest-Steppe of Ukraine under the influence of different fertilization systems .....	260
<b>Potapenko L.V., Krizskaya M.A.</b> Agrochemical and agro-ecological assessment of the traditional and alter-native systems of fertilizer of potatoes on sod-podzolic soils of Polesie .....	267
<b>Bulavin L.A.</b> Economic efficiency of nitrogen fertilizers use on winter and spring rape crops.....	276
<b>Summaries</b> .....	283
<b>Rules for autors</b> .....	295

# 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.459.23

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ДЕФЛЯЦИИ ПОЧВ

А.Ф. Черныш, Н.А. Лихацевич

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

### ВВЕДЕНИЕ

При изучении любого процесса конечной целью является построение теории, основанной на известных законах природы. Однако не всегда удается быстро свести выявленные при исследованиях закономерности к известным общим законам. Поэтому часто исследователи вынуждены ограничивать обобщение полученных опытных данных на уровне эмпирических моделей или, что рангом ниже, эмпирических уравнений. Эмпирические модели, в отличие от эмпирических уравнений, позволительно отнести к закономерностям, из которых представляется возможным получать более частные зависимости.

В изучении дефляции (процесса выдувания почвы воздушным потоком) в настоящее время достигнут уровень построения эмпирических моделей и выполнения их обоснование с использованием результатов полевых и лабораторных исследований. Авторами новейшей «экспоненциальной» модели дефляции являются В.М. Гендугов и Г.П. Глазунов, использовавшие в своих аналитических исследованиях опытные данные по выдуванию почвы, полученные в аэродинамической трубе. В основу этой модели авторы поместили эмпирическое уравнение, названное ими «эмпирическим законом выдувания», или «нуль-моделью выдувания почвы» [1]:

$$\ln B = \beta - \alpha \frac{u_k^2}{u^2}, \quad (1)$$

где  $\ln$  – знак натурального логарифма;  $B$  – параметр массообмена (безразмерный комплекс, обобщенно характеризующий основные показатели дефляции)

$$B = q \frac{u}{\tau}, \quad (2)$$

где  $q$  – интенсивность выдувания почвы ( $\text{кг/м}^2\text{с}$ ) при фактической скорости воздушного потока;  $u$  – фактическая скорость воздушного потока ( $\text{м/с}$ ), измеренная выше слоя шероховатости;  $\tau$  – касательное напряжение трения, вызываемое ветром на поверхности почвы ( $\text{Н/м}^2$ );  $u_k$  – критическая (по В.М. Гендугову и Г.П. Глазунову) скорость воздушного потока ( $\text{м/с}$ );  $\alpha$  и  $\beta$  – эмпирические коэффициенты, отражающие влияние свойств почвы и воздушного потока на показатели эрозии (безразмерные величины).

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

На наш взгляд, модели (1) больше соответствует название «экспоненциальная», поскольку она получена путем логарифмирования экспоненциальной функции:

$$B = \exp\left(\beta - \alpha \frac{u_K^2}{u^2}\right). \quad (3)$$

Комплексный показатель  $B$  в (2) обобщенно характеризует процесс выдувания почвы. Однако при анализе процесса дефляции интерес представляет, прежде всего, интенсивность выдувания, которую можно получить из зависимостей (2) и (3) путем несложных преобразований.

Например, при критической скорости ( $u_K$ ) из (3) следует

$$B_K = \exp(\beta - \alpha), \quad (4)$$

где  $B_K$  – величина параметра массообмена при критической скорости воздушного потока.

Из отношения (3) к (4) получим:

$$\frac{B}{B_K} = \frac{\exp(\beta - \alpha \frac{u_K^2}{u^2})}{\exp(\beta - \alpha)} = \exp\left[-\alpha\left(\frac{u_K^2}{u^2} - 1\right)\right]. \quad (5)$$

С учетом (2) из (5) вытекает расчетное уравнение для определения интенсивности дефляции:

$$q = B_K \frac{\tau}{u} \exp\left[-\alpha\left(\frac{u_K^2}{u^2} - 1\right)\right]. \quad (6)$$

Подобное уравнение В.М. Гендугов и Г.П. Глазунов приводят в своей монографии [1] на с. 152, но в несколько усложненном виде:

$$q = (\mu + 1)\psi B_{KQ} \frac{\tau}{u} \exp\left[-\theta\left(\frac{u_K^2}{u^2} - 1\right)\right], \quad (7)$$

где  $\mu$ ,  $\psi$ ,  $B_{KQ}$ ,  $\theta$  – эмпирические параметры, дополнительно введенные авторами в модель дефляции для более точного учета особенностей конкретных почвенных поверхностей.

Несмотря на упрощение (6) относительно формулы (7), практическое использование предложенных В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым «нуль-модели выдувания почвы» (1) и его следствий (6), (7) требует определения ряда эмпирических параметров, физический смысл которых сложно увязать с известными почвенными характеристиками. Не случайно для одной и той же почвы, например, темно-каштановой, приведенные в монографии [1] (табл. 4.1.2) значения параметра  $B_K$  изменяются от 3,1 до 25, а эмпирический коэффициент  $\alpha$  колеблется в пределах от 3,3 до 12,5. Причем отсутствует какая-либо корреляционная связь между этими параметрами. Аналогичный вывод справедлив и для других типов почв, эмпирические параметры для которых приведены в указанной таблице [1]. Поэтому применение выводов, вытекающих из «экспоненциальной» модели дефляции

В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова, при оценке выдувания почвы воздушным потоком в условиях Беларуси наталкивается на ряд принципиальных трудностей, для разрешения которых требуются постановки собственных опытов в аэродинамической трубе, что, во-первых, трудноосуществимо, а во-вторых, малопродуктивно по причине присутствия в модели нескольких эмпирических параметров, изменяющихся по неустановленным законам.

В связи с возникшими трудностями мы попытались максимально упростить математическое представление дефляции и предложить собственный вариант ее моделирования, проверив его адекватность на экспериментальном материале В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова с использованием данных по выдуванию, полученных в аэродинамической трубе на разных почвенных поверхностях [1].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рабочей гипотезой явилось предположение о том, что интенсивность выдувания почвы связана со скоростью воздушного потока не экспоненциальной, а степенной зависимостью, т.е. имеет место закономерность:

$$\frac{q}{(u - u_{H\Phi})^n} = const, \quad (8)$$

где  $u_{H\Phi}$  – начальная фиксированная скорость воздушного потока;  $n$  – эмпирический показатель степени, зависящий от величины начальной фиксированной скорости воздушного потока, т.е.  $n=f(u_{H\Phi})$ .

Следствием уравнения (8), которое назовем «степенной» моделью дефляции, является формула, которую можно использовать при расчете интенсивности дефляции:

$$q = q_{\Phi} \left( \frac{u - u_{H\Phi}}{u_{\Phi} - u_{H\Phi}} \right)^n, \quad (9)$$

где  $q_{\Phi}$  – фиксированная интенсивность выдувания, соответствующая некоторой фиксированной скорости  $u_{\Phi}$ .

При использовании «степенной» модели дефляции (8) и расчетной формулы (9) необходимо учитывать ограничения

$$u_0 < u_{H\Phi} < u_{\Phi} < u_{m\Phi}, \quad (10)$$

где  $u_0$  – пороговая скорость ветра, с которой начинает проявляться касательное напряжение трения, вызванное воздушным потоком на поверхности почвы (для свободных от растительности почвенных поверхностей предположительно  $u_0=4\text{м/с}$ , [2]);  $u_{m\Phi}$  – максимальная фиксированная для данной почвы скорость воздушного потока.

В качестве максимальной фиксированной скорости воздушного потока ( $u_{m\Phi}$ ) может быть принята, например, так называемая «разрушающая» для данной почвы скорость ветра. А в качестве фиксированной скорости воздушного потока ( $u_{\Phi}$ ) можно использовать, следуя рекомендации В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова, «критическую» скорость ветра ( $u_{\kappa}$ ).

Заметим, что расчетное уравнение (9) охватывает всю область возможных скоростей воздушного потока (10), которые могут вызвать дефляцию почвы (от

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

пороговой ( $u_0$ ) до разрушающей ( $u_p$ ) скорости). Что касается «экспоненциальной» модели В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова, то уравнение (1) справедливо только при  $u \geq u_K$ , т.е. в более узком диапазоне.

Уравнение (9) является основным в «степенной» модели дефляции. Проверим его соответствие экспериментальным данным В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова. В монографии [1, с. 205, рис. 11.3.2]) приведен типичный вид экспериментальной зависимости  $q=f(u)$  на примере образца песчаной почвы, обработанной кондиционером. Обобщая полученный результат, авторы опыта указывают, что «... графики зависимости интенсивности выдувания от скорости воздушного потока **во всех случаях имеют вид параболических кривых**» (подчеркнуто нами). Причем форма параболы сохраняется в диапазоне от некоторой скорости ветра, отмеченной в [1] (со ссылкой на исследования Bagnold R.A.) как «несдвигающая» скорость, до так называемой «разрушающей» скорости, при которой происходит полное разрушение целостности почвенной поверхности (например, для анализируемого образца срыв защитного покрытия и разрушение почвы произошли по утверждению В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова при  $u_p=33$  м/с [1]).

Для упрощения анализа придадим расчетным уравнениям линейную форму путем логарифмирования.

Для формулы В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова (6):

$$\ln q = \left[ \alpha + \ln \left( B_K \frac{\tau}{u} \right) \right] - \alpha \frac{u_K^2}{u^2}. \quad (11)$$

Для формулы (9):

$$\ln q = \ln \frac{q_\phi}{(u_\phi - u_{H\phi})^n} + n \ln (u - u_{H\phi}). \quad (12)$$

Отождествляя начальную фиксированную скорость с разными значениями (от нуля до близких к наблюдаемым максимальным скоростям воздушного потока), можно получить ряд линейных уравнений вида:

$$y = N + nx, \quad (13)$$

где  $y$  – в (11) и (12)  $y = \ln q$ ;  $N$  – так называемый «свободный» член уравнения (13), в качестве которого у В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова (11) принимается

$N = \left[ \alpha + \ln \left( B_K \frac{\tau}{u} \right) \right]$ , а в уравнении (12)  $N = \ln \frac{q_\phi}{(u_\phi - u_{H\phi})^n}$ ;  $n$  – коэффициент пропорциональности в (12), (13), который аналогичен эмпирическому коэффициенту  $\alpha$  в (11), т.е. у В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова  $n = \alpha$ ;  $x$  – аргумент функции (13), в качестве которого в (11) принимается отношение  $x = u^2/u^2$ , а в (12) –  $x = \ln (u - u_{H\phi})$ .

В таблице 1 для обработанного кондиционером образца песчаной почвы приведен расчет исходных показателей, использованных для построения графиков функции (13) на рис. 1 при различных значениях начальной фиксированной скорости ( $u_{H\phi}$ ).

График на рис. 1а соответствует формуле (11). Графики на рис. 1б...1к построены по зависимости (12), преобразованной в линейную форму (13). Коэффициенты регрессии полученных линейных уравнений, аппроксимирующих опытные

точки на рис. 1, подтверждают предположение о взаимосвязи эмпирического показателя степени ( $n$ ) и начальной фиксированной скорости воздушного потока ( $u_{H\Phi}$ ).

Таблица 1

**Расчет показателей в модели выдувания почвы (8), (9) при различных значениях фиксированной начальной скорости воздушного потока на основе опытных данных В.М. Гедугова и Г.П. Глазунова [1]**

$u$ , м/с	$q$ , кг/(м <sup>2</sup> с)	$u^2$	$u_{\kappa}^2 / u^2$	$\ln q$	$\ln u$	$u-4$	$\ln (u-4)$	$u-8$	$\ln (u-8)$	$u-14$
15,5	0,000002	240,25	0,266389	-13,12	2,74084	11,5	2,44235	7,5	2,014903	1,5
16,4	0,000011	268,96	0,237954	-11,42	2,79728	12,4	2,51770	8,4	2,128232	2,4
17,2	0,000010	295,84	0,216333	-11,51	2,84491	13,2	2,58022	9,2	2,219203	3,2
18,0	0,000012	324,00	0,197531	-11,33	2,89037	14,0	2,63906	10,0	2,302585	4,0
18,6	0,000030	345,96	0,184992	-10,41	2,92316	14,6	2,68102	10,6	2,360854	4,6
19,6	0,000028	384,16	0,166597	-10,48	2,97553	15,6	2,74727	11,6	2,451005	5,6
20,4	0,000033	416,16	0,153787	-10,32	3,01553	16,4	2,79728	12,4	2,517696	6,4
21,8	0,000050	475,24	0,134669	-9,90	3,08191	17,8	2,87920	13,8	2,624669	7,8
23,5	0,000142	552,25	0,115890	-8,86	3,15700	19,5	2,97041	15,5	2,740840	9,5
25,1	0,000155	630,01	0,101586	-8,77	3,22287	21,1	3,04927	17,1	2,839078	11,1
26,7	0,000130	712,89	0,089775	-8,95	3,28466	22,7	3,12236	18,7	2,928524	12,7
28,5	0,000244	812,25	0,078793	-8,32	3,34990	24,5	3,19867	20,5	3,020425	14,5
31,0	0,000355	961,00	0,066597	-7,94	3,43399	27,0	3,295884	23,0	3,135494	17,0

Продолжение таблицы 1

$\ln (u-14)$	$u-16$	$\ln (u-16)$	$u-17$	$\ln (u-17)$	$u-18$	$\ln (u-18)$	$u-20$	$\ln (u-20)$	$u-24$	$\ln (u-24)$
0,405465	-0,5	-	-1,5	-	-2,5	-	-4,5	-	-8,5	-
0,875469	0,4	-0,916290	-0,6	-	-1,6	-	-3,6	-	-7,6	-
1,163151	1,2	0,182322	0,2	-1,60944	-0,8	-	-2,8	-	-6,8	-
1,386294	2	0,693147	1,0	0,00000	0,0	-	-2,0	-	-6	-
1,526056	2,6	0,955511	1,6	0,47000	0,6	-0,051083	-1,4	-	-5,4	-
1,722767	3,6	1,280934	2,6	0,95551	1,6	0,47000	-0,4	-	-4,4	-
1,856298	4,4	1,481605	3,4	1,22378	2,4	0,87547	0,4	-0,91629	-3,6	-
2,054124	5,8	1,757858	4,8	1,56862	3,8	1,33500	1,8	0,587787	-2,2	-
2,251292	7,5	2,074903	6,5	1,87180	5,5	1,70475	3,5	1,252763	-0,5	-
2,406945	9,1	2,208274	8,1	2,09186	7,1	1,96009	5,1	1,629241	1,1	0,095310
2,541602	10,7	2,370244	9,7	2,27213	8,7	2,16332	6,7	1,902108	2,7	0,993252
2,674149	12,5	2,525729	11,5	2,44235	10,5	2,35138	8,5	2,140066	4,5	1,504077
2,833213	15	2,708050	14,0	2,63906	13,0	2,56495	11,0	2,397895	7	1,945910

Значения коэффициентов детерминации, приведенные на рис. 1а и рис. 1б...1д, показывают, что наиболее тесную связь с опытными точками имеет функция (13) при  $u_{H\Phi}=14$  м/с и  $n=2$ . Если для формулы В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова показатель этой связи  $R^2=0,957$ , то для формул (9), (12) при  $u_{H\Phi}=14$  м/с и  $n=2$  имеем  $R^2=0,961$ . Именно с этой точки функция (9) принимает форму параболы. При меньших величинах начальной фиксированной скорости показатель степени в (8) и (9) больше двух, а при больших значениях, наоборот, меньше двух.

На рис. 2 на примере песчаной почвы, обработанной кондиционером, показаны графики функции (9) в относительных координатах:

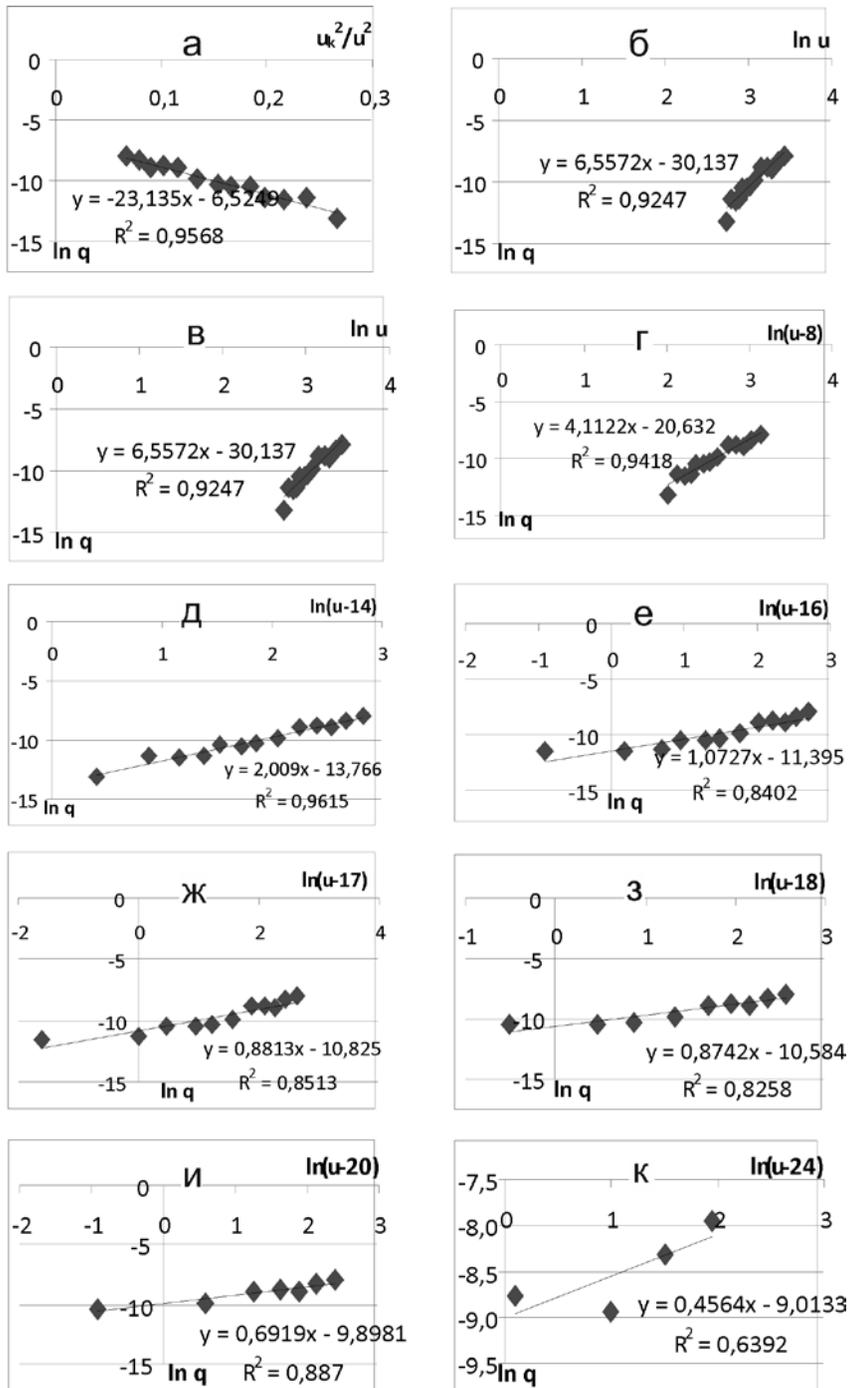


Рис. 1. Иллюстрация зависимости показателя степени от начальной фиксированной скорости воздушного потока для песчаной почвы, обработанной кондиционером, в моделях дефляции: а – по В.М. Гендугову и Г.П. Глазунову; б...к – по модели (8), (9) при б –  $u_{\text{нф}}=0$  м/с; в –  $u_{\text{нф}}=4$  м/с; г –  $u_{\text{нф}}=8$  м/с; д –  $u_{\text{нф}}=14$  м/с; е –  $u_{\text{нф}}=16$  м/с; ж –  $u_{\text{нф}}=17$  м/с; з –  $u_{\text{нф}}=18$  м/с; и –  $u_{\text{нф}}=20$  м/с; к –  $u_{\text{нф}}=24$  м/с.

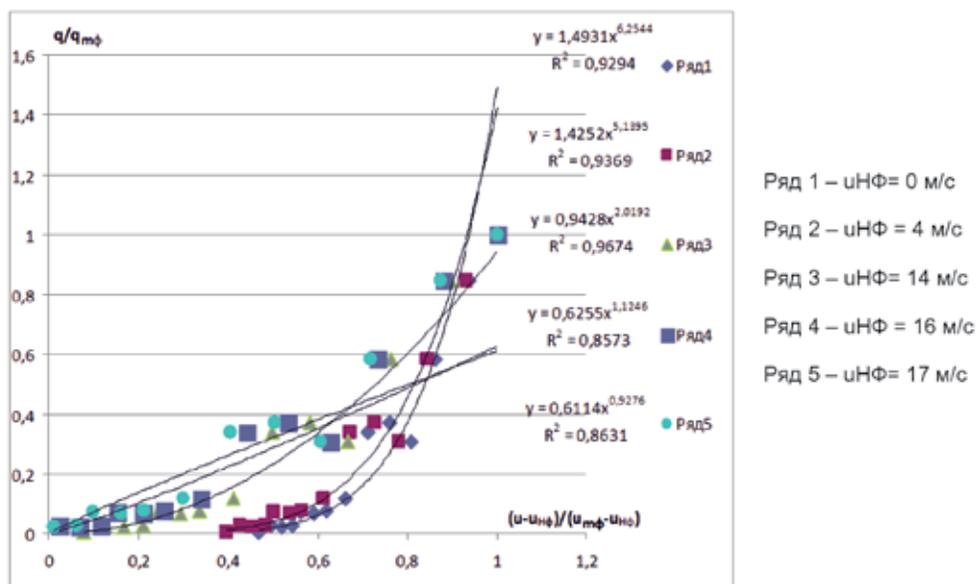


Рис. 2. Зависимость показателя степени в уравнении (9) от начальной фиксированной скорости воздушного потока (в качестве максимальной фиксированной скорости воздушного потока принято значение разрушающей скорости для данного почвенного образца  $u_{m\phi} = 33$  м/с [1])

$$\frac{q}{q_{\phi}} = \left( \frac{u - u_{H\phi}}{u_{\phi} - u_{H\phi}} \right)^n \quad (14)$$

Совместный анализ линейной (13) и степенной (14) зависимостей представлен в таблице 2. Как видим, полученные по формулам (13) и (14) значения показателей степени между собой практически совпадают (отклонения колеблются в пределах  $\pm 5\%$ ). Причем наилучшие показатели тесноты связи функций (13) и (14) с опытными точками наблюдаем именно при  $u_{H\phi} = 14$  м/с и  $n = 2$ . Показатель степени, равный двум, означает, что функция (14), начиная с точки  $u_{H\phi}$  принимает форму параболы.

Таким образом, согласно результатам анализа, который подтвердил справедливость (9), в качестве начальной фиксированной скорости используем скорость ветра при  $n = 2$ . Скорость воздушного потока, при которой показатель степени  $n = 2$ , назовем «начальной квадратичной» скоростью. В качестве второй фиксированной скорости ветра используем критическую скорость ( $u_{\phi} = u_{KP}$ ). В результате получим расчетную зависимость:

$$q = q_{KP} \left( \frac{u - u_H}{u_{KP} - u_H} \right)^2 \quad (15)$$

где  $u_H$  – начальная квадратичная скорость ветра, с которой дефляция начинает развиваться по квадратичному (параболическому) закону;  $q_{KP}$  – интенсивность выдувания

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

почвы, зафиксированная при критической скорости воздушного потока;  $u_{кр}$  – критическая скорость ветра в «степенной» модели дефляции.

Формула (15) имеет характеристику тесноты связи не хуже, чем у формулы В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова (сравним коэффициенты детерминации, приведенные на рис. 1а, 1б и рис. 2). Вместе с тем, в отличие от модели В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова (1) математическое описание процесса выдувания в виде параболической функции (15) не содержит эмпирических коэффициентов с неясной физической природой. Все составные параметры уравнения (15) имеют ясный физический смысл.

Выполненный выше анализ основан на экспериментальных данных, приведенных в монографии В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова [1, с. 205, рис. 11.3.2] и представляющих процесс ветровой эрозии песчаной почвы, обработанной кондиционером. Полученные выводы можно подтвердить аналогичным анализом процесса дефляции с использованием других почвенных образцов. Однако следует учитывать, что расчетная формула (15) несколько ограничивает «степенную» модель дефляции, аппроксимируя опытные точки только в области:

$$u_{кр} \leq u. \quad (16)$$

Заметим, что «экспоненциальная» модель (1) В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова также ориентирована на область (16). Однако возможности «степенной» модели дефляции, предложенной нами, не ограничиваются формулой (15). Более полно раскрыть потенциал модели (8), (9) позволит дальнейший анализ.

Таблица 2

### Показатели степени, полученные при разных величинах начальной фиксированной скорости воздушного потока, который воздействует на песчаную почву, обработанную кондиционером, для «степенной» модели дефляции

Начальная фиксированная скорость воздушного потока $u_{H0}$ , м/с	Показатели уравнения (13) по рис. 1			Показатели уравнения (9) по рис. 2		$\frac{n(13)}{n(9)}$
	$N$	$n$	$R^2$	$n$	$R^2$	
0	-30,137	6,557	0,92	6,254	0,93	1,048
4	-25,300	5,351	0,93	5,140	0,94	1,041
8	-20,632	4,112	0,94	–	–	–
14	-13,766	2,009	0,96	2,019	0,97	0,995
16	-11,395	1,073	0,84	1,125	0,86	0,954
17	-10,825	0,881	0,85	0,928	0,86	0,949
18	-10,584	0,874	0,83	–	–	–
20	-9,898	0,692	0,89	–	–	–
24	-9,013	0,456	0,64	–	–	–

В соответствии с полученными результатами, «начальная квадратичная» скорость ветра ( $U_H$ ), с которой дефляция начинает развиваться по параболе ( $n=2$ ), имеет важнейшее значение при практической реализации «степенной» модели дефляции. С другой стороны, она же является дополнительным показателем, который отсутствует в модели (1). Однако заметим, что у В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова для расчета по (6) и (7) требуется определить от четырех до шести исходных показателей, а в формуле (15) их всего три, включая введенную нами в расчет

начальную квадратичную скорость ветра. Причем, как показал выполненный выше анализ (сравнение коэффициентов детерминации), результаты расчета по (15) по точности не уступают результатам, полученным по (6).

## ВЫВОДЫ

1. Анализ опытных данных по дефляции почвы, приведенных в монографии В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова [1], показал, что их с достаточно высокой точностью можно аппроксимировать с помощью степенной функции, представленной нами в качестве «степенной» модели дефляции, в которой вместо эмпирических коэффициентов используются фиксированные скорости воздушного потока.

2. Зависимость интенсивности выдувания почвы от скорости ветра принимает форму параболы, начиная с некоторой начальной фиксированной скорости воздушного потока, названной нами «начальной квадратичной» скоростью.

3. Статистические характеристики результатов вычислений, выполненных по установленной параболической зависимости (15), не уступают аналогичным характеристикам, полученным при использовании расчетных формул В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова, базирующихся на большем числе исходных параметров.

## ЛИТЕРАТУРА

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

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

## THE UPGRADING OF THE QUANTITATIVE ASSESSMENT METHODS OF WIND EROSION INTENSITY

A.F. Chernysh, N.A. Lihatsевич

### Summary

Necessity of maximum simplification of wind erosion process mathematical formulation on account of principled difficulties in practical use for conditions of Belarus of latest soil wind erosion empirical model, developed by V.M. Gendugov and G.P. Glazunov, is substantiated. Supposition, that blowing intensity relate to air stream velocity not by exponential, but by power dependence, is put forward. "Power" wind erosion model encompassing the whole area of possible wind velocities, in which empirical coefficients are absent, is developed on this basis.

Derived model verification using experimental data of V.M. Gendugov and G.P. Glazunov is fulfilled. Is defined, that the most intimate relation with experimental points is observed near the wind velocity 14 m/c and exponent equal 2, i.e. when the function shapes parabola. The parameter – "initial quadratic" air stream velocity, starting with which wind erosion develops according to parabolic law, thus for the first time is determined.

*Поступила 1 ноября 2012 г.*

## ВЕРИФИКАЦИЯ СТЕПЕННОЙ МОДЕЛИ ДЕФЛЯЦИИ ПОЧВ

Н.А. Лихацевич

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

### ВВЕДЕНИЕ

Анализ опубликованных В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым экспериментальных данных, полученных при исследовании процесса дефляции в аэродинамической трубе [1], позволил нам предложить «степенную» модель выдувания почвы, в которой интенсивность дефляции связана со скоростью воздушного потока степенной зависимостью вида

$$q = q_{\phi} \left( \frac{U - U_{H\phi}}{U_{\phi} - U_{H\phi}} \right)^n, \quad (1)$$

где  $q_{\phi}$  – фиксированная интенсивность выдувания, соответствующая некоторой фиксированной скорости  $U_{\phi}$ ;  $n$  – эмпирический показатель степени, зависящий от величины начальной фиксированной скорости воздушного потока, т.е.  $n = f(U_{H\phi})$ ;  $U_{H\phi}$  – начальная фиксированная скорость воздушного потока.

При этом предполагается, что модель (1) справедлива во всей области возникновения и развития дефляции

$$U_0 < U_{H\phi} < U_{\phi} < U_{m\phi}. \quad (2)$$

где  $U_0$  – пороговая скорость ветра, с которой начинает проявляться касательное напряжение трения, вызванное воздушным потоком на поверхности почвы (для любых почвенных поверхностей, свободных от растительности, предположительно  $U_0=4\text{ м/с}$  [2]);  $U_{m\phi}$  – максимальная фиксированная для данной почвы скорость воздушного потока.

В качестве максимальной фиксированной скорости воздушного потока ( $U_{m\phi}$ ) может быть принята, например, так называемая «разрушающая» для данной почвы скорость ветра, при которой происходит полное разрушение целостности почвенной поверхности (например, для образца песчаной почвы, обработанной кондиционером, срыв защитного покрытия и разрушение почвы произошли по данным В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова при  $U_{m\phi}=33\text{ м/с}$  [1]). В качестве фиксированной скорости воздушного потока ( $U_{\phi}$ ), следуя рекомендации В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова, можно использовать так называемую «критическую» скорость ветра ( $U_{кр}$ ).

Принимая во внимание вывод В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова, что зависимость интенсивности выдувания почвы от скорости воздушного потока во всех случаях имеет вид параболических кривых, в математическое описание процесса выдувания почвы воздушным потоком введена так называемая «начальная квадратичная» скорость ветра, именно с которой дефляция начинает развиваться по параболе ( $n=2$ ). С использованием данного показателя получена расчетная

зависимость, характеризуемая коэффициентом детерминации не меньшим, чем у формул В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова [1]. Данная зависимость является следствием (1) и имеет вид:

$$q = q_{KP} \left( \frac{U - U_H}{U_{KP} - U_H} \right)^2, \quad (3)$$

где  $U_H$  – «начальная квадратичная» скорость ветра, с которой дефляция начинает развиваться по параболическому закону;  $q_{KP}$  – интенсивность выдувания почвы, зафиксированная при критической скорости воздушного потока ( $U_{KP}$ ).

Анализ показал, что расчетная формула (3) аппроксимирует опытные точки в области

$$U > U_{KP}. \quad (4)$$

Зависимость (3) с ограничением (4) является частным случаем «степенной» модели дефляции (1). Сама же модель (1), как выше указано, должна быть справедлива во всей области возможных скоростей воздушного потока (2), вызывающих дефляцию, (от пороговой ( $U_0$ ) до разрушающей ( $U_p$ ) скорости). Поэтому интерес представляет обоснование функции, соответствующей модели (1) и аппроксимирующей опытные точки по выдуванию почвы в области до критической скорости, т.е.

$$U_0 < U \leq U_{KP}. \quad (5)$$

Искомую функцию можно получить, проанализировав результаты опытов по выдуванию почв, полученные В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым при исследовании процесса дефляции в аэродинамической трубе. В монографии указанных авторов приведен обширный опытный материал, который позволяет изучить закономерности дефляции во всей области ее возможного проявления (2), включая докритические скорости воздушного потока (5) [1].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Первичный анализ выполнен с использованием данных, полученных В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым при испытании обработанного кондиционером образца песчаной почвы на выдувание в аэродинамической трубе [1]. В таблице 1 приведены результаты обработки этих данных на основе «степенной» модели дефляции. Они подтверждают, что показатель степени в (1) является функцией начальной фиксированной скорости.

Таблица 1

**Исходные показатели для тестирования функции  $n = f(U_{HФ})$ , полученные при испытании на выдувание образца песчаной почвы, обработанной кондиционером, по данным [1]**

$U_{HФ}$	0	4	8	14	16	17	18	20	24
$n$	6,56	5,35	4,11	2,01	1,07	0,88	0,87	0,69	0,46

График зависимости  $n=f(U_{HФ})$ , построенный по данным таблицы 1, наглядно демонстрирует линейность искомой функции с переломом в точке  $n=1$  (рис. 1).

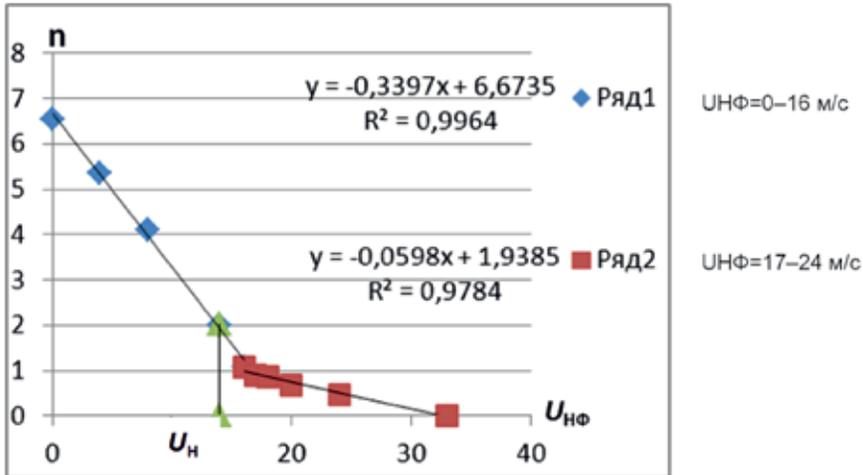


Рис. 1. Связь показателя степени ( $n$ ) с величиной начальной фиксированной скорости воздушного потока ( $U_{нФ}$ ).

На рис. 1 показатель степени  $n=2$  соответствует «начальной квадратичной» скорости воздушного потока ( $U_{н}$ ). Согласно рис. 1, трансформация расчетного выражения (1) в области  $0 < U \leq U_{кр}$  связана с уменьшением показателя степени  $n$  от некоторого максимального значения  $N_0$  до  $n=1$  (рис.1). Причем до и после перелома в точке  $n=1$  функция  $n=f(U_{нФ})$  имеет линейную форму, подтверждаемую очень высокими коэффициентами детерминации, превышающими 0,97.

Подобный перелом многократно демонстрируется и в монографии В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова [1] на графиках функции  $\ln B = f(U_{к}/U)^2$  для различных почвенных поверхностей при достижении воздушным потоком так называемой «критической» скорости. Авторы, анализируя результаты опытов и значения «критической» скорости ветра, дают следующую трактовку данного термина [1, с. 47]: «под критической понимается наименьшая средняя скорость воздушного потока, при которой начинается непрекращающийся отрыв и вынос почвенных частиц, закономерно возрастающий с ростом скорости ветра». Дополним трактовку В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова и назовем «критической» скорость воздушного потока на графике функции  $n=f(U_{нФ})$  в точке с  $n=1$ .

Полученный вывод основан на результатах испытаний одного почвенного образца (рис. 1). Необходимо подтвердить линейность функции  $n=f(U_{нФ})$  в области  $n \geq 1$  для других почвенных образцов.

Используем для этого данные по связи безразмерного комплексного показателя дефляции ( $B$ ) с квадратом относительной скорости воздушного потока ( $U_{к}/U$ )<sup>2</sup>, представленной В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым в виде эмпирического уравнения [1]

$$\ln B_{ГТ} = \beta - \alpha \frac{U_{к}^2}{U^2}, \quad (6)$$

где  $\ln$  – знак натурального логарифма;  $B_{ГТ}$  – комплексный показатель массообмена, введенный в расчет В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым, (безразмерный комплекс, обобщенно характеризующий основные показатели дефляции), который равен [1]

$$B = q \frac{U}{\tau}, \quad (7)$$

где  $q$  – интенсивность выдувания почвы ( $\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$ ) при фактической скорости воздушного потока;  $U$  – фактическая скорость воздушного потока ( $\text{м}/\text{с}$ ), измеренная выше слоя шероховатости;  $\tau$  – касательное напряжение трения, вызываемое ветром на поверхности почвы ( $\text{Н}/\text{м}^2$ );  $U_k$  – критическая скорость воздушного потока ( $\text{м}/\text{с}$ );  $\alpha$  и  $\beta$  – эмпирические коэффициенты, отражающие влияние свойств почвы и воздушного потока на показатели эрозии (безразмерные величины).

Значение аналогичного комплексного показателя ( $B_{\Gamma\Gamma}$ ) можно также получить путем логарифмирования выражения (1)

$$\ln B_{\Gamma\Gamma} = \ln \frac{q_{m\phi}}{a\rho_e (U_{m\phi} - U_{н\phi})^n} - \ln U + n \ln (U - U_{н\phi}),$$

Запишем полученное уравнение в удобном для анализа виде:

$$\ln B_{\Gamma\Gamma} + \ln U = \ln \frac{q_{m\phi}}{a\rho_e (U_{m\phi} - U_{н\phi})^n} + n \ln (U - U_{н\phi}). \quad (8)$$

Функцию (8) используем для тестирования модели (1) по данным, представленным в монографии В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова [1, с. 68, табл. 4.1.1, с. 69, рис. 4.1.1]. В качестве примера, поясняющего методику тестирования, приводим таблицу 2 и ее иллюстрацию на рис. 2.

Таблица 2

**Расчет показателей для тестирования модели дефляции (1) по уравнению (8) и данным [1] для песчаных почв с частицами, размером 0,1...0,25 мм**

$\ln B_{\Gamma\Gamma}$	$U_k^2/U^2$	$U^2(U_k=5\text{м}/\text{с})$	$U, \text{м}/\text{с}$	$\ln(U)$	$\ln B_{\Gamma\Gamma} + \ln(U)$	$U-4$	$\ln(U-4)$	$U-5$	$\ln(U-5)$
-1,75	0,770	32,648	5,698	1,7401	-0,00987	1,698	0,5295	0,698	-0,35949
-1,72	0,803	31,133	5,580	1,7191	-0,00086	1,580	0,4572	0,580	-0,54521
-4,26	0,874	28,604	5,348	1,6768	-2,58322	1,348	0,2988	0,348	-1,05474
-6,00	0,945	26,445	5,143	1,6377	-4,36227	1,143	0,1340	0,143	-1,94180
-6,30	0,962	25,988	5,098	1,6288	-4,67119	1,098	0,0933	0,098	-2,32487
-7,67	0,990	25,253	5,025	1,6145	-6,05553	1,025	0,0249	0,025	-3,68134
-9,25	1,080	23,148	4,811	1,5709	-7,67909	0,811	-0,2095	-0,189	-
-10,95	1,160	21,552	4,642	1,5351	-9,41485	0,642	-0,4432	-0,358	-
-10,95	1,293	19,335	4,397	1,4809	-9,46907	0,397	-0,9238	-0,603	-
-9,55	1,324	18,882	4,345	1,4690	-8,08097	0,345	-1,0642	-0,655	-

Графики функции (8), приведенные на рис. 2, подтверждают линейность функции  $n=f(U_{н\phi})$  в области  $N_0(U_{н\phi}=0) \leq n \leq 1$  для анализируемого почвенного образца с высокой степенью достоверности (коэффициент детерминации близок к 1) при изменении начальной фиксированной скорости от нулевого значения до критической скорости. Причем в расчетах значения начальной фиксированной скорости последовательно выбраны равными нулю ( $U_{н\phi}=0$ ), пороговой скорости ( $U_{н\phi}=U_0=4\text{м}/\text{с}$ ) и критической для данной почвы скорости ( $U_{н\phi}=U_{к\phi}=5\text{м}/\text{с}$ ). Можно добавлять произвольные значения начальной фиксированной скорости

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

в диапазоне  $0 \leq U_{H\Phi} \leq U_{KP}$ . Но с целью сокращения количества возможных вариантов расчетов до обоснованного минимума ограничимся тремя указанными точками, расположение которых на плоскости позволяет уверенно подтвердить линейность функции  $n=f(U_{H\Phi})$ .

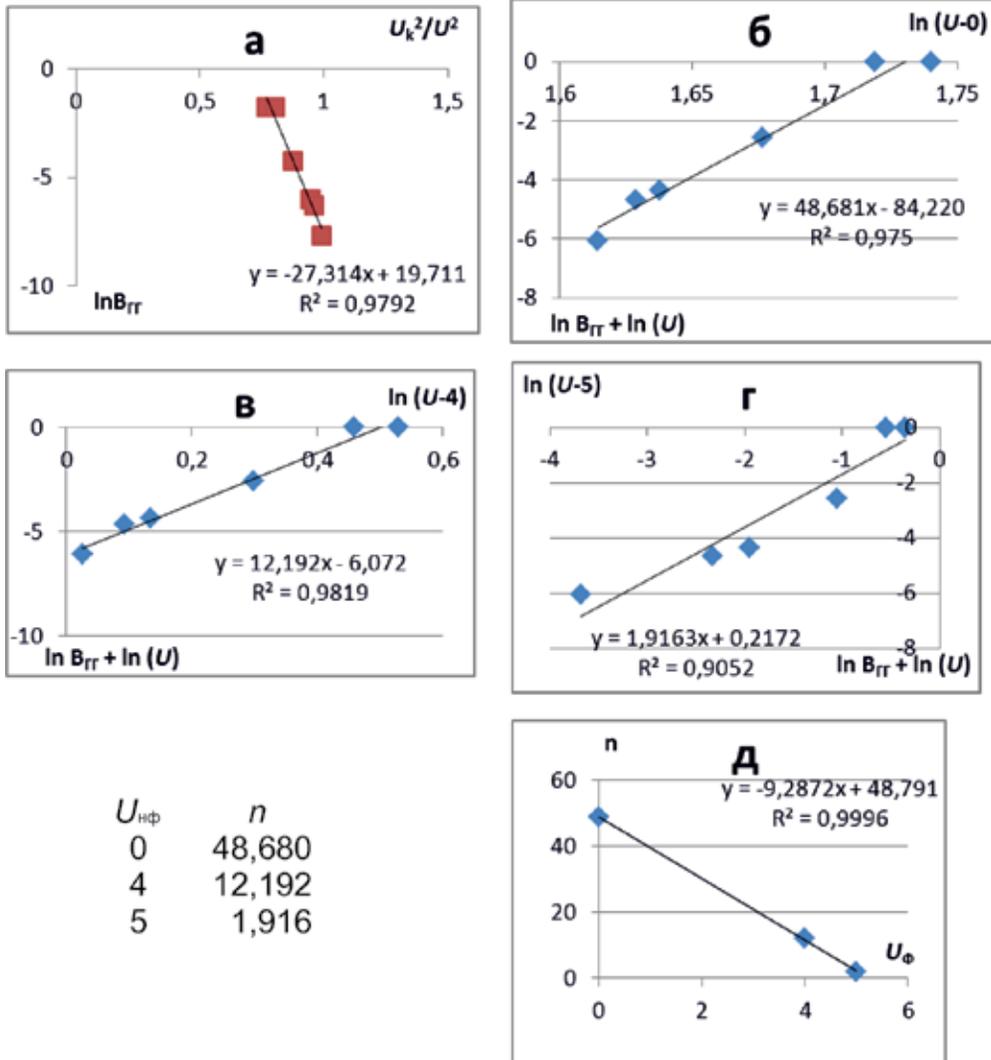


Рис. 2. Графики тестирования моделей дефляции для песка с размером частиц 0,1–0,25: а – М.В. Гендугова и Г.П. Глазунова; б...д – по функции (8) при: б –  $U_{H\Phi}=0$ ; в –  $U_{H\Phi}=4$ ; г –  $U_{H\Phi}=5$  м/с; д – сводная функция  $n=f(U_{H\Phi})$ .

Аналогичным образом нами протестированы данные по всему спектру песчаных и черноземных почв, приведенные в [1, с. 68, табл. 4.1.1 и с. 69, рис. 4.1.1]. Заметим, что коэффициент детерминации линейной связи  $n=f(U_{H\Phi})$  в диапазоне  $0 \leq U_{H\Phi} \leq U_{KP}$  ( $U_{KP}$  – критическая скорость воздушного потока для данной почвы, рассчитанная из условия  $n=1$ ) во всех случаях превышает 0,99, что несомненно является убедительным подтверждением линейности данной связи в области

$n \geq 1$ . В таблице 3 приведены результаты общего тестирования, в том числе и начальная квадратичная скорость ( $U_{нф}$ ), при которой в расчетном уравнении показатель степени  $n=2$ .

На основании данных таблицы 3 с очень высокой степенью достоверности можем утверждать, что «степенная» модель дефляции (1), предложенная нами, во-первых, подтверждена опытными данными В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова [1], во-вторых, имеет характеристики достоверности не хуже, чем у «экспоненциальной» модели дефляции В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова, а в-третьих, позволяет до минимума свести набор эмпирических параметров, используемых при расчете. Последнее утверждение требует дополнительных пояснений.

В соответствии с установленной закономерностью (рис. 2), можно предложить расчетную схему, представленную в общем виде на рис. 3.

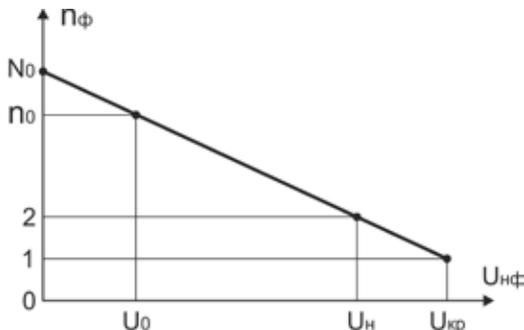


Рис. 3. График зависимости показателя степени ( $n$ ) в модели дефляции (1) от начальной фиксированной скорости ( $U_{нф}$ )

Таким образом, на основании результатов анализа (рис.2, 3) из «степенной» модели дефляции (1) получаем ряд зависимостей, которые можно использовать для расчета дефляции в области  $U_0 < U \leq U_{кр}$ , а именно:

$$\frac{q}{q_{кр}} = \left( \frac{U}{U_{кр}} \right)^{N_0} = \left( \frac{U - U_0}{U_{кр} - U_0} \right)^{n_0} = \left( \frac{U - U_H}{U_{кр} - U_H} \right)^2, \quad (9)$$

где  $N_0$  – показатель степени в функции (1) при  $U_{нф}=0$ ;  $n_0$  – показатель степени в функции (1) при  $U_{нф}=U_0=4\text{м/с}$

Исходя из линейности функции  $n=f(U_{нф})$ , справедлива система пропорций (рис. 3):

$$\frac{N_0 - 1}{U_{кр}} = \frac{N_0 - 2}{U_H} = \frac{N_0 - n_0}{U_0} = \frac{n_0 - 1}{U_{кр} - U_0} = \frac{n_0 - 2}{U_H - U_0} = \frac{2 - 1}{U_{кр} - U_H}. \quad (10)$$

Из данной системы можно получить ряд зависимостей для определения показателей степени  $N_0$  и  $n_0$ , соответствующих  $U_{нф}=0$  и  $U_{нф}=U_0$ . Но прежде для решения поставленной задачи запишем линейное уравнение, связывающее параметры, входящие в (10). Это уравнение прямой, проходящей через две крайние точки (рис. 3) с координатами  $(0; N_0)$  и  $(U_{кр}; 1)$ :

$$\frac{N_0 - n}{N_0 - 1} = \frac{U_{нф} - 0}{U_{кр} - 0}. \quad (11)$$

Сравнительный анализ данных, используемых при расчете комплексного показателя  $B_{ГТ}$  на основе модели В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова (6) и модели (1)

Почвенные частицы	Размер частиц, мм	Данные (6)	Данные расчета по (8)	Сравнение результатов расчета
		$U_K$	$U_H$	$U_H/U_K$
Песок	0,10–0,25	5,0	5,04	1,008
Песок	0,20–0,30	7,0	7,08	1,011
Песок	0,30–0,40	8,0	8,16	1,020
песок	0,63–0,80	6,2	6,18	0,997
Песок	0,80–1,00	7,9	8,14	1,030
Чернозем	0,00–0,25	5,0	5,32	1,064
Чернозем	0,25–0,50	6,2	6,45	1,040
Чернозем	0,50–1,00	6,0	6,24	1,040
Чернозем	1,00–2,00	6,1	6,18	1,013
Чернозем	2,00–3,00	6,2	6,05	0,976
Чернозем	3,00–5,00	6,4	6,39	0,998

Из (10) следует

$$n = N_0 - (N_0 - 1) \frac{U_{H\Phi}}{U_{KP}} = N_0 \left( 1 - \frac{U_{H\Phi}}{U_{KP}} \right) + \frac{U_{H\Phi}}{U_{KP}}. \quad (12)$$

Как показали расчеты, в функции  $n=f(U_{H\Phi})$  значение показателя степени ( $N_0$ ) зависит только от вида поверхности, подвергаемой воздействию воздушного потока, т.е. для любой почвенной поверхности  $N_0$  есть величина постоянная. Из системы пропорций (10) можно получить зависимость показателя степени  $N_0$  от начальной и критической скоростей воздушного потока. Например, из первого равенства системы (10) следует

$$N_0 = \frac{2U_{KP} - U_H}{U_{KP} - U_H} = 1 + \frac{U_{KP}}{U_{KP} - U_H}. \quad (13)$$

С учетом (13) из (12) получим:

$$n_\Phi = \frac{2U_{KP} - U_H - U_{H\Phi}}{U_{KP} - U_H} = 1 + \frac{U_{KP} - U_{H\Phi}}{U_{KP} - U_H}. \quad (14)$$

Последняя зависимость существенно упрощает расчетную формулу «степенной» модели дефляции, которая сводится к выражению

$$q = q_\Phi \left( \frac{U - U_{H\Phi}}{U_\Phi - U_{H\Phi}} \right)^{1 + \frac{U_{KP} - U_{H\Phi}}{U_{KP} - U_H}}. \quad (15)$$

Напомним, что при использовании (15) следует руководствоваться ограничениями (2).

Из (14) следует, что если в качестве начальной фиксированной скорости выбрана начальная квадратичная скорость дефляции ( $U_H$ ), то

$$q = q_{KP} \left( \frac{U - U_H}{U_{KP} - U_H} \right)^2 \quad (16)$$

Если же в качестве начальной фиксированной скорости принять пороговую скорость ветра ( $U_0$ ), то

$$q = q_{KP} \left( \frac{U - U_0}{U_{KP} - U_0} \right)^{n_0} \quad (17)$$

где 
$$n_0 = 1 + \frac{U_{KP} - U_0}{U_{KP} - U_H} = 2 + \frac{U_H - U_0}{U_{KP} - U_H} \quad (18)$$

Необходимо заметить, что расчет по (16) требует предварительного определения трех параметров: начальной квадратичной ( $U_H$ ), критической ( $U_{KP}$ ) скорости и интенсивности выдувания ( $q_{KP}$ ) при критической скорости воздушного потока. Их определение связано с опытами, т.е. осуществляется эмпирически. Вместе с тем, «экспоненциальную» и «степенную» модели дефляции объединяет один показатель. Статистический анализ показал, что критическая скорость ( $U_K$ ), установленная и использованная в «экспоненциальной» модели дефляции В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым для песков и черноземов с разным размером частиц, для тех же почвенных поверхностей близка к начальной квадратичной скорости ( $U_H$ ), соответствующей «степенной» модели дефляции (табл. 3, рис. 4). Следовательно, для любых почвенных поверхностей, для которых В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым установлены значения критической скорости ( $U_K$ ), эти же значения можно использовать в расчетах по полученным нами зависимостям, но уже в качестве начальной квадратичной скорости ( $U_H$ ).

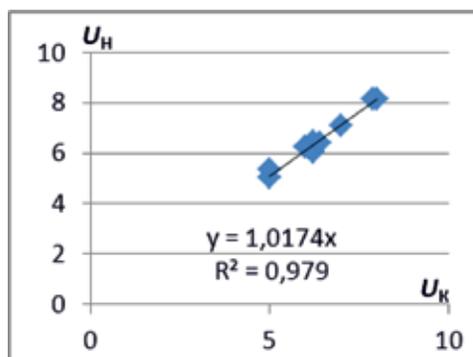


Рис. 4. Графики связи начальной скорости ( $U_H$ ) в «степенной» модели дефляции с критической скоростью ( $U_K$ ) по модели В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова (6)

Таким образом, с высокой степенью достоверности (коэффициент детерминации превышает 0,97) можно утверждать, что предложенная нами модель дефляции, во-первых, по точности не уступает модели В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова [1], а во-вторых, отличается от последней минимумом эмпирических коэффициентов.

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

В заключение уточним, какую зависимость следует использовать при расчете интенсивности дефляции в области скоростей  $U_0 < U \leq U_{кр}$ . Очевидно, что функции (17), (18) позволяют решить эту задачу. На рис. 5 приведен график, поясняющий схему расчета интенсивности выдувания почвы воздушным потоком по формулам «степенной» модели дефляции. В диапазоне скоростей ветра от пороговой ( $U_0$ ) до критической ( $U_{кр}$ ) для расчета интенсивности дефляции используются зависимости (17), (18) а в диапазоне скоростей ветра от критической ( $U_{кр}$ ) до разрушающей ( $U_p$ ) для расчета интенсивности дефляции используется зависимость (16).

Таким образом, уравнения (16)–(18) охватывают всю область – от пороговой ( $U_0$ ) до разрушающей ( $U_p$ ) скоростей ветра. Тем самым, в отличие от «экспоненциальной» модели дефляции В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова, где расчет интенсивности выдувания почвы распространяется только на область  $U_{кр} < U \leq U_p$ , предложенная нами «степенная» модель охватывает весь диапазон дефляционно опасных скоростей ветра. В этом состоит ее дополнительное преимущество.

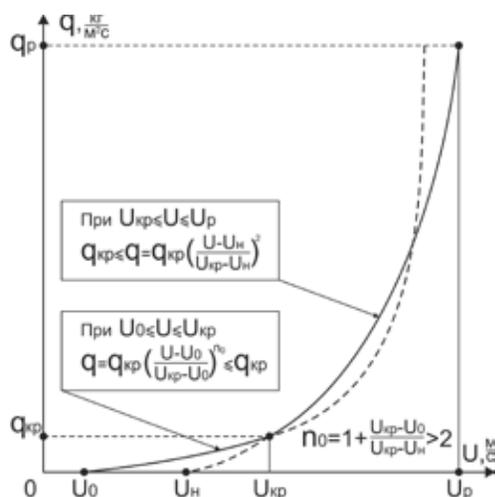


Рис. 5. Схема расчета интенсивности дефляции

## ВЫВОДЫ

1. Анализ опытных данных по дефляции почвы, приведенных в монографии В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова [1], показал, что их с достаточно высокой точностью можно аппроксимировать с помощью степенной функции, представленной нами в качестве «степенной» модели дефляции, в которой отсутствуют эмпирические коэффициенты, а используются фиксированные значения скоростей воздушного потока.

2. В основе «степенной» модели дефляции находится три физических параметра, требующие экспериментального определения:

– начальная квадратичная скорость ветра, начиная с которой дефляция развивается по параболическому закону;

– критическая скорость ветра, начиная с которой, в соответствии с определением В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова [1], происходит отрыв частиц от поверхности почвы и их вынос воздушным потоком, возрастающий при увеличении скорости ветра (начинает развиваться пыльная буря);

– интенсивность выдувания почвы, зафиксированная при критической скорости воздушного потока.

3. Расчет интенсивности дефляции рекомендуется проводить отдельно в докритическом и посткритическом диапазонах скоростей воздушного потока с использованием соответствующих зависимостей:

– в области  $U_0 < U < U_{KP}$

$$q = q_{KP} \left( \frac{U - U_0}{U_{KP} - U_0} \right)^{n_0}, \quad n_0 = 2 + \frac{U_H - U_0}{U_{KP} - U_H} > 2;$$

– в области  $U_{KP} \leq U < U_P$

$$q = q_{KP} \left( \frac{U - U_H}{U_{KP} - U_H} \right)^2.$$

4. Статистические характеристики достоверности результатов расчета различных показателей, характеризующих связь интенсивности выдувания почвы со скоростью ветра, с использованием полученных нами зависимостей не уступают аналогичным характеристикам, полученным В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым при использовании в вычислениях предложенной ими модели.

5. В отличие от «экспоненциальной» модели дефляции В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова, ограничивающей расчет интенсивности выдувания почвы скоростями воздушного потока, превышающими критическую, «степенная» модель дефляции охватывает всю область дефляционно опасных скоростей ветра.

## ЛИТЕРАТУРА

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

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

## THE VERIFICATION OF POWER SOILS WIND EROSION MODEL

N.A. Lihatsевич

### Summary

The results of experimental information analysis of soil blowing, published in monograph by V.M. Gendugov and G.P. Glazunov (2007), are presented in article. Calculations are realized with using introduced wind erosion “power” model. Three parameters, which possess clear physical interpretation – “threshold”, “initial quadratic” and “critical” air stream velocities, underlie in the introduced by us model instead of nondescript and unconnected empiric coefficients are ingressed in wind erosion “null-model” of V.M. Gendugov and G.P. Glazunov It is shown, that “power” model covers all area of wind erosion hazard velocities. Two dependences are proposed for wind erosion intensity calculation, one of which works in the range of wind velocities from threshold up to critical, other – in the range of wind velocities exceeded critical.

*Поступила 1 ноября 2012 г.*

## КОМПЛЕКСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ВЫДУВАНИЯ ПОЧВЫ

Н.А. Лихацевич, А.Ф.Черныш

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

### ВВЕДЕНИЕ

При обобщении материалов экспериментальных исследований выдувания почвы, проведенных в аэродинамической трубе, В.М. Гендугов и Г.П. Глазунов предложили опытные данные обрабатывать с использованием комплексных характеристик, установленных с помощью теории подобия и анализа размерностей физических величин [1]. Данные характеристики авторы положили в основу так называемой «нуль-модели выдувания почвы», представленной в виде экспоненциальной зависимости интенсивности дефляции от скорости ветра. Поэтому разработанную В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым модель выдувания почвы мы называем «экспоненциальной» моделью дефляции.

В своем исследовании закономерностей дефляции для обобщения того же опытного материала [1] мы использовали не экспоненциальную, а степенную зависимость и построили на этой основе «степенную» модель выдувания почвы. Эффективность предложенной модели в расчетах дефляции (по сравнению с «экспоненциальной» моделью В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова) была подтверждена близкими результатами статистического анализа опытных данных и меньшим числом параметров, присутствующих в полученных нами расчетных зависимостях. Причем в «степенной» модели мы использовали не эмпирические коэффициенты, а опорные значения скорости воздушного потока, определяющие качественные границы в развитии процесса дефляции. Например, для расчета интенсивности выдувания почвы получены формулы:

– в области  $U_0 \leq U < U_{KP}$

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

где  $q$  – интенсивность выдувания почвы,  $\text{кг/м}^2\text{с}$ ;  $q_{KP}$  – интенсивность выдувания при критической скорости воздушного потока,  $\text{кг/м}^2\text{с}$ ;  $U$  – фактическая скорость воздушного потока,  $\text{м/с}$ ;  $U_0$  – пороговая скорость воздушного потока, при которой на поверхности почвы начинает действовать вызванное ветром касательное напряжение трения, являющееся причиной дефляции, ( $U_0=4\text{м/с}$  [2]);  $U_{KP}$  – критическая скорость ветра, начиная с которой происходит непрекращающийся отрыв и вынос частиц с поверхности почвы воздушным потоком, увеличивающийся с ростом скорости ветра,  $\text{м/с}$ ;  $n_0$  – показатель степени,

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

– в области  $U_{KP} \leq U < U_p$

$$q = q_{KP} \left( \frac{U - U_H}{U_{KP} - U_H} \right)^2, \quad (3)$$

где  $U_H$  – начальная «квадратичная» скорость воздушного потока, с которой интенсивность дефляции развивается по параболическому закону, м/с [2];  $U_p$  – разрушающая скорость воздушного потока, при которой разрушается и поднимается в воздух вся почвенная поверхность [1].

Заметим, что расчетные уравнения (1), (2) и (3) охватывают весь диапазон возможных скоростей ветра, в то время как «экспоненциальная» модель В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова [1] ограничена областью  $U_{KP} \leq U$ .

Для расчета интенсивности дефляции по формулам (1) и (2) необходимо знать три параметра, которые устанавливаются для каждого вида почвенной поверхности:  $q_{KP}$ ,  $U_{KP}$ ,  $U_H$ . Четвертый параметр – пороговая скорость для всех почвенных поверхностей постоянна и равна  $U_0 = 4$  м/с [2]. В свою очередь, расчетные формулы, полученные В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым на основе «экспоненциальной» модели дефляции, имея те же статистические характеристики достоверности, что и формулы (1) и (2), используют большее число исходных параметров [1].

Однако преимущества установленных форм связи (1) и (3) не распространяются на решение проблемы полной количественной оценки процесса дефляции. Эти формулы определяют только интенсивность выдувания при заданной скорости ветра и не позволяют напрямую сравнивать между собой способности конкретных почв противостоять разрушающему действию ветра. Следует дополнить полученные формулы (1) и (3) показателями, комплексно характеризующими воздействие ветра и противодефляционную устойчивость почв.

Для решения данной задачи используем, как и в [1], теорию размерностей и подобия физических величин.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫДУВАНИЯ ПОЧВЫ

Обратимся к общему подходу, при котором для упрощения анализа предварительно сформулируем в общем виде связь между факторами, характеризующими выдувание почвы. Воспользуемся для этого функцией, предложенной В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым [1]:

$$f(E, q, \tau, U - U_0, U_{KP} - U_0) = 0, \quad (4)$$

где  $E$  – плотность энергии, необходимой для выдувания почвы, Дж/кг(м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>);  $\tau$  – касательное напряжение трения, вызываемое ветром на поверхности почвы, Н/м<sup>2</sup> (кг/мс<sup>2</sup>).

Отличие (4) от оригинала [1] состоит только в использовании дефляционных составляющих скоростей воздушного потока  $(U - U_0)$  и  $(U_{KP} - U_0)$  вместо абсолютных значений скоростей  $(U)$  и  $(U_{KP})$ .

В соответствии с теорией размерностей и подобия физических величин [3], если уравнение включает « $n$ » размерных физических параметров, размерность которых определяется через « $m$ » основных физических величин, то это уравнение может

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

быть преобразовано в зависимость между « $n-m$ » независимыми безразмерными соотношениями, составленными из « $m+1$ » входящих в него показателей.

В (4) входит пять размерных физических параметров ( $E, q, \tau, U-U_0, U_{KP}-U_0$ ), т.е.  $n=5$ . Размерности этих параметров содержат основные физические величины –  $кг, м, с$ , т.е.  $m=3$ . Следовательно, расчетные уравнения могут быть преобразованы в два независимых безразмерных соотношения ( $n-m=5-3=2$ ), составленных из четырех параметров ( $m+1=3+1=4$ ), входящих в (4). Исходя из обобщенной функции (4), искомые соотношения составят систему уравнений:

$$\begin{cases} y_1 = E^{x_1} q^{x_2} \tau^{x_3} (U - U_0) \\ y_2 = q^{z_1} \tau^{z_2} (U_{KP} - U)^{z_3} (U - U_0) \end{cases} \quad (5)$$

Поясним, что показатель степени у последнего множителя в системе уравнений (5) принят равным единице с целью минимизации выполняемых алгебраических действий.

Вместо обозначений физических параметров в (5) подставим их размерности. В результате получим:

$$\begin{cases} y_1 = \left(\frac{M^2}{C^2}\right)^{x_1} \left(\frac{Кг}{M^2 C}\right)^{x_2} \left(\frac{Кг}{M C^2}\right)^{x_3} \left(\frac{M}{C}\right) \\ y_2 = \left(\frac{Кг}{M^2 C}\right)^{z_1} \left(\frac{Кг}{M C^2}\right)^{z_2} \left(\frac{M}{C}\right)^{z_3} \left(\frac{M}{C}\right) \end{cases} \quad (6)$$

Систему уравнений (6) перепишем в более удобном для решения развернутом виде:

$$\begin{cases} y_1 = M^{2x_1} C^{-2x_1} Кг^{x_2} M^{-2x_2} C^{-x_2} Кг^{x_3} M^{-x_3} C^{-2x_3} M C^{-1} \\ y_2 = Кг^{z_1} M^{-2z_1} C^{-z_1} Кг^{z_2} M^{-z_2} C^{-2z_2} M^{z_3} C^{-z_3} M C^{-1} \end{cases} \quad (7)$$

Приведем подобные члены (7) в соответствие с законами алгебраического умножения:

$$\begin{cases} y_1 = M^{2x_1-2x_2-x_3+1} C^{-2x_1-x_2-2x_3-1} Кг^{x_2+x_3} \\ y_2 = Кг^{z_1+z_2} M^{-2z_1-z_2+z_3+1} C^{-z_1-2z_2-z_3-1} \end{cases} \quad (8)$$

Поскольку нами поставлена задача получить из (5)...(8) безразмерные соотношения (с нулевой размерностью), приравняем нулю показатели степени при физических величинах ( $кг, м, с$ ). Соответственно, из (8) получим две системы уравнений:

$$\begin{cases} 2x_1 - 2x_2 - x_3 + 1 = 0 \\ -2x_1 - x_2 - 2x_3 - 1 = 0; \\ x_2 + x_3 = 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} z_1 + z_2 = 0 \\ -2z_1 - z_2 + z_3 + 1 = 0 \\ -z_1 - 2z_2 - z_3 - 1 = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Решением системы уравнений (9) будут значения:

$$x_1 = 0, x_2 = 1, x_3 = -1. \quad (11)$$

Полученные значения показателей степени (11) подставим в первое уравнение системы (5). Следовательно,

$$y_1 = \frac{q(U - U_0)}{\tau}. \quad (12)$$

В свою очередь, решение системы уравнений (10) возможно в двух вариантах:

$$z_1 = 0; z_2 = 0; z_3 = -1, \quad (13)$$

$$z_1 = 1; z_2 = -1; z_3 = 0. \quad (14)$$

В первом варианте (13) от второго уравнения системы (5) приходим к безразмерному соотношению:

$$y_2 = \frac{U - U_0}{U_{KP} - U_0}. \quad (15)$$

Во втором варианте (14) из (5) получим результат аналогичный (12), т.е.

$$y_2^I = \frac{q(U - U_0)}{\tau}. \quad (16)$$

Учитывая полученную форму представления комплексных характеристик процесса дефляции (12), (15) и (16), предложим следующие их названия:

$$B = \frac{q(U - U_0)}{\tau} = y_1 = y_2^I; \quad (17)$$

$$D = \frac{U - U_0}{U_{KP} - U_0} = y_2, \quad (18)$$

где  $B$  – показатель дефлируемости почвы;  $D$  – дефляционный потенциал ветра.

В «экспоненциальной» модели В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова основные характеристики дефляции также организованы в виде двух безразмерных параметров [1]:

$$B_{ГГ} = \frac{q_{ГГ} U}{\tau_{ГГ}} = \frac{q_{ГГ}}{a \rho_B U}; \quad (19)$$

$$A_{ГГ} = \left( \frac{U_{KP}}{U} \right)^2, \quad (20)$$

где  $B_{ГГ}$  – показатель дефлируемости почвы (безразмерная величина) в «экспоненциальной» модели В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова;  $q_{ГГ}$  – интенсивность выдувания почвы (кг/м<sup>2</sup>с) в «экспоненциальной» модели В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова;

$\tau_{\text{д}}$  – касательное напряжение трения, вызываемое ветром на поверхности почвы ( $\text{Н/м}^2 = \text{кг/мс}^2$ ) в «экспоненциальной» модели В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова;  $\alpha$  – безразмерный эмпирический коэффициент в уравнении связи касательного напряжения трения, вызванного на поверхности почвы воздушным потоком;  $\rho_B$  – плотность воздуха ( $\text{кг/м}^3$ );  $A_{\text{ГГ}}$  – относительный показатель, характеризующий ветровую нагрузку на почвенную поверхность.

В «степенной» модели дефляции зависимость касательного напряжения трения на поверхности почвы от скорости ветра аппроксимируется функцией [2]

$$\tau = a_0 \rho_B (U - U_0)^2, \quad (21)$$

где  $\tau$  – касательное напряжение трения, вызванное ветром на поверхности почвы при скорости  $U > U_0$ ;  $\alpha_0$  – эмпирический коэффициент, подобный коэффициенту « $\alpha$ » в модели В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова.

С учетом (21) комплексный показатель (17) будет равен:

$$B = \frac{q(U - U_0)}{\tau} = \frac{q}{a_0 \rho_B (U - U_0)}. \quad (22)$$

Таким образом, используя теорию размерностей и подобия физических величин, мы получили два безразмерных комплексных соотношения (18) и (22), характеризующие процесс выдувания почвы, представленный функцией (4). Отметим, что у В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова [1] получены принципиально похожие комплексные безразмерные характеристики (19), (20). Первая комплексная характеристика (17), (22) отличается от аналогичной, предложенной В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым (19) учетом дефляционной составляющей скорости воздушного потока ( $U - U_0$ ), а не ее абсолютного значения ( $U$ ). Вторая характеристика (18), помимо указанного, отличается отсутствием второй степени, в которую авторы [1] возвели отношение критической скорости к фактической. Последнее отличие не принципиально, поскольку из теории размерностей и подобия физических величин известно, что любые алгебраические операции с полученными безразмерными соотношениями (например, умножение или деление на натуральные числа, или возведение в степень) не изменяют физической сущности полученных комплексных безразмерных показателей. Ранее нами было показано, что данная корректировка и использование в расчетах не абсолютных скоростей ветра ( $U$ ), ( $U_{\text{КР}}$ ), а их дефляционных составляющих ( $U - U_0$ ), ( $U_{\text{КР}} - U_0$ ) повышает достоверность конечного результата [2].

Для вычисления дефляционного потенциала ветра помимо фактической ( $U$ ) и пороговой ( $U_0$ ) скоростей необходимо знать критическую ( $U_{\text{КР}}$ ) скорость, определение которой связано с проведением соответствующих опытов. По результатам этих же опытов устанавливается интенсивность дефляции при критической скорости ( $q_{\text{КР}}$ ).

Значение показателя дефлируемости почвы ( $B$ ) также зависит от названных характеристик, фактической интенсивности выдувания ( $q$ ) и эмпирического коэффициента ( $\alpha_0$ ). Упростим расчет этого показателя, для чего используем отношение

$$b = \frac{B}{B_{\text{к}}}, \quad (23)$$

где  $b$  – относительный показатель дефлируемости почвы.

Подставив в (23) выражения (1) и (3) получим:

– в области  $U_0 \leq U < U_{KP}$

$$b_1 = \frac{q}{q_{KP}} \left( \frac{U_{KP} - U_0}{U - U_0} \right) = \left( \frac{U - U_0}{U_{KP} - U_0} \right)^{n_0 - 1}, \quad (24)$$

– в области  $U_{KP} \leq U < U_p$

$$b_2 = \frac{q}{q_{KP}} \left( \frac{U_{KP} - U_0}{U - U_0} \right) = \left( \frac{U - U_H}{U_{KP} - U_H} \right)^2 \left( \frac{U_{KP} - U_0}{U - U_0} \right), \quad (25)$$

где  $b_1, b_2$  – относительные показатели дефлируемости почвы.

Анализ показал, что для оценки воздействия ветра на разные почвенные поверхности можно предложить следующее ранжирование дефляционных потенциалов ветра (ДПВ), которое справедливо для любых почвенных поверхностей:

$D < 1$  – слабый ДПВ;

$1 \leq D < 1,5$  – умеренный (средний) ДПВ;

$1,5 \leq D < 2$  – высокий ДПВ;

$2 \leq D < 3$  – очень высокий ДПВ;

$3 \leq D$  – разрушающий ДПВ.

На рис. приведены графики, показывающие области ветровой нагрузки, соответствующие указанным градациям дефляционного потенциала ветра. Как видим, в соответствии с зависимостью (18), чем выше критическая скорость ветра для почвенной поверхности, тем больше диапазон возможных скоростей, составляющих заданную градацию дефляционного потенциала ветра.

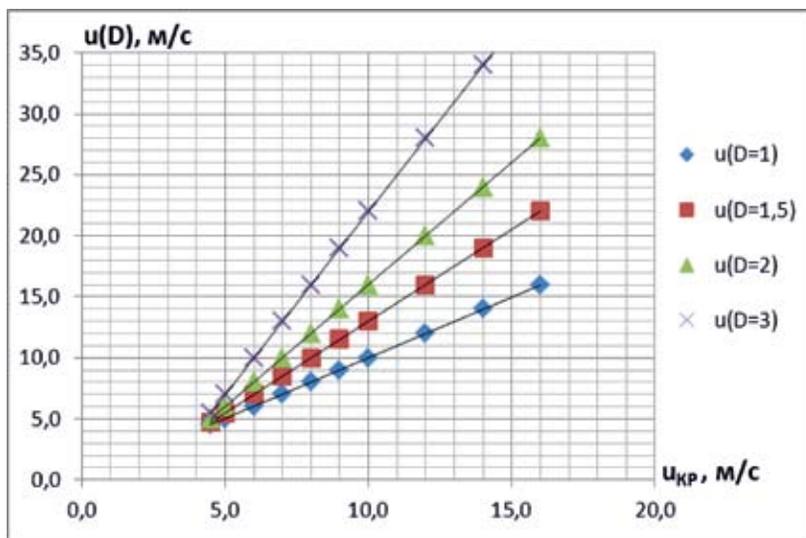


Рис. Градации дефляционных потенциалов ветра

В свою очередь, введение относительных показателей дефлируемости почвы (24), (25) позволяет упростить расчет данных характеристик процесса дефляции, используя для этого только фиксированные скорости ветра. Причем важно,

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

что интенсивность дефляции при любой скорости ветра можно найти, используя полученные выше комплексные характеристики процесса дефляции, а именно

$$q = q_{KP} bD. \quad (26)$$

Таким образом, определив относительный показатель дефлируемости почвы (24) или (25), а также дефляционный потенциал ветра (18), можно оценивать воздействие ветра и противодефляционную устойчивость любой почвенной поверхности, начиная от рыхло сложенных пылеватых частиц и завершая твердыми (сцементированными) поверхностями.

### ВЫВОДЫ

1. Применение теории размерностей и подобия физических величин к параметрам, представляющим процесс выдувания почвы, позволило получить комплексные характеристики процесса дефляции в безразмерной форме:

- дефляционный потенциал ветра;
- показатель дефлируемости почвенной поверхности.

2. С использованием полученных комплексных характеристик можно количественно оценивать и сравнивать между собой противодефляционную устойчивость любых почвенных поверхностей и степень воздействия на них воздушного потока.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гендугов, В.М. Ветровая эрозия почвы и запыление воздуха / В.М. Гендугов, Г.П. Глазунов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 240 с.
2. Лихацевич, Н.А. О пороговой скорости ветра при количественной оценке интенсивности дефляции / Н.А. Лихацевич // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 1(48). – С. 38–44.
3. Сена, Л.А. Единицы физических величин и их размерности / Л.А. Сена. – М.: Наука, 1988. – 432 с.

## COMPLEX CHARACTERISTICS OF SOIL BLOWING PROCESS

N.A. Lihatchevich, A.F. Chernysh

### Summary

Theory of magnitudes dimension and similarity application to parameters representing soil blowing process allowed to receive two complex characteristics of wind erosion process in dimensionless form – erosion wind potential and comparative index of soil surface wind erosion instability. It is possible to quantitatively estimate and compare wind erosion stability of any soil surface and air stream influence degree on it, as well as simplify wind erosion intensity calculation at any wind velocity, with use of derived complex characteristics.

*Поступила 1 ноября 2012 г.*

## ПОЧВА КАК ОБЪЕКТ ОХРАНЫ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ БЕЛАРУСИ

Г.С. Цытрон, О.В. Матыченкова

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

### ВВЕДЕНИЕ

Начиная с 60–70-х гг. прошлого столетия и до последнего времени, проблема охраны почв сводилась к их защите от водной и ветровой эрозии, химического загрязнения. Это почвоохранное направление было характерно практически для всех республик бывшего СССР. Наша республика не являлась исключением. Только в Беларуси внимание уделялось и еще защите осушенных торфяных почв от ускоренной минерализации органического вещества. То есть политика охраны почв имела односторонний характер, так как не затрагивала проблему особой охраны почв, предполагающую сохранение их географо-генетического разнообразия [1–3].

Несмотря на то, что к настоящему времени благодаря ряду исследователей [4–6] разработано учение об экологической полифункциональности почв, у нас в республике по-прежнему преобладает агрономическая трактовка почвы как объекта сельскохозяйственного производства, основное предназначение которого сводится к обеспечению элементами питания растений с целью получения сельскохозяйственной продукции. Такая ее трактовка не позволяет существенно расширить задачи сохранения почвы в республике как незаменимого компонента биосферы и выделить самостоятельное направление их особой охраны, поставить вопрос о создании Красной книги почв, в то время как Красная книга растений и животных существует давно [7, 8].

К настоящему времени уже создана Красная книга почв России и отдельных ее субъектов [9–12]. У нас же в республике необходимость такой книги поднимается лишь отдельными учеными [13–17].

Подготовка и правовое утверждение Красной книги почв Беларуси создаст юридическую основу для реализации практических работ по сохранению ее почвенного разнообразия, так как сильная антропогенная нагрузка на почвенный покров республики ведет к исчезновению отдельных его компонентов. А ведь для проведения мониторинга и сравнительного анализа процессов в естественных и освоенных почвах не обойтись без эталонных почв.

Существующие к настоящему времени заповедники и национальные парки Беларуси организовывались с целью сохранения и восстановления уникальных, эталонных и иных ценных природных комплексов и объектов, имеющих особое экологическое, научное или эстетическое значение, в отношении которых установлен особый режим охраны и использования [18], а почвы в них включены как неотъемлемый компонент биосферы, внимания им практически не уделяется. Поэтому в данной публикации нами предпринята попытка оценить репрезентативность сети охраняемых территорий Республики Беларусь с точки зрения

природного разнообразия почв и на основе полученных результатов показать необходимость создания Красной книги почв Беларуси.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследований взят почвенный покров особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Республики Беларусь: национальных парков «Беловежская пуща», «Припятский», «Нарочанский», «Браславские озера» и Березинского биосферного заповедника, отображенный на почвенно-картографических материалах или же установленный путем наложения границ ООПТ на республиканскую почвенную карту М 1:600000. Легенда всех почвенных карт приведена в соответствии с ныне действующим при почвенном картографировании «Номенклатурным списком почв Беларуси» [19]. Основным методом исследований явился сравнительно-почвенно-географический.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с действующим законодательством, на территории национальных парков и заповедников охрана биологического и ландшафтного разнообразия сочетается с ограниченной хозяйственной деятельностью и развитием экологического туризма. В границах ООПТ обеспечивается охрана ландшафтов, особо ценных растительных сообществ, редких и находящихся под угрозой исчезновения видов дикорастущих растений и диких животных, включенных в Красную книгу Республики Беларусь [20].

Общая площадь заповедников и национальных парков составляет 475,6 тыс. га, или 2,3 % от общей площади республики.

Наиболее изучен почвенный покров Березинского биосферного заповедника. Впервые обзорная почвенная карта на эту территорию составлена экспедицией во главе с В.И. Пашиным в 1959 г. [21]. Повторные исследования проведены в 1979 г. А.А. Лепешевым, В.П. Белобровым, М.В. Кудиным. Последняя почвенная карта составлена В.М. Натаровым в 2007 г. [22].

Основными почвообразующими породами здесь являются органогенные (торф), водно-ледниковые и древнеаллювиальные пески и супеси.

По данным В.М. Натарова, на территории заповедника выделены следующие типы почв [22]. Ввиду того, что легенда к почвенной карте Березинского биосферного заповедника составлена без учета действующей в республике классификации почв и Номенклатурного списка [19, 23] нами Номенклатурный список почв Березинского биосферного заповедника [22] приведен в соответствии с утвержденными документами, которые используются почвенной службой УП «Проектный институт Белгипрозем» и его областными подразделениями при проведении крупномасштабного почвенного картографирования. В результате почвенный покров этой территории представлен следующими типами почв: дерново-подзолистыми; дерново-подзолистыми заболоченными; дерновыми заболоченными; торфяно-болотными низинными; торфяно-болотными верховыми; аллювиальными дерновыми и аллювиальными дерновыми заболоченными; аллювиальными болотными почвами (рис. 1).

Они в свою очередь в зависимости от гранулометрического состава почвообразующих и подстилающих пород подразделяются на 42 разновидности. В особо

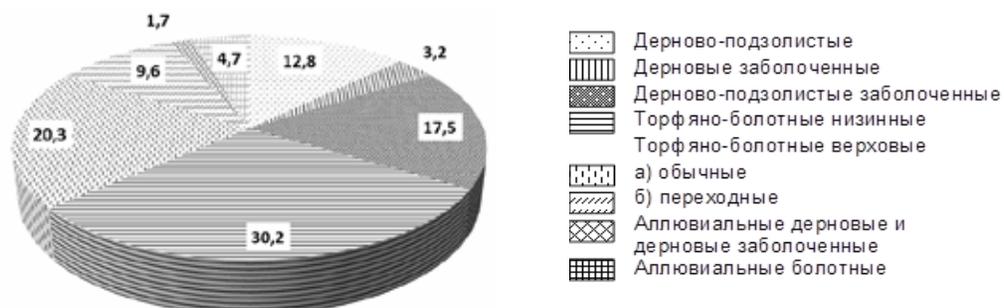


Рис. 1. Распределение почв Березинского биосферного заповедника

охраняемой зоне, расположенной в юго-восточной части заповедника, наибольшие площади занимают торфяно-болотные низинные и верховые почвы, представленные соответственно древесно-осоково-разнотравными и древесно-пушицево-сфагновыми торфами. Мощность торфяной залежи не превышает двух метров. Для дерново-подзолистых и дерново-подзолистых заболоченных почв, расположенных в этой же зоне, характерно двучленное строение профиля.

Национальный парк «Беловежская пуща» в настоящее время занимает 150,1 тыс. га, или 0,7 % площади республики, заповедная зона (зона нетронутой природы) – 57051 га, или 38 % площади национального парка. Целевое назначение зоны – резерват генофонда растений и животных, эталон природы, создание условий для естественного развития биогеоценозов и их компонентов. В зону входят в основном коренные естественные старовозрастные хвойно-широколиственные леса. На ее территории запрещаются все виды хозяйственной и иной деятельности, за исключением научных исследований и охраны.

Почвенный покров Беловежской пущи начали изучать еще в 1958 г., исследования проводились П.П. Роговым, Д.В. Ничипоренко, Т.А. Романовой, А.П. Утенковой и др. [24]. В 1982–1983 гг. была составлена почвенная карта М 1:50 000, в которой выделено около 170 почвенных разновидностей, отнесенных к 8 типам почв [25] (по Номенклатурному списку почв 2003 г. – 7 типов). Наибольшую площадь занимают дерново-подзолистые заболоченные почвы – 42,3 тыс. га (49,7 % площади пущи в границах 1982 г.). Основными почвообразующими породами являются водно-ледниковые и древнеаллювиальные супеси и пески. На втором месте по распространению находятся торфяно-болотные низинные почвы (17,9 тыс. га, или 21,1 %). Наименьшую площадь занимают аллювиальные болотные (1,7 %) и бурые лесные почвы (0,3 %) (рис. 2).

Национальный парк «Припятский» расположен на юге Беларуси в междуречье Припяти, Ствиги и Уборти. Ландшафтную основу парка составляют леса, которые вместе с болотами и пойменно-речными комплексами занимают около 95 % площади. На севере парка расположена река Припять с широкой поймой, представленной лесными, луговыми, кустарниковыми, болотными и водными экосистемами. Общая площадь национального парка – 88,5 тыс. га (0,4 % площади республики). Южная часть его представлена особо охраняемой природной территорией площадью 30,8 тыс. га, или 34,9 % площади парка.

По данным И.В. Соколовского и Г.Я. Климчука, в левобережной части национального парка «Припятский» почвенный покров формировался на водно-ледниковых,

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование



Рис. 2. Распределение почв Национального парка «Беловежская пушча» по типовой принадлежности (согласно Номенклатурному списку..., 2003 г.)

преимущественно рыхло- и связнопесчаных почвообразующих породах. В типовом отношении преобладают дерново-подзолистые заболоченные почвы (рис. 3) [26].



Рис. 3. Распределение почв Национального парка «Припятский» по типовой принадлежности

Национальный парк «Нарочанский» площадью 87,3 тыс. га (0,42 % площади республики) расположен в северо-западной части Минской области на территории Мядельского (96,0 %) и частично Вилейского (2,0 %), Поставского (1,7 %) Сморгонского (0,3 %) районов. Заповедная зона занимает 8,9 % площади парка [27, 28].

К заповедной зоне отнесены: основная часть природного комплекса «Голубые озера»; большая часть болотного массива «Черемшица»; 350 га центральной части Нарочанско-Сырмежского лесного массива; участок болота «Дягили»; остров на озере Нарочь.

Национальный парк «Нарочанский» находится на территории Белорусского Поозерья, с характерным камово-озовым моренным ландшафтом. Высокие гряды и холмы с небольшими озерами на моренных возвышенностях сочетаются с глубокими озерными котловинами, окруженными лесами и болотами. Высота холмов над уровнем озер достигает 30–50 м, а в сравнении с их ложем относительные высоты превышают 60 м. Почвенный покров территории парка представлен в основном дерново-подзолистыми почвами, развивающимися на моренных суглинках и супесях. Кроме того, здесь также имеются дерново-карбонатные, дерново-подзолистые заболоченные, торфяно-болотные низинные, торфяно-болотные верховые и аллювиальные болотные почвы.

Национальный парк «Браславские озера» расположен на северо-западе республики и занимает площадь 64 493 га (0,3 % площади республики) [28]. Создан в 1995 г.

в целях сохранения уникальных экосистем, эффективного и более полного использования рекреационных возможностей природных ресурсов Браславского района и природного комплекса Браславской группы озер. Преобладающим типом почв на данной территории являются дерново-подзолистые почвы, представленные всеми разновидностями – от глин до мощных песков. На втором месте находятся дерново-подзолистые заболоченные почвы разной степени увлажнения, развивающиеся на озерно-ледниковых глинах и моренных суглинках. На остальной территории почвенный покров представлен дерновыми и дерново-карбонатными заболоченными, торфяно-болотными низинными, торфяно-болотными верховыми почвами.

На основе анализа почвенно-картографической информации установлено, что из 48 выделов республиканской почвенной карты (М 1:600 000) в пределах ООПТ встречается только 27, то есть почти половина ( $\approx 44\%$ ) в заповедниках и национальных парках страны не встречается. Из наиболее значительных по площади или характерных для отдельных регионов Беларуси почвенных выделов, не вошедших в состав ООПТ, можно выделить:

1. Дерново-палево-подзолистые почвы, формирующиеся на лессовых и лесовидных суглинках, мощные или подстилаемые с определенной глубины моренными суглинками. В основном эти почвы характерны для Горецко-Мстиславской, Оршанской, Новогрудской, Минской возвышенностей и Копыльской гряды, где заповедники и национальные парки отсутствуют.

2. Дерново-подзолистые почвы со вторым гумусовым горизонтом (автоморфные и полугидроморфные), характерные также для территорий с лессовыми и лесовидными почвообразующими породами. Это уникальные почвы ценны с точки зрения теоретического почвоведения и палеопочвоведения.

3. Дерново-карбонатные почвы, сформировавшиеся на омергелеванных отложениях и считающиеся самыми плодородными почвами республики, оцениваемыми в 100 баллов, встречаются в основном в Житковичском и Столинском районах.

4. Дерновые и дерново-подзолистые почвы, развивающиеся на озерно-ледниковых ленточных глинах Шарковщинского и Миорского районов и др.

Несмотря на то, что представленный в данной статье анализ проведен весьма формально, все же проанализированный материал указывает на недостаточное разнообразие почв в пределах охраняемых территорий нашей страны. Однако, значительные по площади новые заповедники на территориях, представленных перечисленными выше почвами, не могут быть созданы, так как практически весь почвенный покров этих регионов изменен сельскохозяйственным использованием. Поэтому создание Красной книги почв Беларуси является единственной возможностью сохранения эталонных вариантов почв под естественной или восстановленной растительностью республики.

## **ВЫВОДЫ**

Все, изложенное выше, позволяет заключить, что:

– существующая в настоящее время сеть особо охраняемых природных территорий (заповедников и национальных парков) недостаточно репрезентативна и не полностью отражает разнообразие компонентного состава почвенного покрова страны, а следовательно, и связанного с ним биологического разнообразия, так как почва – основная экологическая ниша для существования абсолютного большинства растений и наземных животных;

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

- список основных почвенных выделов, встречающихся в заповедниках и национальных парках страны, приблизительно на 56 % представляет все разнообразие компонентного состава ее почвенного покрова;
- создание Красной книги почв Беларуси и кадастра эталонных, редких и исчезающих почв – первый шаг к сохранению географо-генетического их разнообразия на территории нашей страны.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Добровольский, Г.В. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Наука, 2000. – 185 с.
2. Добровольский, Г.В. Функционально-экологическая география почв / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин // Почвоведение. – 1996. – № 1. – С. 16–22.
3. Добровольский, Г.В. Экологические функции почвы / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. – 137 с.
4. Добровольский, Г.В. Функции почв в биосфере и экосистемах: экологическое значение почв / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Наука, 1990. – 261 с.
5. Никитин, Е.Д. Берегите почву / Е.Д. Никитин. – М.: Знание, 1990. – 64 с.
6. Никитин, Е.Д. Проблема сохранения почвенного разнообразия / Е.Д. Никитин, Е.Б. Скворцова // Почвоведение. – 1999. – № 4. – С. 543–544.
7. Красная книга Республики Беларусь. Животные: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, Национальная академия наук Беларуси. – Минск, 2004. – 318 с.
8. Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Национальная академия наук Беларуси; редкол.: Г.П. Пашков [и др.]. – Минск, 2005. – 454 с.
9. Апарин, Б.Ф. Красная книга почв Ленинградской области / Б.Ф. Апарин. – С.-Пб.: Аэроплан, 2007. – 320 с.
10. Красная книга почв России: объекты Красной книги и кадастра особо ценных почв / науч. ред.: Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: МАКС Пресс, 2009. – 576 с.
11. Принципы выбора эталонных объектов при создании Красной книги почв России / Г.В. Добровольский [и др.] // Почвоведение. – 2006. – № 4. – С. 387–395.
12. Чернова, О.В. Проект Красной книги естественных почв России / О.В. Чернова // Почвоведение. – 1995. – № 4. – С. 514–519.
13. Антропогенное преобразование почв Беларуси / Цытрон Г.С. [и др.] // Земля Беларуси. – 2011. – № 2. – С. 38–40.
14. К проблеме сохранения почвенного разнообразия / Н.И. Смяян [и др.] // Региональные проблемы природопользования и охраны природных ресурсов Верхнего Поднепровья и сопредельных территорий: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., 27–28 октября 2005 г. – Могилев, 2005. – С. 156–158.
15. Качков, Ю.П. Почвенно-географический фактор при научном обосновании и создании особо охраняемых природных территорий Беларуси / Ю.П. Качков, В.М. Яцухно // Почвы и их плодородие на рубеже столетий: материалы 2-го съезда Белорусского общества почвоведов. – Минск, 2001. – Кн.1. – С. 105–107.
16. Матвеева, В.И. Экологические проблемы использования и охраны почв в Беларуси: обзорная информация / В.И. Матвеева, В.И. Ключенович; рец. С.М. Зайко;

Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, РНИ УП «Бел НИЦ «Экология». – Минск: Бел НИЦ «Экология», 2011. – 94 с.

17. Яцухно, В.М. Законодательное регулирование использования и охраны почв в Республике Беларусь: состояние и предложения по его совершенствованию / В.М. Яцухно // Плодородие почв – основа устойчивого развития сельского хозяйства: материалы междунар. науч.-практ. конф. и IV съезда почвоведов, Минск, 26–30 июля 2010 г. – Минск, 2010. – Ч. 1. – С. 221–223.

18. О некоторых вопросах развития особо охраняемых природных территорий: Указ Президента Республики Беларусь от 9 февраля 2012 г. № 59 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь 27 февраля 2012 г. № 24. – С. 9–104.

19. Номенклатурный список почв Беларуси / Н.И. Смеян [и др.]. – Минск, 2003. – 43 с.

20. Состояние окружающей среды Республики Беларусь: нац. доклад / М-во природ. ресур. и окружающей среды Республики Беларусь, Ин-т природопользования НАН Беларуси. – Минск: Белтаможсервис, 2010. – 150 с.

21. Пашин, В.И. Почвы бывшего Белорусского государственного заповедника на р. Березина / В.И. Пашин // Почвенные исследования БССР. – Минск, 1959. – С. 111–187.

22. Натаров, В.М. Почвы Березинского биосферного заповедника / В.М. Натаров. – Минск: Белорусский Дом печати, 2007. – 112 с.

23. Смеян, Н.И. Пригодность почв БССР под основные сельскохозяйственные культуры / Н.И. Смеян. – Минск: Ураджай, 1980. – 173 с.

24. Толкач, В.Н. Лесоводческие и почвенные исследования в ГПН «Беловежская пуца» / В.Н. Толкач, И.Г. Романюк // Беловежская пуца на рубеже третьего тысячелетия: материалы наун.-практ. конф., посвященной 60-летию образования Государственного заповедника «Беловежская пуца», г. Каменюки, 22–24 декабря 1999 г. – Минск, 1999. – С. 44–53.

25. Почвенная карта Государственного заповедно-охотничьего хозяйства «Беловежская пуца» / сост. 2-ой Минской экспедицией БЛП «Леспроект», М–б 1:50 000. – 1982.

26. Соколовский И.В., Климчук Г.Я. Почвообразующие породы и лесные почвы левобережной части Национального парка «Припятский» / И.В. Соколовский, Г.Я. Климчук // Природные ресурсы Национального парка «Припятский» и других особо охраняемых природных территорий Беларуси: изучение, сохранение, устойчивое использование: сб. науч. трудов Национального парка «Припятский». – Минск: Белорусский Дом печати, 2009. – С. 84–88.

27. Нарочанский национальный парк [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://narochpark.by/about/info/>.

28. Парки и заповедники, национальные парки мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.world-tours.ru/nationalparks/nationalpark002.html>.

## SOIL IN THE PROTECTED AREAS OF BELARUS

G.S. Tsytron, O.V. Matychenkova

### Summary

The article reviews the component structure of the soil cover of protected areas of Belarus. There are small representative and substantiated to create the Red Book of Belarus soils to maintain the references of natural soils.

*Поступила 14 ноября 2012 г.*

## ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ГУМУСА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ПОЧВ С ИЛЛЮВИАЛЬНО-ГУМУСОВЫМ ГОРИЗОНТОМ НА ТЕРРИТОРИИ БРЕСТСКОГО ПОЛЕСЬЯ

Н.В. Клебанович<sup>1</sup>, А.С. Домась<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина,  
г. Брест, Беларусь

### ВВЕДЕНИЕ

Органическое вещество и процессы его трансформации играют ведущую роль в формировании почвы, ее основных признаков и свойств. Все протекающие в почве процессы происходят при непосредственном или косвенном участии ее органического вещества. Даже такой широко распространенный процесс, как оглеение происходит при обязательном участии гумусовых веществ [1]. Для глееобразования необходимо и достаточно одновременного воздействия на минеральный субстрат не только переувлажнения, но и органического вещества, способного к ферментации, а также гетеротрофной анаэробной микрофлоры. Поскольку три обязательных фактора возникновения глееобразования в зоне Полесья распространены повсеместно, болотный почвообразовательный процесс здесь обычно является доминирующим. Помимо значительного количества полностью гидроморфных торфяно-болотных почв, большую часть территории занимают полугидроморфные почвы, в которых избыточное увлажнение бывает в течение некоторого периода времени, от 30 до 200 и более дней. С эколого-экономической точки зрения, изучаемые почвы относятся к заболоченным, то есть к таким полугидроморфным минеральным почвам, в которых застой гравитационной влаги столь продолжителен, что вызывает угнетение или гибель сельскохозяйственных растений и требует осушительной мелиорации почв при их сельскохозяйственном использовании.

При длительном избыточном увлажнении на легких породах развиваются почвы с высокой степенью элювиирования веществ и сильной дифференциацией профиля, в том числе и по органическому веществу, с формированием иллювиально-гумусового горизонта.

Дерново-подзолистые почвы с иллювиально-гумусовым горизонтом развиваются на рыхлых почвообразующих породах, которые характерны для почвенного покрова в условиях Брестского Полесья, в условиях близкого залегания грунтовых вод [2]. Поскольку гумус почв с иллювиально-гумусовым горизонтом изучен недостаточно, мы ставили перед собой цель изучить особенности его состава на территории Брестского Полесья, а также особенности внутрипрофильного распределения органического вещества.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые исследования проводились в 2011–2012 гг. на территории Брестского Полесья, в южной части Брестской области. Объектом исследований послужили

дерново-подзолистые заболоченные песчаные почвы с иллювиально-гумусовым горизонтом, сформированные на связных и рыхлых песках.

Поскольку почвенный покров территории Юго-Запада Беларуси отличается широким распространением почв легкого гранулометрического состава, закономерно, что в условиях близкого залегания грунтовых вод здесь нередко формируются почвы с иллювиально-гумусовым горизонтом. В профиле описываемых почв почти всегда обнаруживается вода. Наиболее глубоко – в разрезе 5б (120 см), сделанном на пахотных землях, где глубокое залегание воды обусловлено мероприятиями по гидротехнической мелиорации. Данный разрез был заложен в апреле 2011 г. к северу от д. Медно на выровненном участке полого-волнистой равнины, используемой под пашню. Профиль почвы имеет следующее описание:

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>A<sub>n</sub> 0–22 см</b>   | гумусовый горизонт серого цвета, рыхлый, связный песок, переход резкий, граница ровная;   |
| <b>A<sub>2</sub> 22–34 см</b>  | элювиальный горизонт белесого цвета, слабоуплотненный, свежий, количество корней небольшое, рыхлый песок, переход ясный, граница волнистая; |
| <b>B<sub>1h</sub> 34–44 см</b> | иллювиально-гумусовый горизонт светло-кофейной окраски, уплотнен, свежий, рыхлый песок, переход заметный, граница волнистая;                |
| <b>B<sub>2g</sub> 44–60 см</b> | иллювиальный горизонт светло коричневого цвета, сырой, рыхлый песок, переход постепенный;   |
| <b>B<sub>3g</sub> 53–89 см</b> | иллювиальный горизонт сизоватого цвета с охристыми пятнами, сырой, рыхлый песок.  |

Почва определяется как дерново-подзолистая глееватая песчаная осушенная с иллювиально-гумусовым горизонтом, развивающаяся на связных древнеаллювиальных песках, сменяемых с глубины до 1 м рыхлыми песками.

Разрез 6в был заложен в апреле 2011 г. в урочище Великий Лес Брестского района в довольно крупном понижении. Тип леса – сосняк черничный (ассоциация бруснично-черничная). Эдафотоп В<sub>3</sub>. Состав древостоя – 10С, полнота – 0,8, возраст – 44 года. Подлесок редкий, представлен преимущественно крушиной ломкой (*Frangula alnus L.*), проективное покрытие которой составляет 12 %. В живом напочвенном покрове доминируют расположенные куртинно черника (*Vaccinium myrtillus L.*) со встречаемостью 35 %, брусника (*Vaccinium vitis-idaea L.*) – 5 %. Профиль почвы имеет следующее описание:

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>A<sub>0</sub> 0–13 см</b>   | мощная оторфованная подстилка светло-бурого цвета, рыхлая, составленная преимущественно из мохового очеса, а также из опада листовых и хвойных пород; |
| <b>A<sub>1</sub> 13–21 см</b>  | перегнойный горизонт интенсивного черного цвета, рыхлый, свежий, с большим количеством корней, рыхлый песок, переход ясный, неровный;                 |
| <b>A<sub>2</sub> 21–47 см</b>  | элювиальный горизонт белесого цвета, рыхлый, свежий, редко корни, рыхлый песок, переход ясный;  |
| <b>B<sub>1h</sub> 47–60 см</b> | иллювиально-гумусовый горизонт буро-коричневой окраски, слабоуплотненный, присутствуют корни растений, переход постепенный;                           |

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

<b>B<sub>2</sub>g 60–82 см</b>	иллювиальный горизонт светло-коричневого цвета, сырой, связный песок, переход постепенный;
<b>G от 82 см</b>	глеевый горизонт охристого цвета, мокрый, из стенок сочится вода, связный песок.

Почва определяется как дерново-подзолистая песчаная глеевая с иллювиально-гумусовым горизонтом, развивающаяся на рыхлых древнеаллювиальных песках, сменяемых с глубины до 1 м связными песками.

Разрез 1г сделан в мае 2011 г. в лесном массиве на склоне пологой бессточной западины, расположенной на восток от д. Приборово Брестского района. Тип леса – сосняк черничный (ассоциация березово-черничная). Эдафотоп В<sub>3</sub>. Состав древостоя – 8С2Б, полнота – 0,8. Возраст – 57 лет. Под пологом встречается береза повислая *Betula pendula L.*, в подлеске – крушина ломкая, можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis L.*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia L.*). Видовой состав насчитывает 8 травяно-кустарничковых видов, при этом большинство – с низкой встречаемостью: вейник наземный (*Calamagrostis epigeios (L.) Roth.*), мятлик дубравный (*Poa nemoralis L.*), проективное покрытие которых составляет 9 %. Доминирует черника с проективным покрытием 45 %. Профиль почвы имеет следующее описание:

<b>A<sub>0</sub> 0–6 см</b>	рыхлая, оторфованная подстилка, составленная из опада лиственных и хвойных пород, а также мха, иглицы;
<b>A<sub>1</sub> 6–11 см</b>	перегнойный горизонт темно-коричневого цвета, рыхлый, свежий, с большим количеством корней, связный песок, переход ясный;
<b>A<sub>2</sub> 11–21 см</b>	элювиальный горизонт белесого цвета, рыхлый, свежий, корни растений, связный песок, переход ясный;
<b>B<sub>1</sub>h 21–35 см</b>	иллювиально-гумусовый горизонт светло-кофейной окраски, бесструктурный, корни растений, переход заметный;
<b>B<sub>2</sub>g 35–53 см</b>	иллювиальный горизонт светло-желтого цвета с сизоватым оттенком, свежий, рыхлый песок, переход постепенный;
<b>B<sub>3</sub>g 53–89 см</b>	иллювиальный горизонт сизоватого цвета с охристыми пятнами, сырой, рыхлый песок, переход постепенный;
<b>Cg от 89 см</b>	почвообразующая порода сизого цвета, мокрая, из стенок сочится вода, рыхлый песок.

Почва определена как дерново-подзолистая глееватая песчаная с иллювиально-гумусовым горизонтом, развивающаяся на связных древнеаллювиальных песках, сменяемых с глубины до 1 м рыхлыми песками.

Почвенные образцы для определения содержания и состава гумуса отбирались из наиболее контрастных гумусового, элювиального и иллювиально-гумусового горизонтов.

В лабораторных исследованиях мы определяли:

- содержание общего (валового) гумуса по методу Тюрина [3];
- групповой состав гумуса ускоренным пирофосфатным методом Кононовой-Бельчиковой [4];
- фракционный состав гумуса по методу Тюрина в модификации Пономаревой-Плотниковой [4].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Под переувлажнением почв следует понимать такое их состояние, которое наступает при влажности выше наименьшей влагоемкости. В условиях легких почв, доминирующих в Брестском Полесье, происходит грунтовое переувлажнение пресными водами в присутствии органического вещества, что сопровождается интенсивным анаэробизмом, в подвижное состояние переходят железо, марганец, кальций, магний, алюминий, фосфор, меняя морфологические, минералогические, физические и другие свойства почв [5, 6]. На таких почвах характерны ключевые признаки гидроморфизма: холодные тона в окраске; конкреционные и неконкреционные новообразования железистого, марганцево-железистого, гумусово-алюминиевого составов, возникновение которых связано с влиянием грунтовых вод; аккумуляция грубого гумуса и перегноя. Глееобразование в химическом отношении – это, прежде всего, потеря исходной почвообразующей породой железа.

Глееобразование возникает там, где имеет место переувлажнение на кислых и выщелоченных породах в присутствии органического вещества, трансформированного микроорганизмами в анаэробной среде. Этот процесс сопровождается увеличением концентрации в почвенных растворах кислых органических соединений – одно-, двух- и трехосновных органических низкомолекулярных кислот, аминокислот, фульвокислот, фенолов и полифенолов. Иными словами, глееобразование – это кислотный гидролиз в анаэробной среде [1].

По своей природе глееобразование очень схоже с подзолообразованием и при высокой степени развития, особенно на легких породах, усиливает последнее, приводя к формированию почв с четкой элювиально-иллювиальной дифференциацией, с белесым подзолистым горизонтом  $A_2$  (E) в отличие от палевой окраски большинства дерново-подзолистых и дерново-подзолистых заболоченных почв Беларуси.

В мировом почвоведении подзолистый процесс обычно диагностируется по наличию горизонтов альбик и особенно сподик (Bh) и почвы с иллювиально-гумусовым (альфегумусовым) горизонтом относят к реферативной группе WRB «подзолы» [7, 8]. Только такие почвы в Беларуси относят к подзолистым и Т.А. Романова [9]. И действительно: на них всегда четко морфологически и химически выделены элювиальные и иллювиальные горизонты, причем иллювиирование зачастую происходит в форме органо-минеральных соединений, что способствует формированию этого специфического горизонта сподик.

В морфологическом облике всех разрезов наблюдаются определенные сходства – выделяются все три ключевых горизонта, но есть и различия. Так, в разрезе бв вода находилась на глубине 65 см, тогда как в глееватых почвах была заметно глубже – 100–120 см. В этом разрезе сильнее проявляется степень гидроморфизма, мощнее лесная подстилка, дифференцированная на три подгоризонта L, F, H, наблюдается небольшой слой торфа – явное свидетельство длительного избыточного переувлажнения. Верхняя граница подзолистого горизонта залегает на глубине 21 см в глеевой и 11 см – в глееватой почве. Общая мощность подзолистого горизонта возрастает от 10–12 см в глееватых почвах до 26 см в дерново-подзолисто-глеевой.

Горизонт Bh морфологически также сильно различался в зависимости от степени гидроморфизма: в глеевой почве он характеризовался большей мощностью – до

30 см, опускаясь ниже уровня грунтовых вод, против 10–14 см в глееватых, имел существенно более темную окраску и более резкую границу с горизонтом  $A_2$ .

Изучаемые почвы имеют значительные различия по уровню их кислотности в зависимости от степени гидроморфизма, подчеркивающие элювиальную природу глеевого метаморфизма почв. Глеевые почвы в наших исследованиях обладали значениями pH в KCl существенно ниже глееватых: 3,6 против 4,3 в гумусовом и 4,4 против 5,2 в иллювиально-гумусовом горизонте.

Профильное распределение кислотности (pH в KCl) существенно связано с составом гумуса изучаемых почв. Верхняя часть профиля обычно очень кислая (3,6–4,2). Ниже по профилю, в горизонте  $A_2$ , происходит некоторое повышение pH (4,6–5,6), поскольку данный горизонт состоит преимущественно из кварца и потому не удерживает органических кислот, свободно пропуская их вниз. В иллювиально-гумусовом горизонте величина pH снова понижается (4,4–5,2), так как в нем концентрируется большое количество фульвокислот, в том числе фракции 1а, имеющих очень кислую реакцию.

На пахотных землях существенное влияние на кислотность почв оказывает химическая мелиорация, в результате которой величина pH может возрастать в пахотном горизонте на 1–2 единицы, достигая значений pH 6 и выше, например, в пахотном горизонте (разрез 5б) pH составил 6,3, в то время как в гумусовом горизонте целинной почвы (разрез 1г) – 4,2. Иллювиально-гумусовый горизонт в связи с более глубоким расположением испытывает меньшие колебания при известковании: pH 5,2 в лесном массиве против pH 5,58 на пашне.

Профиль изучаемых почв по содержанию гумуса четко разделяется на 3 части: верхний аккумулятивный горизонт, наиболее богатый органическим веществом; элювиальный горизонт белесой окраски, в естественных условиях практически лишенный органики; темноокрашенный иллювиально-гумусовый горизонт различной мощности, в котором откладываются вымываемые из гумусового и подзолистого горизонтов органические вещества, полуторные окислы и т.д., окрашивая его в темный цвет.

В пределах Брестского Полесья подобные почвы характеризуются высоким содержанием общего гумуса в перегнойно-аккумулятивном горизонте (до 10,9 %  $C_{орг}$ ) с общей тенденцией к увеличению при усилении степени гидроморфизма. В пределах исследованного пахотного участка этот показатель предсказуемо снижался вследствие проведения гидротехнической мелиорации, что привело к значительному сокращению периода с влажностью выше наименьшей влагоемкости, то есть аэробные условия способствовали частичной минерализации накопленного гумуса, но оставался он по-прежнему высоким – 4,66 %  $C_{орг}$ .

Гумус перегнойно-аккумулятивных горизонтов исследуемых почв характеризовался преимущественно фульватно-гуматным составом (табл. 1). В составе как гуминовых кислот (ГК), так и фульвокислот (ФК) преобладает подвижная 1 фракция. Связано это с большим количеством новообразованных гумусовых веществ, активно поступающих из мощной оторфованной лесной подстилки. Отметим и низкое содержание наиболее агрессивной фракции 1а фульвокислот, что и понятно, так как подстилка является источником образования, но не накопления свободных фульвокислот, и они, не задерживаясь, практически полностью мигрируют в ниже лежащие горизонты. Фракции 2 ГК и ФК в гумусовом горизонте также образуются, однако их количество невысоко, например, в разрезе 6в – 0,46 (ГК) и 0,003 (ФК).

Значительная величина негидролизуемого углерода в данном случае обязана наличию большого количества растительных остатков, проникающих из лесной подстилки. В целом, гумус изучаемых почв характеризуется мобильностью, значительным содержанием подвижных ГК и ФК, что хорошо увязывается с проявлением оподзоливания и довольно сильной элювиально-иллювиальной дифференциацией профиля.

Элювиальная толща почвы отличается крайне низким содержанием гумуса и гуматно-фульватным характером органического вещества. В его составе возрастает относительное содержание наиболее устойчивых фракций 3 ГК и ФК, но в то же время сохраняется высокое содержание подвижной фракции 1 ГК. Значительно, в 1,5 раза, увеличивается доля фракции 1 ФК и на 90 % – фракции 1а ФК. Существенно снижается доля негидролизуемого органического углерода.

Иллювиально-гумусовый горизонт характеризуется увеличением общего содержания гумуса по сравнению с вышележащим горизонтом и резко выделяется по составу гумуса и величине  $S_{гк}/S_{фк}$ , находящейся в довольно узких границах от 0,24 до 0,31 (рис. 1). Столь узкое соотношение  $S_{гк}/S_{фк}$  определяется резко возросшим относительным содержанием ФК. В первую очередь столь сильное увеличение происходит за счет наиболее подвижной и агрессивной фракции 1а ФК, содержание которой в разрезе 6в возрастает в 7 раз, а в разрезе 1г – более чем в 12 раз по сравнению с гумусовым горизонтом. В то же время происходит значительное снижение фракции 1 ГК: в профиле разреза 6в – почти в 3 раза, а в профиле разреза 1г – на 30 %. Как правило, в иллювиально-гумусовом горизонте возрастает относительное содержание негидролизуемого остатка (гумина) – до 50 % и более.

Анализируя изменение показателя  $S_{гк}/S_{фк}$ , приходим к выводу, что отношение углерода ГК к углероду ФК есть показатель стабильный для подгумусовых горизонтов почв с иллювиально-гумусовым горизонтом на территории Брестского Полесья. Существенные отличия наблюдаются в гумусовом горизонте. Несомненно, что данный показатель напрямую зависит от особенностей напочвенного покрова и, как следствие, от образования специфичной подстилки, которая будет формировать характер органического вещества аккумулятивного горизонта.

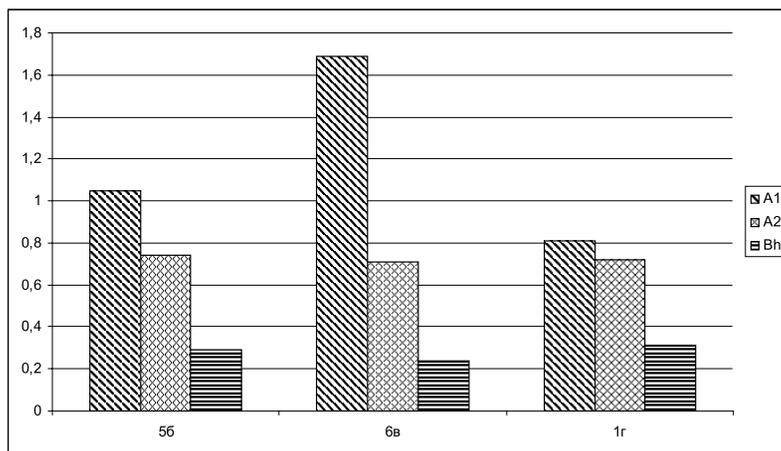


Рис. 1. Изменение соотношения  $S_{гк}/S_{фк}$  по профилю почв

Таблица 1  
Содержание и состав гумуса в дерново-подзолистых почвах с иллювиально-гумусовым горизонтом

№ раз-реза	Почвенная разновидность	Горизонт	C <sub>орг</sub> , %	C <sub>тнк</sub>	C <sub>зтнк</sub>	C <sub>зтнк</sub>	Σ <sub>тнк</sub>	C <sub>тнк</sub>	C <sub>тнк</sub>	C <sub>та фнк</sub>	C <sub>2фнк</sub>	C <sub>3фнк</sub>	Σ <sub>фнк</sub>	Гумин	C <sub>тк</sub> /C <sub>фнк</sub>
5б	Дерново-подзолистая глееватая иллювиально-гумусовая песчаная на связных песках, сменяемых с глубины до 1,0 м рыхлыми песками	A <sub>h</sub>	4,66	-	-	-	26,2	-	-	-	-	-	23,7	50,1	1,05
		A <sub>2</sub>	1,04	-	-	26,9	-	-	-	-	-	-	36,5	36,6	0,74
		B <sub>h</sub>	1,38	-	-	9,6	-	-	-	-	-	-	32,3	55,8	0,29
6в	Дерново-подзолистая глееватая иллювиально-гумусовая песчаная на мощных рыхлых песках, сменяемых с глубины до 1,0 м связными песками	A <sub>1</sub>	10,90	20,4	0,5	6,0	26,8	10,3	0,3	0,003	5,3	15,9	57,3	1,69	
		A <sub>2</sub>	0,10	8,1	9,6	4,5	22,2	15,9	3,2	1,8	10,5	31,5	46,3	0,71	
		B <sub>h</sub>	0,36	8,4	1,0	1,2	10,6	16,1	22,5	1,6	4,3	44,5	44,9	0,24	
1г	Дерново-подзолистая глееватая иллювиально-гумусовая песчаная на связных песках, сменяемых с глубины до 1,0 м рыхлыми песками	A <sub>1</sub>	5,22	12,5	4,0	2,8	19,3	8,6	0,9	5,2	9,2	23,8	66,9	0,81	
		A <sub>2</sub>	0,42	-	-	22,1	-	-	-	-	-	-	30,7	47,2	0,72
		B <sub>h</sub>	0,82	1,3	3,9	3,7	8,9	5,4	11,2	7,2	4,8	28,7	62,4	0,31	

## ВЫВОДЫ

Особенностью распределения органического вещества в почвах с иллювиально-гумусовым горизонтом на исследуемой территории является бимодальное, с двумя максимумами распределение общего содержания органического углерода и негидролизованного остатка.

Фульватно-гуматный состав гумусового горизонта обусловлен повышенным содержанием фракции 1 ГК. Величина Сгк/Сфк существенно уменьшается вниз по профилю, приобретая ярко выраженный фульватный характер в иллювиально-гумусовом горизонте, что обусловлено существенным повышением фракции 1а ФК, а также значительным понижением доли фракции 1 ГК.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зайдельман, Ф.Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов / Ф.Р. Зайдельман. – М.: Книжный дом, 2009. – 722 с.
2. Почвы Белорусской ССР / Т.Н. Кулаковская [и др.]; под ред. Т.Н. Кулаковской. – Минск: Ураджай, 1974. – 328 с.
3. Агрохимия: практикум / под ред.: И.Р. Вильдфлуша, С.П. Кукреша. – Минск, 2010. – 361 с.
4. Практикум по агрохимии: уч. пособие / О.А. Амелянчик [и др.]; под ред. В.Г. Минеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МГУ, 2001. – 689 с.
5. Зайдельман, Ф.Р. Естественное и антропогенное переувлажнение почв / Ф.Р. Зайдельман. – С.-Пб.: Гидрометеоздат, 1992. – 288 с.
6. Зайдельман, Ф.Р. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв / Ф.Р. Зайдельман. – М.: МГУ, 1998. – 300 с.
7. World Reference Base for Soil Resources: a framework for international classification, correlation and communication / FAO. – Rome, 2007. – 103 p.
8. Soil Atlas of Europe / European Commission. – Joint Research Centre, 2005. – 88 p.
9. Романова, Т.А. Диагностика почв Беларуси и их классификация в системе ФАО–WRB / Т.А. Романова. – Минск, 2004. – 428 с.

## HUMUS PECULIARUTYS OF PODZOLS OF BREST POLESYE

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

### Summary

In the article data of maintenance and composition of humus in the profile of podzols of Brest Polesye are presented. They have much organic carbon, up to 10 % in topsoil and have also second maximum of organic carbon in Bh horizon.

*Поступила 31 октября 2012 г.*

## **ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ БАНКА ДАННЫХ ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ПО ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Д.В. Матыченков<sup>1</sup>, Г.С. Цытрон<sup>1</sup>, В.В. Северцов<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup> *Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Разработка программно-информационного комплекса (ПИК) по оптимизации использования почвенных ресурсов Республики Беларусь предполагает концентрирование в систематизированном виде накопленной информации о почвенном покрове и его компонентах, знаний и опыта по рациональному использованию почвенных ресурсов в сельскохозяйственном производстве. Данный комплекс должен отражать реальное агроэкологическое состояние на текущий момент времени как отдельных компонентов, так и всего почвенного покрова Беларуси в целом, обеспечить возможности расширения объема и состава хранимой информации, учесть особенности не только почвенного покрова, но и требований к почвенным условиям возделываемых культур. Применение данной разработки позволит уйти от разрозненных бумажных носителей информации о состоянии почвенного покрова и его использования для различных целей к современным методам сбора, ввода, хранения и использования этой информации с помощью ГИС-технологий, что позволит специалистам различных уровней землепользования Министерства сельского хозяйства и продовольствия оперативно принимать решения по экономически выгодному и экологически безопасному использованию почвенных ресурсов страны [1–3].

Цель данной публикации состоит в показе полноценной информационной основы создаваемого ПИК: структуры банка данных (Базы данных и Базы знаний) и алгоритмов взаимодействия ее составляющих по установлению степени пригодности почвенного контура определенного землепользования для возделывания конкретной сельскохозяйственной культуры.

### **МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Объектом исследований явились информация о всем разнообразии почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь, инвентаризированная в Почвенной Информационной Системе Беларуси (ПИСБ) [4] по типовой принадлежности почв, степени гидроморфизма, гранулометрическому составу почвообразующих и подстилающих пород, характеру строения генетического профиля и их современному агроэкологическому состоянию, а также возделываемые в республике сельскохозяйственные культуры, занимающие основную долю в структуре ее посевных площадей, и их требования к почвенным условиям [5–7]. То есть объ-

ектом исследований являлся накопленный к настоящему времени объем знаний о почвах республики и их пригодности для возделывания конкретных сельскохозяйственных культур.

Основными методами, использованными для создания объединенной информационной базы данных характеристики компонентного состава почвенного покрова и пригодности его отдельных компонентов для различных целей сельскохозяйственного производства были: картографический, аналитический, статистические, экспертных оценок, системного анализа [8–10].

Системный анализ использовался для решения следующих основных задач: выделение элементов и их структурирование в Базе знаний (в том числе для создания алгоритмов матричного сравнения) и формализации отношений между элементами объединенной информационной Базы данных разрабатываемого программно-информационного комплекса [11].

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Банк данных для программно-информационного комплекса по оптимизации использования почвенных ресурсов Республики Беларусь состоит из двух компонентов: Базы данных и Базы знаний.

База данных предназначена для хранения исходной и промежуточной информации решаемой задачи: определения пригодности почв для возделывания конкретных сельскохозяйственных культур. Этот термин совпадает по названию, но не по смыслу с термином, используемым в информационно-поисковых системах и системах управления базами данных (СУБД) для обозначения всех данных, хранимых в системе (в нашем случае в ПИСБ).

В свою очередь, База данных состоит из цифровых почвенных карт различных уровней обобщения ПИСБ (республика, область, район, хозяйство, отдельно обрабатываемый участок), атрибутивных данных к цифровым почвенным картам, дополнительных полей базы данных ПИСБ и дополнительных данных (рис. 1).

База знаний – совокупность знаний, относящихся к некоторой предметной области и формально представленных таким образом, чтобы на их основе можно было осуществлять рассуждения.

Это особого рода база данных, разработанная для оперирования знаниями (метаданными). База знаний содержит структурированную информацию, охватывающую некоторую область знаний, для использования программным обеспечением (или человеком) с конкретной целью. Базы знаний содержат в себе не только фактическую информацию, но и правила вывода, допускающие автоматические умозаключения о вновь вводимых фактах (данных) и, как следствие, осмысленную обработку информации.

В конкретном случае База знаний включает в себя Справочники определения степени пригодности почв для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур на основе общей и частной агропроизводственных группировок почв, созданных в электронном виде на основе рекомендаций «Пригодность почв Республики Беларусь для возделывания отдельных сельскохозяйственных культур» [6], Правила оценки состояния почвенного покрова и алгоритмы матричного сравнения атрибутивной информации почвенного контура и соответствующих Справочников (рис. 2).

# 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

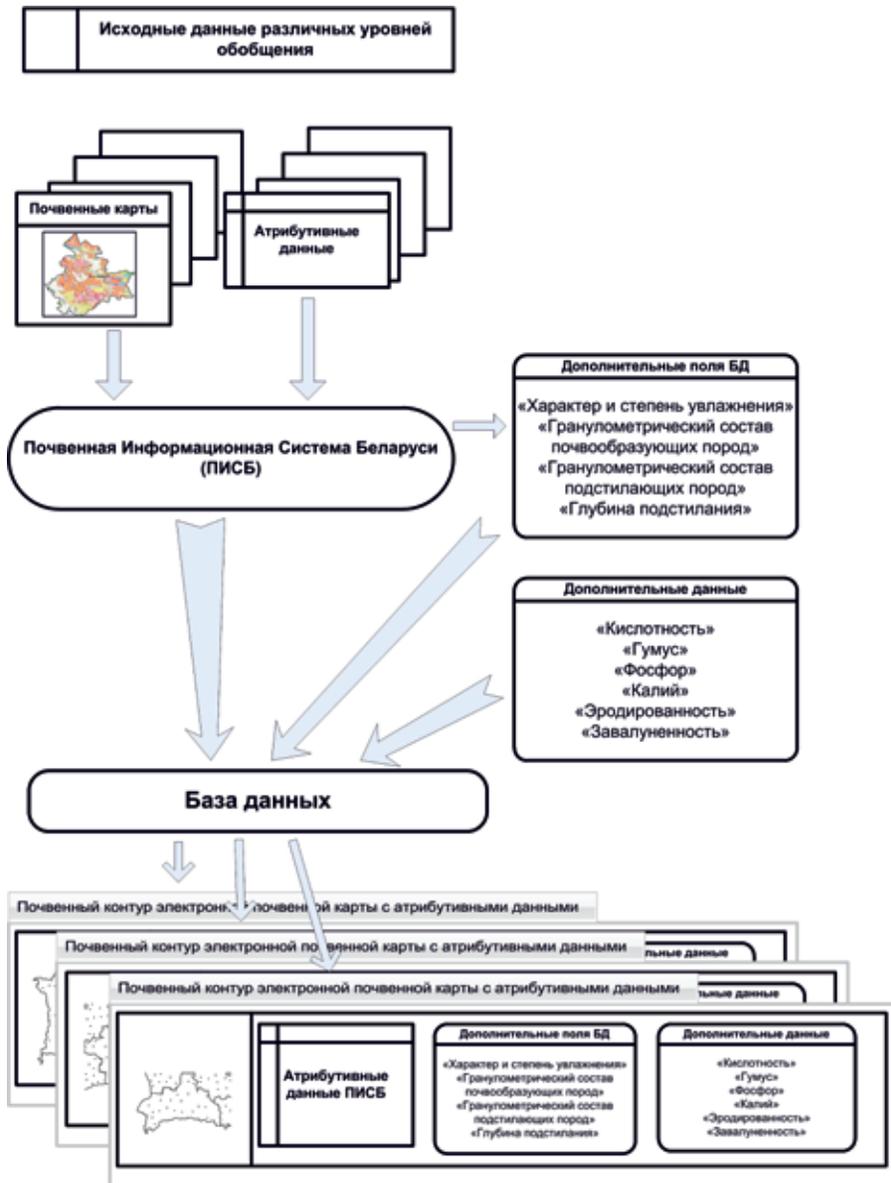


Рис. 1. Структура Базы данных экспертной системы программно-информационного комплекса по оптимизации использования почвенных ресурсов Беларуси

Информационно-логические схемы банка данных для программно-информационного комплекса по оптимизации использования почвенных ресурсов Республики Беларусь позволяют структурировать данные об отдельных компонентах почвенного покрова с целью установления его пригодности для возделывания определенных сельскохозяйственных культур. Эти схемы дают возможность проследить потоки информационной составляющей ПИСБ при взаимодействии с данными о пригодности почв Беларуси для возделывания сельскохозяйственных культур на примере их общей и частной агропроизводственных группировок.



Рис. 2. Структура Базы знаний экспертной системы программно-информационного комплекса по оптимизации использования почвенных ресурсов Беларуси

Одним из ключевых моментов функционирования программно-информационного комплекса по оптимизации использования почвенных ресурсов Республики Беларусь являются алгоритмы сравнения информации об отдельных компонентах почвенного покрова и Справочники пригодности почв под отдельные сельскохозяйственные культуры на основе общей и частных агропроизводственных группировок почв (рис. 3, 4). Именно на этом этапе происходит присвоение почвенному контуру той или иной степени его пригодности для конкретного сельскохозяйственного производства.

# 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

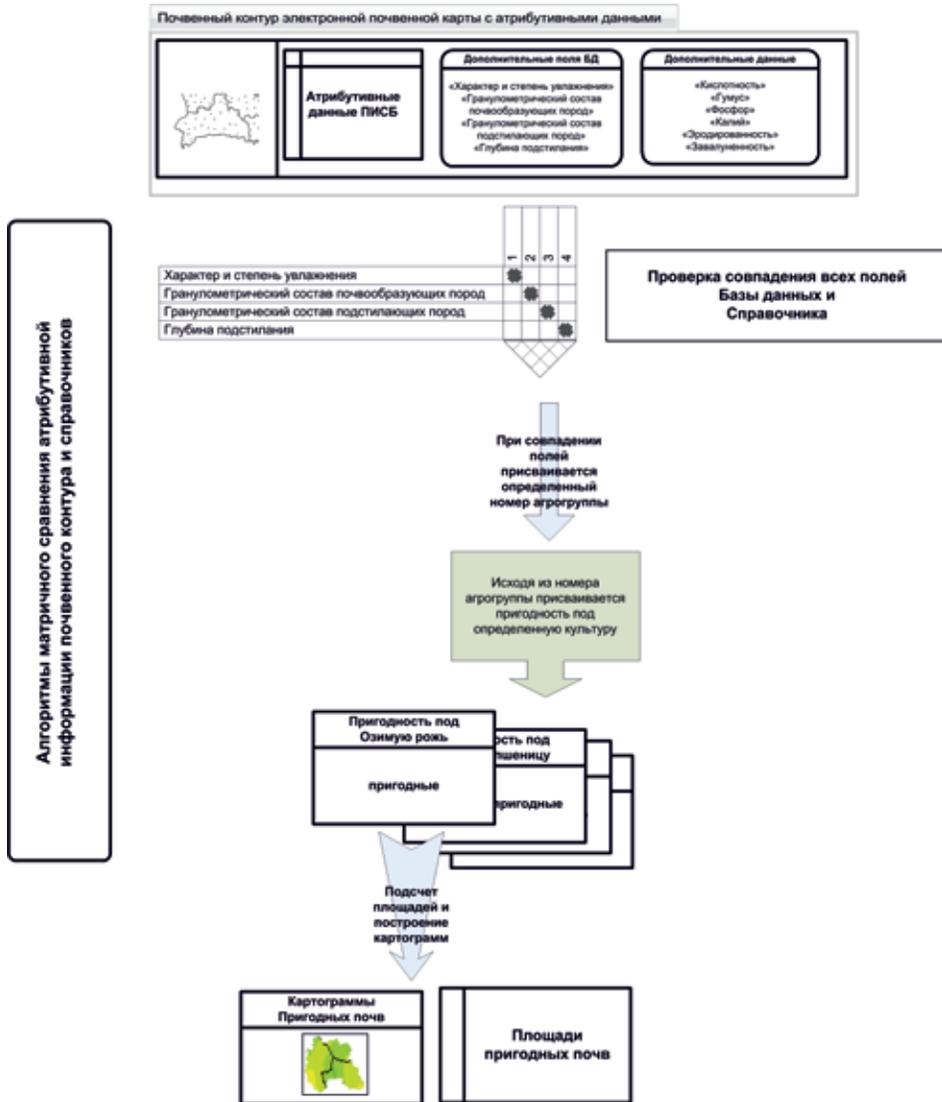


Рис. 3. Информационно-логическая схема определения пригодности почвенного покрова для выращивания сельскохозяйственных культур на основе общей агропроизводственной группировки почв

Аналогичная схема разработана также для определения пригодности почвенного покрова для выращивания сельскохозяйственных культур на основе частных агропроизводственных группировок почв как с учетом показателей требовательности отдельных культур к их агроэкологическому состоянию, так и без учета (рис. 4).

На рисунке 5 представлена схема определения пригодности почвенного контура на основе частной агропроизводственной группировки почв с учетом агроэкологического состояния почв. На первом этапе почвенному контуру присваивается пригодность без учета условий. За присвоением контуру значения «пригодный»

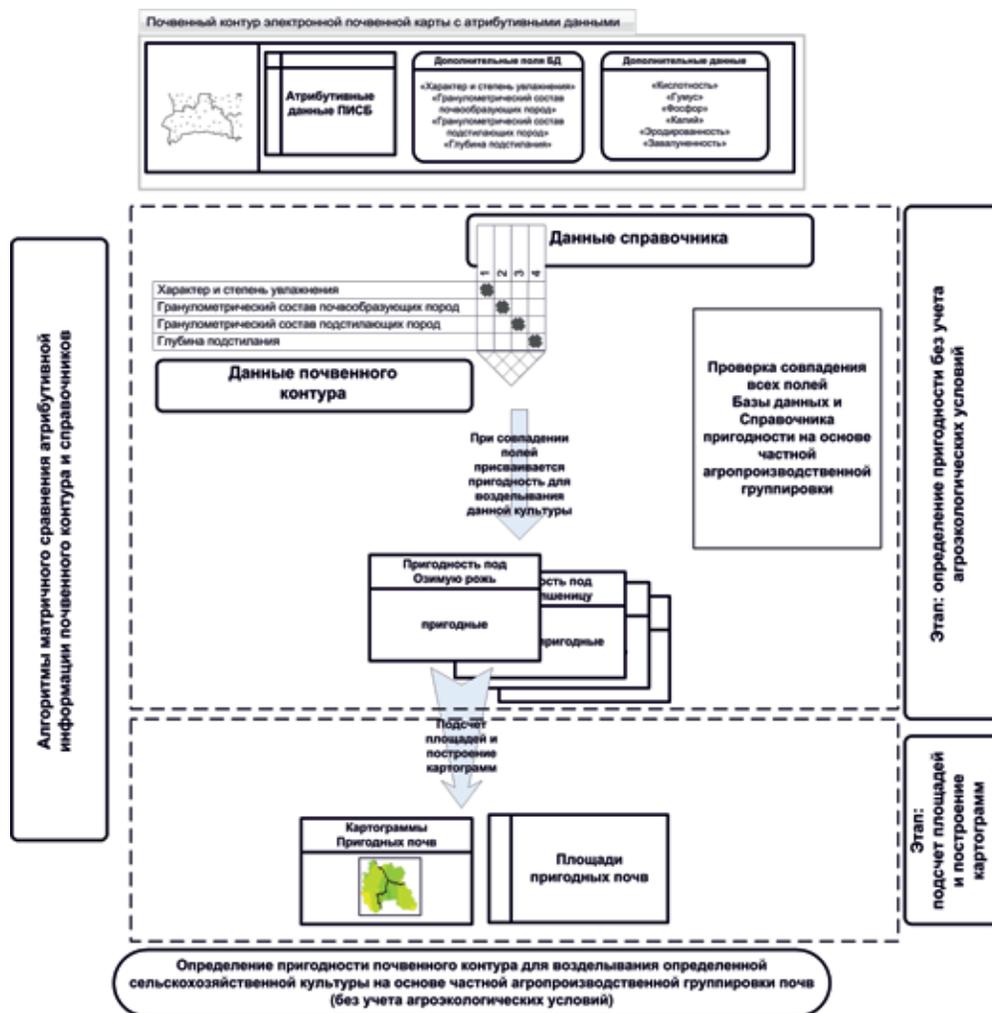


Рис. 4. Информационно-логическая схема определения пригодности почвенного покрова для выращивания сельскохозяйственных культур на основе частной агропроизводственной группировки почв без учета агроэкологического состояния

(под каждую конкретную культуру соответственно) (рис. 4., этап – определение пригодности без учета агроэкологических условий) следует проверка свойств почвенного контура этим самым условиям (кислотность, содержание гумуса, фосфора и калия, эродированность и завалуненность). При полном удовлетворении условий контур является пригодным для возделывания данной сельскохозяйственной культуры с учетом агрохимических свойств почв, наличия их эродированности и завалуненности. При неудовлетворении хотя бы одного параметра присваивается значение «непригодный».

Вышепредставленным путем устанавливается степень пригодности под ту или иную культуру всех почвенных контуров, составляющих почвенный покров землепользования (рабочий участок, поле, бригада, хозяйство, район, область, республика), и в результате получаем ту выходную продукцию, какая определена поставленной

# 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

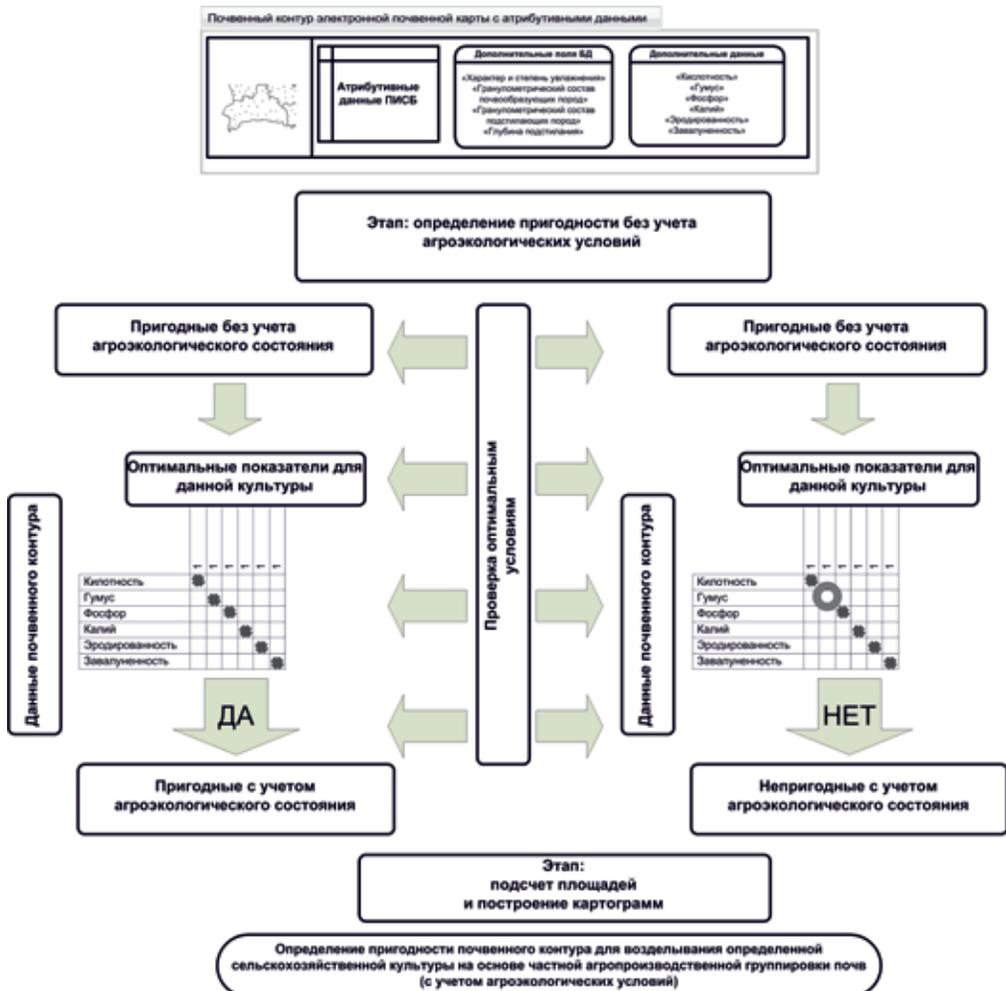


Рис. 5. Информационно-логическая схема определения пригодности почвенного покрова для выращивания сельскохозяйственных культур на основе частной агропроизводственной группировки почв с учетом агроэкологического состояния

задачей: площади пригодных почв под культуру для конкретного уровня землепользования, пригодность под ту или иную культуру конкретного участка и др.

## ВЫВОДЫ

Созданный банк данных является фактической основой создаваемого программно-информационного комплекса по оптимизации использования почвенных ресурсов в сельскохозяйственном производстве и числовым отражением как качественных характеристик, так и количественных показателей и свойств почвенного покрова конкретного уровня хозяйствования; включает в себя Базу данных и Базу знаний.

База данных программно-информационного комплекса по оптимизации использования почвенных ресурсов Республики Беларусь включает в себя:

1) Цифровую почвенную карту соответствующего уровня обобщения Почвенной Информационной Системы Беларуси;

2) Атрибутивные данные к цифровой почвенной карте;

3) Дополнительные данные, необходимые для определения пригодности компонентов почвенного покрова контуров почвенных карт ПИСБ.

База знаний программно-информационного комплекса по оптимизации использования почвенных ресурсов Республики Беларусь состоит из:

1) Справочника определения агрогруппы почвенного контура на основе общей группировки почв;

2) Справочника степени пригодности почв определенной агрогруппы для выращивания сельскохозяйственных культур;

3) Справочников определения степени пригодности почв для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур на основе частной группировки почв с учетом показателей требовательности отдельных культур к их агроэкологическому состоянию;

4) Набора правил определения пригодности компонентов почвенного покрова контуров почвенных карт Почвенной Информационной Системы Беларуси для выращивания сельскохозяйственных культур на основе общей и частных агропроизводственных группировок;

5) Алгоритмов матричного сравнения атрибутивной информации почвенного контура и Справочника определения агрогруппы почвенного контура на основе общей агропроизводственной группировки почв;

6) Алгоритмов матричного сравнения атрибутивной информации почвенного контура и Справочника определения пригодности почв для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур на основе частной агропроизводственной группировки почв с учетом показателей требовательности отдельных культур к их агроэкологическому состоянию.

Информационно-логические схемы банка данных компонентного состава почвенного покрова и пригодности отдельных компонентов для различных целей сельскохозяйственного производства наглядно указывают на источники первичных данных о свойствах компонентов почвенного покрова, отражают источники и сами знания о степени пригодности почв для возделывания конкретных сельскохозяйственных культур и их требования к почвенным условиям, а также определяют пути взаимодействия Базы данных и Базы знаний в процессе присвоения почвенному контуру определенной степени пригодности для целей растениеводства.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Цытрон, Г.С. Программно-информационный комплекс по оптимизации использования почвенных ресурсов республики Беларусь / Г.С. Цытрон, Д.В. Матыченков, В.В. Северцов // Съезд Докучаевского общества почвоведов, Петрозаводск, 13–17 августа 2012 г. – С. 264–265.

2. Матыченков, Д.В. Информационная обеспеченность управления почвенно-земельными ресурсами / Д.В. Матыченков, Г.С. Цытрон, В.В. Северцов // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное

обеспечение: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–8 июня 2012 г. / редкол.: И.И. Пирожник [и др.]. – Минск: БГУ, 2012. – С. 89–91.

3. Геоинформационная система управления территорией / А.К. Черкашин [и др.]. – Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 2002. – 151 с.

4. Цытрон, Г.С. Методические указания по созданию Почвенной Информационной Системы Беларуси / Г.С. Цытрон, Д.В. Матыченков, В.В. Северцов. – Минск, 2011. – 48 с.

5. Смяян, Н.И. Пригодность почв БССР под основные сельскохозяйственные культуры / Н.И. Смяян. – Минск: Ураджай, 1980. – 175 с.

6. Пригодность почв Республики Беларусь для возделывания отдельных сельскохозяйственных культур / В.В. Лапа [и др.]. – Минск, 2011. – 65 с.

7. Организационно–технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур. – Минск, 2005 г. – 462 с.

8. Джексон, П. Введение в экспертные системы = Introduction to Expert Systems / П. Джексон. – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2001. – С. 624.

9. Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А.Гаврилова, В.Ф. Хорошевский С.-Пб.: Питер, 2000. – 384 с.

10. Уотермен, Д. Руководство по экспертным системам / Д. Уотермен; пер. с англ. под ред. В.Л. Стефанюка. – М.: Мир, 1989. – 388 с.

11. Хомяков, Д.М. Основы системного анализа / Д.М. Хомяков, П.М. Хомяков. – М.: МГУ, 1996. – 108 с.

## THE DATA BANK INFORMATION AND LOGIC SCHEME OF THE SOFTWARE AND INFORMATION COMPLEX FOR OPTIMIZE USE OF SOIL RESOURCES IN THE REPUBLIC OF BELARUS

D.V. Matychenkov, G.S. Tsytron, V.V. Severtsov

### Summary

The paper presents data bank structure of the software and information complex for optimize use of soil resources in the Republic of Belarus. Given information and logic scheme, representing the sources of data and algorithms of interaction Database and Knowledge base in the process of assigning the soil polygon a certain degree of suitability for a particular crop.

*Поступила 20 ноября 2012 г.*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ПОЧВОЗАЩИТНЫХ СЕВОБОРОТОВ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВАХ, СФОРМИРОВАННЫХ НА МОРЕННЫХ СУГЛИНКАХ**

**А.М. Устинова, С.А. Касьянчик, И.И. Касьяненко, А.А. Клус**  
*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в ряде случаев отмечается усиление процессов деградации почв, которое обусловлено следующими причинами: продолжающимся ростом антропогенного воздействия на почвенный покров, недостаточной эффективностью управления земельными ресурсами, слабым контролем за их использованием [1].

Эрозия почв в большинстве случаев – явление малозаметное, однако имеющее не только экономические и экологические, но и социальные, и медицинские последствия [2].

В современных условиях значительно возросла актуальность ресурсосбережения и экономии материально-технических средств. Поэтому важно сформировать такую систему земледелия, которая обеспечивала бы рациональное природопользование, экологическую безопасность и наибольший выход продукции с наименьшими затратами. Результатом эколого-экономической эффективности должна стать система земледелия, в наибольшей степени соответствующая природно-ресурсному потенциалу и особенностям каждого рабочего участка [3]. В эрозионных агроландшафтах приоритетной является почвозащитная адаптивно-ландшафтная система земледелия, которая в максимальной степени учитывает условия различных регионов [4].

Внедрение противоэрозионных комплексов, включающих дифференцированные почвозащитные севообороты, применение адаптивных систем удобрения, а также проведение почвозащитных обработок, способствует ослаблению и прекращению процессов эрозии, а также созданию наилучших условий для роста и развития растений.

Основная роль возделываемых культур заключается в формировании проективного покрытия почвы в наиболее эрозионно-опасные периоды, а также в увеличении поступающих в почву растительных остатков [5].

По данным лаборатории агрофизических свойств и защиты почв от эрозии Института почвоведения и агрохимии, за год с одного гектара водосборной площади с поверхностным стоком смывается в среднем до 10–15 т твердой фазы почвы, 150–180 кг гумусовых веществ, до 10 кг азота, 4–5 кг фосфора, 3–4 кг калия и 5–6 кг кальция и магния [4].

По современным представлениям о скорости почвообразования в естественных условиях за год образуется 1,65–2,0 т/га почвы. Эти показатели соответствуют уровню предельно допустимого смыва для дерново-подзолистых почв Беларуси. В культурных ландшафтах скорость почвообразования на 30–40 % ниже.

Цель проведенных исследований заключалась в оценке эколого-экономической эффективности применения дифференцированных почвозащитных севооборотов на эродированных дерново-подзолистых почвах, сформированных на моренных суглинках, в условиях Белорусского Поозерья.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые опыты по изучению эффективности применения дифференцированных почвозащитных севооборотов проводились в 2006–2010 гг. на стационаре «Браслав» РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (СПК «Межаны» Браславского района) на наиболее подверженных водно-эрозионным процессам в Белорусском Поозерье дерново-подзолистых почвах, развивающихся на моренных суглинках. Почвы опытного стационара представлены единой почвенно-эрозионной катеной, включающей незэродированные, средне- и сильноэродированные, глееватые намытые разновидности. Исследования проводились в кормовом и зерно-травяном севооборотах.

Чередование культур по годам исследований следующее:

Севооборот	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Зерно-травяной	Вико-овсяная смесь	Яровая пшеница	Вико-овсяная смесь	Озимая пшеница	Горох
Кормовой	Яровая пшеница	Горохо-овсяная + бобовые травы	Люцерна + клевер	Люцерна	Люцерна

Варианты опыта в изучаемых севооборотах:

1. Минеральная система удобрения – контроль;
2. Органо-минеральная система удобрения.

Доза минеральных удобрений определялась возделываемой культурой, планируемой урожайностью и агрохимическими свойствами почвы. Органические удобрения (30 т/га навоза) в зерно-травяном севообороте внесены под яровую (2007 г.) и озимую пшеницу (2008 г.), в кормовом – под яровую пшеницу (2006 г.).

Общая площадь делянки на водораздельной равнине – 50 м<sup>2</sup>, на верхней и средней частях склона – 40, в нижней части – 30 м<sup>2</sup>. Размер учетной делянки на водоразделе – 35 м<sup>2</sup>, верхней и средней частях склона – 30, в нижней части склона – 25 м<sup>2</sup>. Количество делянок – 20. Общая площадь опыта – 1,4 га.

Агротехника возделывания сельскохозяйственных культур – общепринятая для республики. Полученные данные статистически обработаны с применением дисперсионного анализа, с использованием пакета стандартных программ STAT на компьютере.

Экологическая эффективность оценивалась по предотвращению потерь гумуса и элементов питания растений, которая тесным образом связана со значениями коэффициента почвозащитной способности (Нз) севооборота. В кормовом севообороте он составил 0,90, в зерно-травяном – 0,72. Применение органических удобрений увеличивает Нз на 0,06.

Экономический эффект складывается из экономии средств за счет снижения смыва и увеличения урожайности сельскохозяйственных культур.

При расчете эколого-экономической эффективности применения севооборотов использованы нормативы затрат на внесение удобрений, эксплуатационные затраты на возделывание, уборку, доработку и реализацию урожая, а также

стоимость 1 т к.ед. на пашне и 1 т удобрений (на 01.01.2010), представленные в методике РУП «Институт почвоведения и агрохимии» [6].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что самый высокий смыв гумуса и элементов питания растений наблюдается на сильноэродированной почве – около 60 % общих потерь. На среднеэродированной он составляет приблизительно 40 %. Данные, полученные в многолетних полевых опытах, свидетельствуют, что средние многолетние потери составили на среднеэродированной почве: гумуса – 108 кг/га, азота – 6, фосфора – 2,4, калия 3 кг/га; на сильноэродированной – 72 кг/га, 4, 1,6 и 2 кг/га соответственно.

Установлено, что наибольшее предотвращение потерь получено в кормовом севообороте с органо-минеральной системой удобрения, причем самое высокое – на сильноэродированной почве (гумуса – 100,4 кг/га, азота – 5,6, фосфора – 2,2, калия – 2,8 кг/га) (табл. 1).

Таблица 1

### Предотвращенные потери гумуса и элементов питания в севооборотах

Севооборот и вариант	Почва	Гумус	Азот	Фосфор	Калий	Всего
Кормовой	NPK	Неэродированная	–	–	–	–
		Среднеэродированная	67,0	3,7	1,5	1,9
		Сильноэродированная	100,4	5,6	2,2	2,8
	NPK+навоз	Неэродированная	–	–	–	–
		Среднеэродированная	69,1	3,8	1,5	1,9
		Сильноэродированная	105,8	5,8	2,3	2,9
Зерно-травяной	NPK	Неэродированная	–	–	–	–
		Среднеэродированная	46,1	2,6	1,0	1,3
		Сильноэродированная	69,1	3,8	1,5	1,9
	NPK+навоз	Неэродированная	–	–	–	–
		Среднеэродированная	51,1	2,8	1,1	1,4
		Сильноэродированная	81,0	4,5	1,8	2,3

На эродированных почвах Поозерья наименее эффективным является применение зерно-травяного севооборота с минеральной системой удобрения, в котором предотвращенные потери составили лишь 46,1–69,1 кг/га гумуса, N – 2,6–3,8, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 1,0–1,5, K<sub>2</sub>O – 1,3–1,9 кг/га. Отметим, что в таком же типе севооборота, но с органо-минеральной системой удобрения величина предотвращенных потерь в 1,3 раза выше.

Учитывая количественные показатели предотвращенных потерь, определена их стоимость по оплате затрат на приобретение и внесение удобрений, необходимых для восстановления утраченного плодородия почв вследствие водно-эрозионных процессов. Стоимость предотвращенных потерь в кормовом севообороте составила 60–94 \$/га, что на 16–28 \$/га выше, чем в зерно-травяном, особенно на сильноэродированной почве (табл. 2).

Одним из основных критериев оценки эффективности любого агроприема является урожайность сельскохозяйственных культур, которая под воздействием

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

водно-эрозионных процессов значительно уменьшается. На дерново-подзолистых почвах, развивающихся на моренных суглинках, продуктивность культур, возделываемых в опыте, зависела как от системы удобрения, так и от эродированности почвы (табл. 3).

Таблица 2

### Стоимость предотвращенных потерь гумуса и элементов питания в севооборотах, \$/га

Севооборот и вариант		Почва	Гумус	Азот	Фосфор	Калий	Всего
Кормовой	NPK	Неэродированная	–	–	–	–	–
		Среднеэродированная	55,98	1,99	1,34	0,26	59,6
		Сильноэродированная	83,97	2,98	2,01	0,39	89,3
	NPK+навоз	Неэродированная	–	–	–	–	–
		Среднеэродированная	57,78	2,05	1,38	0,27	61,5
		Сильноэродированная	88,48	3,11	2,10	0,40	94,1
Зерно-травяной	NPK	Неэродированная	–	–	–	–	–
		Среднеэродированная	38,52	1,37	0,92	0,18	41,0
		Сильноэродированная	57,78	2,05	1,38	0,27	61,5
	NPK+навоз	Неэродированная	–	–	–	–	–
		Среднеэродированная	42,74	1,52	1,02	0,20	45,5
		Сильноэродированная	67,72	2,41	1,62	0,31	72,1

Таблица 3

### Производительная способность дерново-подзолистых почв, сформированных на моренных суглинках, ц/га к.ед. (в среднем за 2006–2010 гг.)

Степень эродированности	Зерно-травяной севооборот			Кормовой севооборот		
	NPK	NPK + навоз	± к NPK	NPK	NPK + навоз	± к NPK
Неэродированная	54,1	59,4	+5,2	66,5	72,6	+6,1
Среднеэродированная	45,3	51,0	+5,7	52,9	57,3	+4,3
± к неэродированной	–8,8	–8,4	–	–13,6	–15,3	–
Сильноэродированная	42,1	48,2	+6,1	46,2	51,8	+5,6
± к неэродированной	–12,0	–11,2	–	–20,3	–20,8	–
Глееватая намытая	47,1	47,4	+0,3	58,4	63,4	+5,0
± к неэродированной	–7,0	–12,0	–	–8,1	–9,2	–
НСР <sub>0,05</sub> фактор А( почва)	6,6			8,9		
фактор В (удобрение)	5,7			7,1		

Продуктивность культур зерно-травяного севооборота в среднем за 5 лет в варианте NPK изменялась от 42,1 до 54,1 ц/га к.ед. в зависимости от степени эродированности, а при внесении NPK + навоз – от 47,4 до 59,4 ц/га к.ед. Недобор урожайности на эродированных разновидностях составил 8,8–12,0 и 8,4–11,2 ц/га к.ед. в зависимости от варианта. Совместное применение органических и минеральных удобрений увеличило производительную способность исследуемых почв примерно на 10–14 %, или на 5–6 ц/га к.ед., по сравнению с NPK.

Наиболее продуктивной из культур зерно-травяного севооборота оказалась озимая пшеница – 70–85 ц/га к.ед.

За ротацию кормового севооборота при внесении только минеральных удобрений получено 46,2–66,5 ц/га к.ед., в варианте NPK+навоз – 51,8–72,6 ц/га к.ед. Производительная способность эродированных почв снизилась в зависимости от системы удобрения на 20–30 % (13,6–20,3 ц/га к.ед.) и 21–29 % (15,3–20,8 ц/га к.ед.) соответственно. Применение органических удобрений увеличило продуктивность сельскохозяйственной культуры на 4,3–6,1 ц/га к.ед. (8 %).

В кормовом севообороте самый высокий выход кормовых единиц отмечен при возделывании многолетних бобовых трав третьего года пользования – 89–114 ц/га к.ед.

Таким образом, наибольший противоэрозионный эффект и высокая производительная способность дерново-подзолистых почв, сформированных на моренных суглинках, могут быть достигнуты, используя их в кормовом севообороте с органо-минеральной системой удобрения.

При расчете экономической эффективности доходными статьями являются стоимость предотвращенных потерь гумуса и элементов питания, а также стоимость продукции.

В среднем за пять лет самая высокая продуктивность получена в кормовом севообороте с органо-минеральной системой удобрения. Стоимость продукции здесь наибольшая – 299–430 \$/га. С учетом стоимости предотвращенных потерь доход при таком использовании эродированных почв составил 429–470 \$/га (табл. 4). В варианте NPK получено на 30–41 \$/га меньше.

Таблица 4

**Эколого-экономическая эффективность применения дифференцированных почвозащитных севооборотов (в среднем за 2006–2010 гг.)**

Почва	Вариант	Доход	Сумма затрат	Чистый доход	Рентабельность, %
		\$/га			
Кормовой севооборот					
Неэродированная	NPK	430,3	286,2	144,1	50
	NPK + навоз	469,7	319,4	150,3	47
Среднеэродированная	NPK	401,8	252,2	149,7	59
	NPK + навоз	432,2	281,2	151,1	54
Сильноэродированная	NPK	388,3	235,4	152,8	65
	NPK + навоз	429,2	267,4	161,8	61
Зерно-травяной севооборот					
Неэродированная	NPK	350,0	344,4	5,6	2
	NPK + навоз	384,3	375,7	8,6	2
Среднеэродированная	NPK	334,1	322,4	11,6	4
	NPK + навоз	375,4	354,7	20,8	6
Сильноэродированная	NPK	333,9	314,4	19,4	6
	NPK + навоз	383,9	347,7	36,2	10

Культуры зерно-травяного севооборота менее продуктивны, особенно в варианте NPK. Стоимость продукции здесь составила 272–350 \$/га, а доход – 334–350 \$/га. В варианте NPK + навоз доход выше на 34–50 \$/га.

К расходным статьям относятся затраты на приобретение, доставку и внесение органических и минеральных удобрений, закупку семян, эксплуатационные затраты на возделывание, уход, уборку и доработку сельскохозяйственных культур.

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

Наиболее затратным является возделывание культур в зерно-травяном севообороте с органо-минеральной системой удобрения – 348–378 \$/га. Сумма затрат в кормовом севообороте на 56–80 \$/га ниже, так как возделывание многолетних трав 2–3 года пользования включало только затраты на удобрение и уборку зеленой массы. Внесение органических удобрений увеличило затраты на 29–33 \$/га.

Самый высокий общий доход и наименьшие затраты обеспечили максимальный чистый доход в кормовом севообороте с органо-минеральной системой удобрения. В зависимости от степени эродированности он изменялся от 150,3 до 161,8 \$/га при уровне рентабельности 47–54 %. Отметим, что наибольший эколого-экономический эффект получен на сильноэродированной почве – 161,8 \$/га с рентабельностью 54 %. В варианте NPK, несмотря на меньшие затраты, чистый доход на 1–9 \$/га ниже, чем при совместном применении органических и минеральных удобрений. В то же время рентабельность незначительно выше – на 3–5 %.

Наименьший общий доход и высокие затраты в зерно-травяном севообороте обусловили самый низкий чистый доход (8,6–36,2 \$/га при органо-минеральной и 5,6–19,4 \$/га при минеральной системе удобрения). При этом на сильноэродированной почве чистая прибыль приблизительно в 4 раза выше, чем на незэродированной почве. Рентабельность изменялась от 2 % на незэродированной почве до 6–10 % на сильноэродированной.

Сравнивая севообороты между собой, отметим что эколого-экономическая эффективность применения кормового севооборота на эродированных дерново-подзолистых почвах, сформированных на моренных суглинках, в 4 и более раз выше, чем зерно-травяного.

## ВЫВОДЫ

1. Наибольший противозерозионный эффект и высокая производительная способность дерново-подзолистых почв, сформированных на моренных суглинках, могут быть достигнуты при использовании их в кормовом севообороте с органо-минеральной системой удобрения – 51,8–72,6 ц/га к.ед. в среднем за пять лет.

2. Эколого-экономическая оценка применения дифференцированных почвозащитных севооборотов показала, что самый высокий эффект на эродированных почвах Поозерья получен в кормовом севообороте с органо-минеральной системой удобрения – 150–162 \$/га чистого дохода при уровне рентабельности 47–54 %. При этом предотвращение потерь на эродированных дерново-подзолистых почвах составило: гумуса – 69–106 кг/га, азота – 4–6, фосфора – 2, калия – 2–3 кг/га.

3. насыщение севооборота зерновыми культурами привело к снижению показателей как экологической, так и экономической эффективности по сравнению с кормовым севооборотом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Савченко, В.В. Национальная программа действия по борьбе с деградацией земель и роль почвенных исследований в ее осуществлении / В.В. Савченко,

А.Ф. Черныш, В.М. Яцухно // Современные проблемы повышения плодородия почв и защиты их от деградации: материалы междунаро. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, и III съезда почвоведов, Минск, 27–29 июня 2006 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2006. – С. 228–230.

2. Литвин, Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России / Л.Ф. Литвин. – М.: Академкнига, 2002. – 255 с.

3. Эколого-экономические нормативы эффективного использования разнокачественных земель сельскохозяйственного значения: науч. изд. / под ред. В.Г. Гусакова. – Минск, 2003. – 46 с.

4. Проектирование противозерозионных комплексов и использование эрозионноопасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси: рекомендации / под общ. ред. А.Ф. Черныша; Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2005. – 52 с.

5. Черныш, А.Ф. Оценка эффективности применения почвозащитных приемов на склоновых землях Белорусской гряды (по результатам исследований на стационаре «Стоковые площадки») / А.Ф. Черныш, А.Э. Радюк, А.В. Юхновец // Почвоведение и агрохимия. – 2007 – № 1 (38). – С. 54–61.

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

## **THE EFFICIENCY OF THE DIFFERENTIATED SOIL PROTECTIVE CROP ROTATIONS APPLICATION ON THE ERODED SOD-PODZOLIC SOILS DEVELOPED ON MORAIN CLAY LOAMS, IN THE CONDITIONS**

**A.M. Ustinova, S.A. Kas'yanchik, I.I. Kas'yanenko, A.A. Klus**

### **Summary**

The results of ecologic-economical estimation of the application of the differentiated soil protective crop rotations on the eroded sod-podzolic soils developed on moraine clay loams, in the conditions of the Belarusian Poozery are shown at the article. It was determined that the maximum effect obtained in food crop rotation with organic-mineral fertilizing system – 150–162 \$/ha net income in the level of profitability 47–54 %. Saturation of rotation crops by cereal leded to a reduction of the ecological and economical efficiency indicators in comparison with the food crop rotation.

*Поступила 6 ноября 2012 г.*

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗВЕСТКОВЫХ УДОБРЕНИЙ С ОРГАНИЧЕСКИМ ВЕЩЕСТВОМ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

**Н.Н. Бамбалов**

*Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь*

### ВВЕДЕНИЕ

Оптимальная величина кислотности для возделывания сельскохозяйственных культур на торфяных почвах соответствуют значениям рН 5,0–5,3. Из общей площади торфяных почв, используемых в сельском хозяйстве республики, доля почв с кислотностью ниже оптимальной составляет 20,8 %, из них сильнокислых с величиной рН ниже 4,5 лишь 1,8 % [1].

Большинство исследований по известкованию торфяных почв посвящено обоснованию доз и форм известковых удобрений для различных сельскохозяйственных культур, и лишь единичные публикации содержат сведения о влиянии известкования на органическое вещество почв [2–5]. Механизм взаимодействия известковых удобрений с органическим веществом почв до сих пор остается неизученным. Известно, что водород карбоксильных групп гуминовых кислот замещается кальцием или магнием известковых удобрений, однако нет ясности, взаимодействует ли двухвалентный ион с карбоксильными группами, принадлежащими одной или двум молекулам гуминовой кислоты, и в какой части молекул гуминовых кислот находятся карбоксильные группы, прореагировавшие с кальцием или магнием: у ароматического ядра или в боковой цепи? Получить такую информацию методами элементного и фракционно-группового анализа невозможно, поскольку они фиксируют лишь химический состав органического вещества до и после известкования.

Цель данной работы – восполнить дефицит научных знаний о механизме взаимодействия известковых удобрений с органическим веществом торфяных почв на основе данных термического анализа, чувствительного к изменениям органических и минеральных компонентов [6], и электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), чувствительного к изменению систем полисопряженных химических связей в органических молекулах, в том числе в ароматических ядрах гуминовых кислот [7, 8].

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Опытный участок «Дукора» расположен в Пуховичском районе на торфяной почве верхового типа. В ботаническом составе торфа доля сфагновых мхов составляет 90 %, остальное – остатки пушицы, сосны и березы, до осушения степень разложения была 10–15 %, зольность 7–8 %. Повышенная величина зольности верхового торфа объясняется наличием привнесенного песка. Содержание общего азота около 1 %,  $P_2O_5$  – 0,11,  $K_2O$  – 0,05,  $CaO$  – 0,03 %. Уровни грунтовых вод на глубине 0,8–1,2 м. В качестве известкового удобрения использовали мел. Возделывались культуры: ячмень, вико-овсяная смесь, клевер розовый. Пробы

почвы отбирали через 3 года после известкования. Обработка почвы общепринятая для указанных культур.

Опытный участок «Морочно» расположен в Столинском районе на торфяной почве переходного типа. Ботанический состав торфа представлен остатками тростника, осок и гипновых мхов, до начала опыта степень разложения была 35–40 %, зольность – 6–8 %. Содержание общего азота около 1,8–1,9 %,  $P_2O_5$  – 0,1,  $K_2O$  – 0,04,  $CaO$  – 0,05 %. Уровни грунтовых вод на глубине 0,8–1,1 м. В качестве известкового удобрения использовали доломитовую муку. Возделывались злаковые многолетние травы (тимopheевка + овсяница). Пробы почвы отбирали через 3 года после известкования.

Опытный участок «Чудин» расположен в Ганцевичском районе на торфяной почве низинного типа. Ботанический состав торфа представлен остатками древесных пород, осок и гипновых мхов, степень разложения 25–30 %, зольность – 6–8 %. Содержание общего азота около 2,9 %,  $P_2O_5$  – 0,33,  $K_2O$  – 0,07,  $CaO$  – 1,9 %. Уровни грунтовых вод на глубине 0,8–1,3 м. В качестве известкового удобрения использовали доломитовую муку. Возделывались злаковые многолетние травы, пробы почвы отбирались через 3 года после известкования.

Образцы почв сушили в тени до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито с размером ячеек 1 мм. Углерод, водород и азот определяли по [9], групповой состав – по [10], термический анализ – по [6], ЭПР – на радиоспектрометре Р–1301 [8], кислотность – по ГОСТ– 26483–65, влажность и зольность – по СТБ 2042–2010.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известкование почв улучшило реакцию среды (табл. 1) не только для возделываемых растений, но и для почвенных микроорганизмов, что привело к повышению степени разложения органического вещества малоразложившегося торфа на объекте «Дукора» с 10 до 15–20 %, в то время как на других объектах степень разложения была одинаковой на контрольных и известкованных вариантах. Последнее объясняется тем, что на объектах «Морочно» и «Чудин» еще до известкования степень разложения торфа была на уровне 35–40 % и 25–30 % соответственно, поэтому дальнейшее ее увеличение может происходить либо замедленными темпами, либо она не будет возрастать из-за исчерпания ароматических соединений сохранившихся фрагментов растений-торфообразователей, в частности, структурных единиц лигнина, для образования новых гуминовых веществ.

В почве минерализуются как безазотистые, так и азотсодержащие органические вещества. Основными конечными продуктами минерализации являются вода, диоксид углерода и аммиак. Диоксид углерода уходит в атмосферу, а аммиак в зависимости от реакции среды по-разному взаимодействует с органическим веществом. В кислой среде он реагирует с имеющимися в торфе органическими и минеральными кислотами и выносится в виде водорастворимых аммонийных солей за пределы почвенного профиля. Это подтверждается данными [11], согласно которым коэффициент аккумуляции азота при образовании верхового торфа меньше 1, что однозначно указывает на преобладание процессов геохимического выноса соединений азота за пределы верховых болот. В слабокислой, нейтральной и щелочной средах низинных и переходных болот аммиак включается в реакции вторичного взаимодействия с органическим веществом, обогащая его азотом [12–15].

# 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

Таблица 1

**Влияние известкования торфяных почв на элементный состав органического вещества пахотных горизонтов, % (числитель – в расчете на сухое вещество, знаменатель – на органическое)**

Вариант	Вид и степень разложения торфа, %	Зола, %	pH в KCl	C	H	N	O	C:H	C:N	C:O
Объект «Дукора» (опыт В.С. Брезгунова, Институт мелиорации)										
Целина осушенная	Сфагновый, 10	7,22	2,8	<u>46,01</u> 49,90	<u>5,15</u> 5,79	<u>0,86</u> 0,93	<u>40,76</u> 43,38	8,93	53,50	1,13
Контроль (NPK)	Сфагновый, 10–15	13,36	2,9	<u>44,25</u> 51,07	<u>5,11</u> 5,89	<u>1,15</u> 1,33	<u>36,13</u> 41,71	8,66	38,48	1,22
Контроль + мел, 5,3 т/га	Сфагновый, 15–20	15,96	4,6	<u>42,69</u> 50,71	<u>4,71</u> 5,60	<u>1,28</u> 1,52	<u>35,36</u> 42,17	9,06	33,35	1,21
Контроль + мел, 15,9 т/га	Сфагновый, 15–20	23,86	6,9	<u>38,00</u> 49,90	<u>4,11</u> 5,79	<u>1,32</u> 1,73	<u>32,71</u> 42,58	9,26	28,79	1,16
Объект «Морочно» (опыт А.И. Барсукова, ПОСМЗил)										
Целина осушенная	Тростниково-осоковый, 35–40	7,60	3,5	<u>53,58</u> 57,99	<u>5,66</u> 6,12	<u>1,92</u> 2,08	<u>31,24</u> 33,81	9,47	27,91	1,72
Контроль (NPK)	Тростниково-осоковый, 35–40	11,48	3,6	<u>50,86</u> 57,46	<u>4,21</u> 4,76	<u>1,87</u> 2,10	<u>31,58</u> 35,68	12,08	27,20	1,61
Контроль+ доломитовая мука, 8 т/га	Тростниково-осоковый, 40–45	12,94	5,9	<u>51,85</u> 59,56	<u>5,49</u> 6,31	<u>1,94</u> 2,23	<u>27,78</u> 31,90	9,99	26,73	1,87
Объект «Чудин» (опыт А.З. Барановского, Институт мелиорации)										
Целина осушенная	Древесно-гипновый, 25–30	11,38	4,3	<u>49,12</u> 55,42	<u>5,33</u> 6,01	<u>3,28</u> 3,70	<u>30,89</u> 34,87	9,22	14,98	1,59
Контроль (NPK)	Древесно-гипновый, 25–30	14,47	4,4	<u>47,64</u> 55,70	<u>5,14</u> 6,01	<u>2,96</u> 3,46	<u>29,79</u> 34,83	9,27	16,10	1,59
Контроль+ доломитовая мука, 8 т/га	Древесно-гипновый, 25–30	14,14	5,7	<u>47,60</u> 55,44	<u>5,30</u> 6,17	<u>2,95</u> 3,43	<u>30,01</u> 34,96	8,98	16,14	1,59

Известкование исследуемых почв по-разному повлияло на элементный состав органического вещества в зависимости от геоботанической природы торфа (табл. 1). Известкование сильноокислой торфяной почвы, развивающейся на верховом малоразложившемся сфагновом торфе объекта «Дукора», привело к увеличению содержания общего азота с 0,86 до 1,32 %, что можно объяснить следующим образом. При сельскохозяйственном освоении этой почвы усилились процессы минерализации и гумификации, за счет чего даже на контроле без известкования содержание азота возросло до 1,15 %, поэтому в почве уменьшилось отношение C:N с почти в два раза – с 53,5 до 28,8 по сравнению с целинной почвой.

В данном случае оптимизация pH среды для почвенной микрофлоры создала условия для активизации в почве окислительно-гидролитических ферментов, расщепляющих органические азотсодержащие компоненты торфа с образованием аммиака, поэтому на известкованных вариантах начал действовать второй механизм обогащения органического вещества азотом – путем взаимодействия аммиака с карбонильными группами лигнина, углеводов, гуминовых и фульвокислот. Доказано, что в результате реакций карбонил-аминной конденсации образуются азотсодержащие производные, в том числе гетероциклические соединения с одним или двумя атомами азота в кольце [12–14]. Вероятно, за счет течения таких реакций и возросло содержание общего азота в известкованной торфяной почве до 1,28–1,32 %. При известковании менее кислых почв объектов «Морочно» и «Чудин» таких радикальных изменений в содержании общего азота не произошло, потому что компоненты органического вещества этих почв еще в процессе формирования торфяных залежей на неосушенных болотах прореагировали с аммиаком, о чем свидетельствует высокое содержание азота в органическом веществе целинных почв (1,9 и 3,3 % соответственно), поэтому на известкованных вариантах этих почв выделяющийся при минерализации органического вещества аммиак не имел вакансий для взаимодействия с функциональными группами органических соединений. Этот факт подтверждает правильность данного выше объяснения. Более того, по-видимому, механизм обогащения торфяных почв азотом путем взаимодействия органического вещества с аммиаком является одним из основных. Действием именно этого механизма можно объяснить наличие большой разницы в содержании азота в разных типах торфа.

Данные о групповом составе органического вещества представлены в таблице 2. На объекте «Дукора» в результате известкования возросла степень разложения торфа вследствие увеличения в пахотном слое количества гумифицированных частиц органического вещества. В процессе гумификации содержание неустойчивых к разложению микроорганизмами гидролизуемых веществ уменьшилось: легкогидролизуемых с 16,9 до 8,5–9,3 %, трудногидролизуемых – с 11,3 до 6,9–9,3 %. Содержание сравнительно более устойчивых компонентов – битумоидов увеличилось с 7,5 до 9,3–9,9 %, гуминовых веществ – с 41,2 до 51,8 %. Особенно существенно возросло содержание фульвокислот, которые, как известно, являются наиболее окисленными соединениями почвенного гумуса. Увеличение их количества свидетельствует об усилении окислительно-гидролитических процессов органического вещества под влиянием известкования почвы, сформированной на малоразложившемся сфагновом торфе.

В отличие от этого, известкование кислой торфяной почвы, развивающейся на среднеразложившемся торфе, и последующее ее использование для возделывания многолетних трав на объекте «Морочно» не привели к существенным изменениям группового состава органического вещества, достоверных отличий в содержании отдельных групп органического вещества на контрольном и известкованном вариантах не выявлено. Однако это не означает, что нет взаимодействия известковых удобрений с органическим веществом почвы, так как ионы кальция легко вступают во взаимодействие с карбоксильными группами органических кислот, гуминовых и фульвокислот и др.

Наши попытки определить количество гуминовых веществ, связанных и не связанных с двух- и трехвалентными катионами, путем извлечения щелочью до

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

и после декальцирования по методике [10] дали неопределенные результаты, зависящие от количества проводимых экстракций, их продолжительности и температуры. Неопределенность связана с обратимостью реакции взаимодействия едкого натра (или другой щелочи) с гуматами поливалентных катионов:

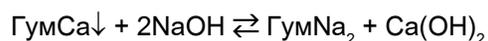


Таблица 2

### Влияние известкования торфяных почв на групповой состав органического вещества пахотного слоя, %

Варианты	Битумоиды	Гуминовые вещества, всего	В том числе		Легкогидролизуемые вещества	Трудногидролизуемые вещества	Негидролизуемый остаток
			гуминовые кислоты	фульвокислоты			
Объект «Дукора»							
Целина осушенная	7,5	41,2	33,4	7,8	16,9	11,3	23,1
Контроль (NPK)	9,3	45,8	36,2	9,6	8,5	8,3	28,1
Контроль + мел, 5,3 т/га	9,9	50,3	39,3	11,0	9,3	9,3	21,2
Контроль + мел, 15,9 т/га	9,4	51,8	36,0	15,8	9,0	6,9	22,9
Объект «Морочно»							
Контроль (NPK)	5,9	49,7	45,7	4,0	16,2	6,2	22,0
Контроль + доломитовая мука, 8 т/га	5,8	48,9	43,8	5,1	14,2	6,1	25,0

В прямой реакции ионы кальция из осадка переводятся в раствор, что обеспечивает протекание обратной реакции, поэтому процесс превращения гуматов кальция в гуматы натрия не идет до конца, т.е. часть нерастворимых в воде гуматов кальция остается в осадке, а часть образовавшихся гуматов натрия находится в растворе. Кроме этого, в раствор щелочи переходит часть гуминовых веществ, находящихся в химической связи с кальцием и другими поливалентными катионами, например, с железом [15]. Все это не позволяет считать удовлетворительной методику [10] деления гуминовых веществ на связанные и не связанные с двух- и трехвалентными катионами.

Более перспективно применение инструментальных методов, в частности, термического анализа и ЭПР. На рисунке 1 представлены данные термического

анализа образцов из пахотного слоя торфяной почвы объекта «Дукора» с контрольного и известкованных вариантов. Известкование торфяной почвы сопровождается образованием гуматов кальция, что доказывается появлением на кривых ДТА эндотермического эффекта в области от 525 до 920 оС с максимумом при 660 и 720 °С. В области 750–760 °С проявляется эндотермический эффект, обусловленный присутствием  $\text{CaCO}_3$ . Ориентировочная оценка по площадям пиков показала, что из 15,9 т/га мела примерно 5 т/га вступило в реакцию с органическими компонентами почвы. Как показывают данные этого же рисунка, в случае применения больших доз известковых удобрений их избыток сохраняется в свободном состоянии без дальнейшего взаимодействия с органическим веществом. Принципиально возможно на базе таких исследований разработать методику количественной оценки взаимодействия известковых удобрений с органическим веществом почв, как минимум торфяных.

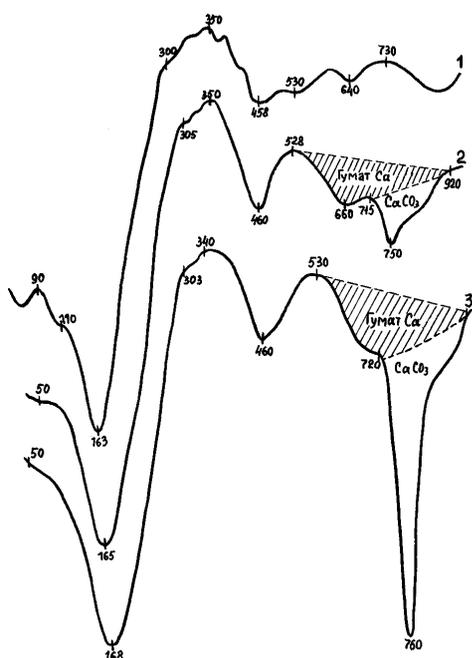


Рис. 1. Термограммы торфяной почвы объекта «Дукора»: 1 – контроль (без известкования); 2 – известкование дозой 5,3 т мела; 3 – известкование дозой 15,9 т/га мела.

Новые доказательства взаимодействия известковых удобрений с гуминовыми веществами с образованием гуматов кальция и магния получены методом ЭПР. Главная особенность этого метода состоит в том, что он чувствителен только к системам полисопряженных связей, которые в торфяных почвах имеются в молекулах гуминовых кислот. Данные, представленные на рис. 2 и в таблице 3, однозначно свидетельствуют, что внесение в почву известковых удобрений приводит к значительному увеличению как интенсивности сигнала ЭПР, так и ширины линии. При этом наибольшее изменение параметров спектра ЭПР наблюдается при внесении 5–8 т/га известковых удобрений. Дальнейшее увеличение доз известковых удобрений до 16 т/га несущественно сказывается на изменении параметров сигнала ЭПР, что согласуется с результатами термического анализа.

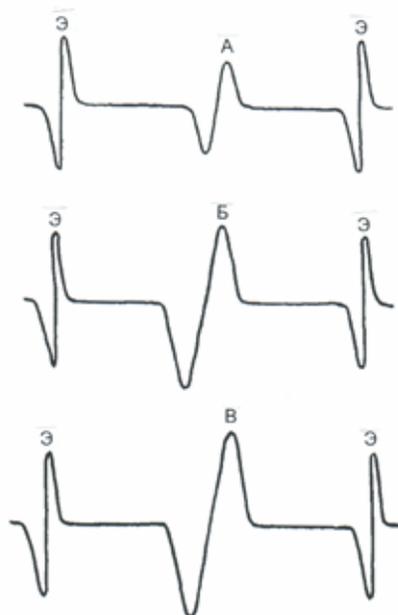


Рис. 2. Спектры ЭПР осушенной торфяной почвы объекта «Морочно»: А – контроль (без известкования); Б – известкование дозой 8 т/га доломитовой муки; В – известкование дозой 16 т/га доломитовой муки; Э – эталон (марганец)

Таблица 3

**Влияние известкования на парамагнитные свойства торфяных почв**

Варианты опытов	Интенсивность сигнала, Jотн.	Ширина линии, $\Delta H$ , Гс
Объект «Дукора»		
Целина осушенная	0,54	4,6
Контроль (NPK)	1,00	4,8
Контроль + мел (5,3 т/га СаО)	2,90	5,7
Контроль + мел (15,9 т/га СаО)	3,00	5,7
Объект «Морочно»		
Контроль (NPK)	1,00	4,2
Контроль + доломитовая мука, 8 т/га	1,70	5,3
Контроль + доломитовая мука, 16 т/га	2,00	5,3

Введение катионов непарамагнитных металлов, в данном случае кальция и магния, в молекулы гуминовых кислот привело к повышению их парамагнетизма. Такие изменения в спектрах ЭПР указывают на то, что делокализованные электроны перемещаются по большему пространству, чем в гуминовых кислотах неизвесткованных почв.

Это означает, что произошло увеличение систем полисопряжения в ароматических ядрах молекул гуминовых кислот. Последнее возможно только в том случае, если двухвалентный катион соединяется не с одной, а с двумя разными

молекулами гуминовых кислот: например, одна валентная связь кальция реагирует с карбоксильной группой одной молекулы гуминовой кислоты, а вторая валентная связь – с другой молекулой [10], при этом образующиеся новые органо-минеральные соединения имеют большие молекулярные массы по сравнению с исходными молекулами гуминовых кислот [16].

Под влиянием осушения и использования без известкования на объекте «Дукора» наблюдалось увеличение лишь интенсивности сигнала ЭПР без изменения ширины линии, т.е. в почве этого варианта сельскохозяйственного использования не происходило формирование новых структурных элементов органо-минеральной природы.

Появление новых структурных элементов в известкованных почвах обусловлено взаимодействием ионов кальция и магния с карбоксильными группами, расположенными у ароматических ядер, принадлежащих разным молекулам гуминовых кислот. Если бы ионы кальция и магния взаимодействовали с карбоксильными группами, принадлежащими одной молекуле гуминовой кислоты или с карбоксильными группами разных молекул, но расположенными не у ароматических ядер, то не было бы увеличения системы полисопряжения и не наблюдалось бы усиления сигнала и увеличения ширины линии в спектре ЭПР. Элементный и групповой анализы такой информации не дают, поэтому перспективность и целесообразность применения современных инструментальных методов к исследованию известкования торфяных почв вполне очевидны.

## **ВЫВОДЫ**

1. При известковании торфяных почв, развивающихся на слаборазложившемся торфе, происходит увеличение степени разложения, а при известковании почв, сформированных на среднеразложившемся торфе, степень разложения не увеличивается и находится в пределах типичных значений для данного ботанического состава торфа.

2. У почв, сформированных на слаборазложившемся торфе, в результате известкования возрастает содержание общего азота, гуминовых и фульвокислот, снижается отношение C:N, содержание легко- и трудногидролизующихся веществ, а у почв на среднеразложившемся торфе элементный и групповой составы органического вещества практически не изменяются.

3. Методами термического анализа и ЭПР-спектроскопии установлено образование гуматов кальция и магния при взаимодействии известковых удобрений с органическим веществом торфяных почв, причем эти катионы взаимодействуют с карбоксильными группами, расположенными у ароматических ядер, принадлежащих разным молекулам гуминовых кислот. В результате такого взаимодействия в торфяных почвах образуются новые органо-минеральные соединения с повышенным электронным парамагнетизмом.

4. Методы термического анализа и ЭПР-спектроскопии более чувствительны, чем методы элементного и группового анализа, к структурным изменениям органического вещества почв, происходящим под воздействием известковых удобрений. На базе этих инструментальных методов может быть разработан способ количественной оценки взаимодействия известковых удобрений с органическим веществом торфяных почв.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Богдевич, И.М. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И.М. Богдевич [и др.] // Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 276 с.
2. Брезгунов, В.С. Некоторые приемы окультуривания торфяно-болотных почв верхового типа: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук. / В.С. Брезгунов. – Минск, 1969. – 28 с.
3. Переверзев, В.Н. Влияние окультуривания на изменение химического состава агрохимических свойств болотных почв Мурманской области / В.Н. Переверзев // Почвоведение. – 1963. – № 5. – С. 41–52.
4. Переверзев, В.Н. Изменение состава органического вещества торфяно-болотных почв Кольского полуострова под влиянием окультуривания / В.Н. Переверзев, Н.С. Алексеева // Почвоведение. – 1973. – № 3. – С. 42–49.
5. Дречина, Л.В. Влияние минеральных добавок на содержание отдельных групп органического вещества / Л.В. Дречина, Л.Я. Швейдель // Лабораторное моделирование процесса разложения торфа. – Минск, 1980. – С. 11–21.
6. Филимонов, В.А. Термографическое изучение процессов термического разложения торфа / В.А. Филимонов, В.Е. Раковский // Химия и генезис торфа и сапропелей. – Минск: Наука и техника, 1962. – С. 120–131.
7. Белькевич, П.И. Исследование процесса термолиза гуматов кальция методом ЭПР / П.И. Белькевич, К.А. Гайдук, В.П. Стригуцкий // ДАН БССР. – 1976. – Т. 20, № 3. – С. 237–239.
8. О природе парамагнетизма торфа / В.П. Стригуцкий [и др.] // Труды Межд. симпоз. IV и II 4 ко-миссии МТО. – Минск, 1982. – С. 73–77.
9. Орлов, Д.С. Практикум по биохимии гумуса / Д.С. Орлов, Э.В. Гришина. – 1981. – 180 с.
10. Пономарева, В.В. К методике изучения органического вещества в торфяно-болотных почвах / В.В. Пономарева, Т.А. Николаева // Современные почвенные процессы в лесной зоне Европейской части СССР. – М.: Наука, 1959. – С. 170–203.
11. Донских, И.Н. Аккумуляция азота в торфяниках Северо-Запада РСФСР / И.Н. Донских // Природа болот и методы их исследований. – М.: Наука, 1967. – С. 157–161.
12. Дудкин, М.С. Действие аммиака на глюкозу, ксилозу и ксилан / М.С. Дудкин, Н.Г. Шкантова, А.Ф. Яцук // Журнал прикладной химии. – 1968. – Т. 41, вып. 2. – С. 385–388.
13. Тишкович, А.В. Теория и практика аммонизации торфа / А.В. Тишкович // Минск: Наука и техника. – 1972. – 172 с.
14. Драгунов, С.С. Строение гуминовых кислот и приготовление гуминовых удобрений / С.С. Драгунов // Труды Московского торфяного ин-та. – 1958. – Вып. 2. – С. 244–256.
15. Особенности молекулярной структуры водорастворимых гуминовых кислот низинного торфа / Н.Н. Бамбалов [и др.] // Известия НАН Беларуси. Сер. хим. наук. – 2011. – № 3. – С. 118–123.
16. Бамбалов, Н.Н. Влияние концентрации катионов кальция на молекулярно-массовое распределение гуминовых кислот / Н.Н. Бамбалов, М.В. Дите // Вести НАН Беларуси. Сер. хим. наук. – 2005. – № 4. – С. 97–100.

## INTERACTION OF CALCAREOUS FERTILIZERS WITH ORGANIC MATTER OF PEAT SOILS

N.N. Bambalov

### Summary

The increase of the decomposition degree of peat take place if calcareous fertilizers have been used on the weakly decomposed peat soils, but decomposition degree is not changing by introduction of calcareous fertilizers into soils developing on the middle or highly decomposed peat. The content of total nitrogen, humic and fulvic acids is increasing, but C:N ratio, the quantity of the light- and heavy hydrolysable substances are decreasing in soils developing on a weakly decomposed peat. The elemental and group composition of or-ganic matter are not changing if calcareous fertilizers have been used on the soils developing on the middle and highly decomposed peat.

At entering of calcareous fertilizers into peat soils calcium and magnesium cations interact with the car-boxyl groups located at aromatic nucleus belonging to different molecules of humic acids. The new organic-mineral components with the increased electronic paramagnetism are forming into peat soils as a result of such interaction.

*Поступила 3 июля 2012 г.*

УДК 630.114.68:630.176.321/322

## ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ ДУБРАВ БЕЛОВЕЖСКОЙ ПУЩИ

М.И. Антоник

*Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Беларусь*

### ВВЕДЕНИЕ

ГПУ НП «Беловежская пуца» находится на стыке двух геоботанических зон – Евразийской хвойно-лесной и Европейской широколиственной. Согласно геоботаническому районированию, Беловежская пуца находится на юго-западе Неманско-Предполесского округа подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов и составляет особый Беловежский геоботанический район [1]. Широколиственные насаждения представлены дубовыми, ясеневыми и грабовыми формациями. Особенностью дубовых лесов Беловежской пуцы является то, что в составе древостоя, кроме дуба черешчатого, встречается дуб скальный, достигающий восточных пределов своего распространения. Благодаря заповедному режиму дубравы пуцы в основном (более 70 %) представлены высоковозрастными древостоями (150–250 лет), сформировавшимися и развивающимися в относительно естественных условиях. Воздействие широколиственных лесов на почвы в боль-

шей мере определяется биологическими и экологическими свойствами лесной растительности и их изменением в различных условиях среды, прежде всего при произрастании на различных почвах [2, 3].

По данным С.В. Зонна, дубовые леса и чистые культуры дуба оказывают менее положительное влияние на почвы, из-за чего в большей степени усиливаются элювиальные явления, чем под смешанными широколиственными лесами и насаждениями, в последнем случае даже с примесью хвойных пород. Вместе с тем одна и та же порода, что установлено для дуба, может в зависимости от почвенных условий выступать и как сильно оподзоливающая порода, и как порода не оподзоливающая [4, 5].

Цель исследования – показать особенности и дать характеристику почв дубрав Беловежской пуци.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на площадках (ПП 31–38), заложенных в дубравах: кисличной (с дубом скальным ПП 31), почва – бурая лесная контактно-оглеенная, супесчаная, развивающаяся на связной супеси, подстилаемой с глубины 40 см суглинком легким моренным (УГВ – 300 см); орляковой (ПП 32), почва – дерново-подзолистая песчаная, развивающаяся на связном песке, сменяемом с глубины 60 см супесью связной и подстилаемом с глубины 75 см суглинком моренным (УГВ – 300 см); грабово-кисличной (ПП 33), почва – дерново-подзолистая контактно-оглеенная, песчаная, развивающаяся на связном песке, сменяемом с глубины 68 см водно-ледниковой рыхлой супесью (УГВ – 250 см); снытевой (ПП 34), почва – дерново-подзолистая временно избыточно увлажненная, песчаная, развивающаяся на рыхлом песке, сменяемом с глубины 22 см связным песком и подстилаемом с глубины 78 см суглинком легким (УГВ – 300 см); черничной (ПП 35), почва – бурая лесная контактно-оглеенная, песчаная, развивающаяся на связном песке, сменяемом песком рыхлым на глубине 50 см и подстилаемом с глубины 80 см суглинком легким (УГВ – 400 см); папортниковой (ПП 36), почва – дерново-подзолистая глеевая, песчаная, развивающаяся на связном песке, сменяемом с глубины 25 см песком рыхлым, с глубины 70 см подстилаемая рыхлой супесью (УГВ – 127 см); крапивной (ПП 37); культурах дуба кисличного типа леса (ПП 38), почва – бурая лесная, песчаная, развивающаяся на связном песке, сменяемая с глубины 70 см рыхлым песком (УГВ – 400 см), в Королево-Мостовском и Пашуковском лесничестве на протяжении 2006–2010 гг.

Для изучения показателей образцы отбирали по горизонтам почвенных разрезов. Гранулометрический состав определяли по Н.А. Качинскому, плотность твердой фазы почвы – при помощи пикнометра на 100 мл, максимальную гигроскопическую влажность – по А.В. Николаеву.

Агрохимические показатели определяли:  $pH_{KCl}$  – потенциметрически на рН-метре; содержание углерода органического вещества ( $C_{орг}$ ) в лесных подстилках – по Никитину; в почвенных горизонтах гумус – по Тюрину; общий азот ( $N_{общ}$ ) – по Кьельдалю; валовой фосфор ( $P_{вал}$ ) – по Шерману; легкогидролизуемый азот ( $N_{л-г}$ ) – по Корнфилду; подвижный фосфор ( $P_2O_5$ ) – по Кирсанову [6–8].

Численность бактерий, длину мицелия микроскопических грибов определяли прямыми микроскопическими методами. Бактериальную и грибную биомассу рас-

считывали, исходя из удельного веса бактериальной клетки, равного  $1,08 \text{ г/см}^3$ , и объема  $0,1 \text{ мкм}^3$ . Расчет биомассы микроскопических грибов учитывали, исходя из удельного веса мицелия –  $1,05 \text{ г/см}^3$  и среднего диаметра гиф –  $5 \text{ нм}$ , тогда биомасса 1 метра мицелия грибов составляет  $3,9 \times 10^{-6} \text{ г}$  сухого вещества [8]. Ферментативную активность определяли по газометрическим и фотокolorиметрическим методикам в прописи Щербаковой [9–11].

Запасы гумуса, биогенных элементов и потенциал ферментативной активности в почвах дубрав рассчитывали с учетом мощности генетических горизонтов и их плотности на глубину 150 см почвенного профиля.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные гранулометрического анализа показали, что исследованные почвы формировались как на однородных песчаных породах, так и на двучленных и трехчленных отложениях. В составе мелкозема преобладали песчаные фракции крупнозернистого ( $1-0,5 \text{ мм}$ ) и среднезернистого песка ( $0,5-0,25 \text{ мм}$ ). Содержание илистой фракции ( $<0,001 \text{ мм}$ ) было незначительным –  $0,34-7,24 \%$ . Содержание физической глины по почвенным разновидностям колебалось от  $2,55$  до  $25,9 \%$ , а количество илистых частиц составило  $0,60-7,24 \%$ , крупнозема –  $2,13-21,7 \%$ . Верхний  $2-40$ -сантиметровый слой в дубраве кисличной (ПП 31) и  $20$ -сантиметровый слой в дубраве кисличной (ПП 38) связносупесчаный. На ПП 31, где произрастает дуб скальный, почва была более обогащена тонкими фракциями.

Плотность твердой фазы почв Беловежской пушчи колебалась от  $2,35$  до  $2,87 \text{ г/см}^3$ . Наименьшие значения ( $1,15-1,45 \text{ г/см}^3$ ) отмечены в лесной подстилке, что связано с составом и ее сложением, высоким содержанием органического вещества. Плотность лесных подстилок изменялась от  $0,17$  до  $0,33 \text{ г/см}^3$ , почвенных горизонтов – от  $1,46$  до  $1,81 \text{ г/см}^3$ .

Величина максимальной гигроскопичности (МГ) исследованных почв оказалась неодинаковой: верхние песчаные горизонты содержали от  $0,20 \%$ , нижние –  $1,11 \%$  влаги; верхние супесчаные горизонты –  $0,30 \%$ , нижние –  $0,83 \%$ ; суглинистые горизонты – от  $0,18$  до  $1,42 \%$ . Максимальная гигроскопичность в значительной степени зависела от содержания в почве физической глины и гумуса.

Влажность устойчивого завядания (ВЗ) является очень важной характеристикой почвы. По этой величине можно определить количество доступной растениям влаги. В наших исследованиях величину ВЗ вычисляли по МГ, поэтому изменение ее величины по вариантам опытов и профилю соответствовало изменениям максимальной гигроскопичности. Запас продуктивной влаги при одновременном определении в расчете на  $1,5 \text{ м}$  слой почвы в дубравах кисличных составил  $118 \text{ мм}$ ,  $147 \text{ мм}$  и  $155 \text{ мм}$ , орляковой –  $243 \text{ мм}$ , снытевой –  $138 \text{ мм}$ , черничной –  $176 \text{ мм}$ , папоротниковой –  $159 \text{ мм}$ , крапивной –  $124 \text{ мм}$ .

Общий запас влаги в полутораметровом слое составил в дубравах крапивной и снытевой не более  $145,36 \text{ мм}$ , кисличных  $155,54-157,14 \text{ мм}$ , черничной –  $207,46 \text{ мм}$ , папоротниковой и культур дуба в кисличных условиях –  $171,86$  и  $182,29 \text{ мм}$ , орляковой –  $104,15 \text{ мм}$ .

Результаты потенциометрического анализа показали, что почти все горизонты исследуемых почв беловежских дубрав имеют сильнокислую и кислую реакцию среды ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$   $3,12-4,86$ ). С глубиной кислотность уменьшалась незначительно.

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

Следует отметить, что лесные подстилки в кисличных, орляковых, черничных, снытевых дубравах содержат больше  $C_{орг}$  (28,10–36,95 %). Ниже эти показатели в дубравах папоротниковой (20,85 %) и кисличной с дубом скальным (ПП 31 – 23,80 %). Эта закономерность распространяется на гумусовые и подзолистые горизонты, что свидетельствует об аналогичном распределении органического вещества, однако степень ее трансформации невелика, различия в органическом веществе между подстилкой и гумусово-подзолистыми горизонтами в среднем в 6–10 раз.

Содержание общего азота ( $N_{общ}$ ) в лесных подстилках почв дубовых насаждений Беловежской пуши было невысокое в снытевой (1,27 %) и папоротниковой дубравах (1,30 %), повышенное – в кисличных (1,58–1,68 %) и черничных (1,70 %) типах дубовых лесов.

В подзолистых горизонтах содержание общего азота уменьшилось в 4–12 раз, что указывает на низкую степень минерализации азотсодержащих органических соединений в составе полуперегнившего субстрата лесных подстилок (C:N = 14:1–22:1).

В иллювиальных и подстилающих горизонтах содержание общего азота снизилось до очень низких величин 0,02–0,10 % (C:N = 8:1–18:1).

Фракция легкогидролизуемого азота ( $N_{л-г}$ ) в орляковой и черничной дубравах варьировала в пределах 4–7 % от содержания общего азота. Наблюдалась аналогичная закономерность распределения как в лесных подстилках (877,5–987,0 мг/кг), так и в почвенных горизонтах (68,5 до 526,5 мг/кг). Еще более низкие величины характерны в иллювиальных горизонтах, а также в подстилающих породах.

Содержание валового фосфора ( $P_{вал}$ ) в бурых лесных и дерново-подзолистых почвах дубрав Беловежской пуши составило 0,07–0,12 % с заметным преобладанием в лесных подстилках кисличных и черничных типов леса, в гумусовых горизонтах оно варьировало в пределах 0,03–0,08 % и резко падало в иллювиально-оглеенных горизонтах. Содержание валового фосфора в этих лесных почвах в значительной степени было представлено минеральными фосфатами, где фракция подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) достигала 10–40 % от запасов валового фосфора. Высоким содержанием подвижного  $P_2O_5$  характеризовались лесные подстилки кисличных (165–230 мг/кг) и орляковой (135 мг/кг) дубрав, менее обогащены  $P_2O_5$  подстилки снытевой (125 мг/кг), папоротниковой (105) и черничной (100 мг/кг) дубрав. По почвенному профилю не отмечено равномерного распределения подвижного фосфора. Подстилающие породы, представленные моренным легким суглинком, в почвах под кисличными дубравами содержали подвижного фосфора больше, чем в подзолистых и даже гумусовых горизонтах.

В расчете на 1,5 м глубину и 1 м<sup>2</sup> поверхности с учетом мощности и плотности почвенных горизонтов были рассчитаны потенциальные запасы гумуса в исследуемых нами почвах Беловежских дубрав, составляющие 15–24 кг/м<sup>2</sup>. Низкие запасы гумуса в почвах снытевых и кисличных и высокие – в почвах крапивных и черничных дубрав: они составили 0,5–0,7 % от массы почвы. Запасы  $N_{общ}$  варьировали в пределах 1,44–3,14 кг/м<sup>2</sup>, более высокие – в почвах черничной и крапивной дубрав, сравнительно низкие – в почвах кисличных и папоротниковых типах дубрав. Запасы  $N_{л-г}$  достигали 7–10 % от общего азота и преобладали в черничных и крапивных типах.

Целостность почвы как системы жизнеобеспечения метаболитами микробиоты в процессах обмена веществ и энергии есть понятие «биогенности почвы», в основе которого лежат ферментативные реакции, протекающие как в отдельных

клетках почвенных микроорганизмов, так и непосредственно в самой почве. Ферментативная активность живых организмов осуществляется выделением большого количества ферментов в среду своего существования – почву – и определяет строгую направленность биохимических трансформаций в почве [10–11].

Биогенность почв рассматривается как совокупность биохимических процессов трансформации основных составляющих (аминокислот, полинуклеотидов, полисахаридов, полифосфатов, липидов и других комплексов) органического вещества до более простых форм, употребляемых растениями и микроорганизмами.

В дерново-подзолистых и бурых лесных почвах дубрав Беловежской пуши нами исследованы ферментативные процессы трансформации органического вещества (активность протеаз, фосфатаз, инвертаз, каталаз) лесных подстилок и почв по генетическим горизонтам почвенных профилей.

Энзиматическая активность проявилась в лесных подстилках в 3–5 раз выше, чем в почвенных горизонтах. Сравнительно высокие величины регистрируются в гумусовых и подзолистых горизонтах, более низкие – в иллювиальных горизонтах и подстилающих породах.

Ферментативная активность лесных подстилок и почв беловежских дубрав тесно связана с водно-физическими свойствами и гранулометрическим составом почв, при этом она существенно возрасла от бедных песчаных к богатым суглинистым разновидностям. Активность гидролитических и оксидоредуктазных ферментов всецело зависела от влажности и плотности почвы. Плотность возрасла от подстилок до глубокорасположенных подстилающих пород и имела обратную зависимость с энзиматической активностью почв, тогда как с влажностью и влагозапасами этих почв была выявлена положительная закономерность.

Потенциальная протеолитическая активность в почвах беловежских дубрав варьировала в пределах 100–300 мг тирозина за 18 ч на 1 см<sup>2</sup> по генетическим горизонтам с учетом их мощности и плотности и была более интенсивна в кисличных, крапивных типах и в культурах дуба кисличного типа леса. Фосфатазная активность колебалась в пределах 25–75 мг P за 24 ч на 1 см<sup>2</sup>, максимумы были характерны для кисличных, папоротниковой и крапивной дубравах. Инвертазная активность отмечена в диапазонах 700–2700 г глюкозы за 4 ч на 1 см<sup>2</sup> в более благоприятных почвенных условиях от папоротниковой и крапивной к орляковой и кисличной дубравам. Потенциальная каталазная активность равномерно уменьшалась от кисличных, орляковой к черничной и папоротниковой дубравам от 400 до 100 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> за 2 мин на 1 см<sup>2</sup> (рис.).

Высокая потенциальная каталитическая активность в пределах 220–250 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> за 2 мин на 1 см<sup>2</sup> отмечена также в кисличном типе (ПП 38) и крапивном.

В лесных подстилках беловежских дубрав длина мицелия микроскопических грибов, количество бактерий и их биомасса не характеризовались высокими отклонениями, однако в них немного выше процентное соотношение суммарной микробной биомассы в ферментационном (38–45 %) и гумифицированном (27–35 %) слоях, что указывает на высокую интенсивность процессов минерализации.

По мере дифференциации лесной подстилки была обнаружена высокая насыщенность мицелием грибов и бактериями в ферментационном слое, где соотношение микробной и грибной биомассы составило 34–41 %, в гумифицированном – 20–30 %, в поверхностном – 21–27 % от суммарной биомассы по генетическим слоям лесной подстилки.

# 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

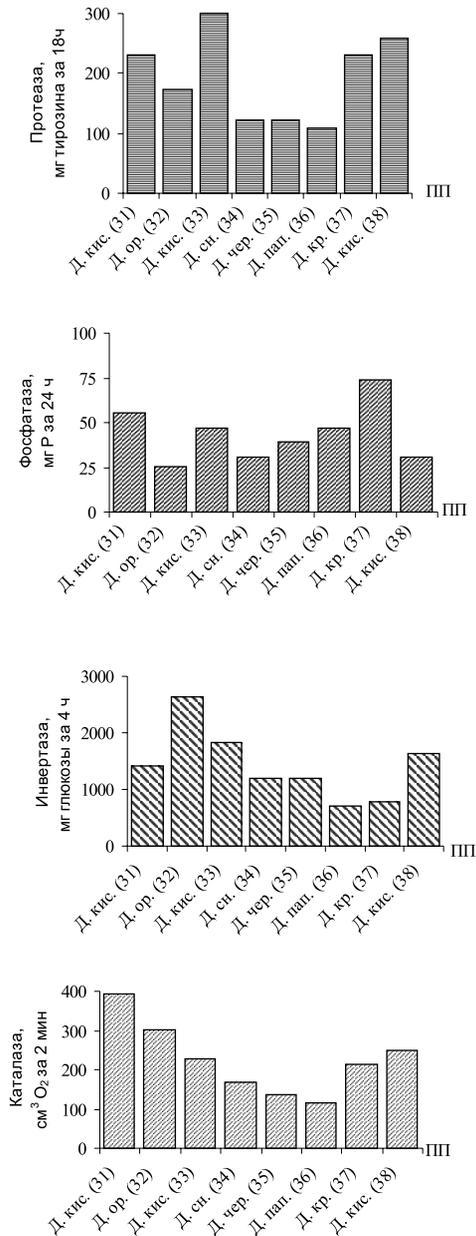


Рис. Активность ферментов в 1,5 м профиле почв дубовых насаждений ГПУ НП «Беловежская пуща»

Численность бактериальных клеток в лесных подстилках составила 6–7 млрд. кл. на 1 г лесной подстилки, в гумусовых горизонтах количество бактерий колебалось в пределах 3–5 млрд. кл./г почвы, а в иллювиально-оглеенных – уменьшилось от 500 млн. кл. до 1,5 млрд. кл. в 1 г почвы. По бактериальной массе это равнялось: в подстилках 0,120–0,140 мг/г воздушно-сухой подстилки, в гумусовых горизонтах

– 0,070–0,100 мг/г почвы. В нижних горизонтах генетического профиля биомасса бактерий уменьшилась до 0,010–0,030 мг/г сухой почвы.

Длина гиф мицелиальных грибов варьировала в лесных подстилках дубрав от 450 до 870 м/г, в гумусовых горизонтах длина мицелия достигала 408–680 м/г, в иллювиальных горизонтах изредка обнаруживались фрагменты мицелия и обрывки мицелиальных чехлов до 8–40 м/г почвы.

Биомасса микроорганизмов в дерново-подзолистых и бурых лесных почвах составила в лесных подстилках 1,75–3,40 мг/г, в гумусовых горизонтах – 1,60–2,65 мг/г почвы; в нижних горизонтах почвенного профиля этих почв она заметно уменьшилась до 0,017–0,080 мг/г почвы.

Преимущественно были заселены микроскопическими грибами лесные подстилки и гумусовые горизонты бурых лесных почв черничных и кисличных типов леса (ПП 31, 35). В дубравах, развитых на дерново-подзолистых слабоподзоленых, песчаных и супесчаных почвенных разновидностях, подстилаемых моренными легкими суглинками и водно-ледниковыми супесями, относительно уменьшалась насыщенность лесных подстилок и гумусовых горизонтов мицелиальными организмами, но заметно возрастала обогатенность бактериальной микрофлорой этих почв в орляковой, кисличной и снытевой дубравах (ПП 32, 33, 34).

Биомасса микроскопических грибов составила основную часть микробного комплекса почв дубовых насаждений пущи (92–98 %), бактериальная часть – всего лишь 2–8 %. В сравнении с биогенной структурой почвы суммарная микробная биомасса составила 0,6–0,8 % от содержания гумуса и 5–10 % от азотсодержащего органического вещества, а также 0,02–0,05 % от массы почвы. Максимальная микробная биомасса в лесных подстилках дубовых насаждений оказалась 3,04–3,51 мг/г сухой подстилки, в минеральных горизонтах – максимум 2,06–2,75 мг/г почвы и минимум в иллювиальных горизонтах и подстилающих породах от 0,03 до 0,25 мг/г почвы.

В иллювиальных супесчаных и песчаных горизонтах почв беловежских дубрав биомасса микроскопических грибов и бактерий была сравнительно низкая вследствие слабой биологической активности почвы и низкого содержания гумуса в ней, однако встречаемость бактерий достигала определенных пределов даже в оглеенных горизонтах и подстилающих породах.

## ВЫВОДЫ

Дубравы (кисличные (с дубом скальным), орляковые, грабово-кисличные, снытевые, черничные, папоротниковые, крапивные) в условиях Беловежской пущи произрастают на различных по гранулометрическому составу, водно-физическим, химическим и микробиологическим свойствам дерново-подзолистых и бурых лесных почвах.

В зависимости от типа и гранулометрического состава почв плотность твердой фазы колебалась от 2,35 до 2,87 г/см<sup>3</sup>; величина максимальной гигроскопичности – от 0,18 до 1,42%; запас продуктивной влаги (в расчете на 1,5 м слой почвы) – от 118 до 243 мм.

Содержание органического углерода в почвах дубрав Беловежской пущи составило 20,85–36,95%, валового фосфора – 0,07–0,12%, общего азота в лесных подстилках – 1,27–1,70% при рН<sub>KCl</sub> 3,12–4,86.

Потенциальная протеолитическая активность в почвах дубрав изменялась в пределах 100-300 мг тирозина за 18 ч на 1 см<sup>3</sup>, фосфатазная активность – 25-75 мг Р за 24 ч на 1 см<sup>3</sup>, инвертазная активность – 700-2700 г глюкозы за 4 ч на 1 см<sup>3</sup>, потенциальная каталазная активность – 100-400 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> за 2 мин на 1 см<sup>3</sup>.

Лучшими водно-физическими, химическими и микробиологическими показателями характеризовались верхние горизонты исследуемых почв, в иллювиальных и подстилающих горизонтах отмечено некоторое ухудшение исследуемых свойств.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Юркевич, И.Д. География, типология и районирование лесной растительности / И.Д. Юркевич, В.С. Гельтман. – Минск: Наука и техника, 1965. – 288 с.
2. Добровольский, Г.В. Функции почв в биосфере и экосистемах / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Наука, 1990. – 260 с.
3. Добровольский, Г.В. Экологические функции почвы / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: МГУ, 1986. – 137 с.
4. Зонн, С.В. Состояние и задачи исследований по проблеме взаимоотношений между лесом и почвой / С.В. Зонн // Сб. тр. Ин-та леса АН СССР. – М., 1954. – Т. 23. – С. 6–20.
5. McFee, W.W. Jr. Quantity, distribution and Variability of Organic Matter and Nutrients in a Forest Podzol in New York / W.W. McFee, E.L. Stone // Soil Sci Soc. Am. Proc. – 1965. – Vol. 29. – P. 432–436.
6. Блинцов, И.К. Практикум по почвоведению / И.К. Блинцов, К.Л. Забелло. – Минск: Вышэйшая школа, 1979. – 207 с.
7. Практикум по агрохимии / В.Г. Минеев [и др.]; под общ. ред. В.Г. Минеева. – М.: МГУ, 2001. – 688 с.
8. Агрохимия: практикум / И.Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 368 с.
9. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д.Г. Звягинцев [и др.]; под общ. ред. Д.Г. Звягинцева. – М., 1980. – 224 с.
10. Щербакова, Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества (в естественных и искусственных фитоценозах) / Т.А. Щербакова. – Минск: Наука и техника, 1983. – 222 с.
11. Хазиев, Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. – М.: Наука, 2005. – 252 с.

## THE SOILS CONDITIONS OF THE OUK-WOODS IN BIELOVIEZSKAYA PUSCHA

Antonik M.I.

In article is of the results of research on sod-podsolic and brown forest soils of the ouk-woods in Bieloviezskaya Puscha in the granulometric composition, water-physical, microbiological, chemical and biochemical index.

## 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.8.0223:633.112.9:631.445.2

### АГРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева, О.М. Бирюкова, Е.Г. Мезенцева  
*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

#### ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных направлений, обеспечивающих экономическую безопасность и сохранение государственного суверенитета страны, является продовольственная безопасность. Безопасность в сфере продовольствия предполагает гарантированное обеспечение качественной сельскохозяйственной продукцией на основе устойчивого инновационного развития агропромышленного производства [1, 2].

Важнейшей стратегической задачей в решении продовольственной независимости любого государства является производство зерна в объемах, обеспечивающих потребность населения в продовольствии на необходимом уровне, достаточном для здорового питания, животноводства – в качественных кормах. Согласно Государственной программе устойчивого развития села, производство зерна к 2015 г. планируется довести до уровня 12 млн. тонн.

Из возделываемых в Республике Беларусь зерновых культур озимая пшеница, являясь наиболее ценной продовольственной культурой, занимает все более значимое место в обеспечении потребности республики в зерне. Посевные площади под озимой пшеницей с каждым годом увеличиваются: в 2009 г. ее возделывали на площади 327,7 тыс. га, в 2010 г. – на 342,2 тыс. га, в 2011 г. она высеяна на 377,7 тыс. га, а под урожай 2012 г. уже было отведено более 500 тыс. га. В 2011 г. в условиях Беларуси среди зерновых колосовых культур озимая пшеница обеспечила самую высокую урожайность: в среднем по республике с 1 га получено 34,7 ц зерна пшеницы.

Озимая пшеница относится к числу культур довольно требовательных к почвенному плодородию. Наиболее пригодными почвами для возделывания этой культуры являются легко- и среднесуглинистые, подстилаемые моренным и лессовидным суглинком, характеризующиеся близкой к нейтральной реакцией почвенного раствора ( $pH_{KCl}$  6,0–6,5), содержанием гумуса не менее 1,8 % и достаточным количеством элементов питания (подвижного фосфора и калия не менее 150 мг/кг почвы) [3].

Продуктивность зерна озимой пшеницы и его качество зависят от совокупности факторов: предшественника, погодных условий во время вегетации, технологии возделывания, применяемых удобрений и др. [4–9]. В комплексе агротехнических

мероприятий, способствующих получению высококачественного зерна озимой пшеницы, ведущая роль принадлежит органическим и минеральным удобрениям. Органические удобрения наибольший эффект оказывают при внесении их под культуры с продолжительным периодом вегетации (пропашные и озимые зерновые культуры), т.к., подвергаясь в почве постепенной минерализации, обеспечивают растения необходимыми элементами питания в течение всего вегетационного периода, что, в свою очередь, благоприятно влияет на величину и качество урожая.

Проблемой для сельскохозяйственных организаций республики и экологии страны в последнее время является бесподстилочный навоз, который составляет 50 % от общего количества навоза. В составе бесподстилочного навоза 20 % приходится на полужидкий навоз, для внесения которого в настоящее время в республике отсутствуют сельхозмашины. Поэтому насущной задачей является утилизация этого навоза путем компостирования с другими органическими компонентами, имеющими высокую емкость поглощения, в первую очередь, торфом. В настоящее время на сельскохозяйственные нужды добывается значительно меньшее количество торфа, чем требуется для утилизации полужидкого навоза с учетом имеющегося поголовья скота. Это обуславливает использование, наряду с торфом, таких влагопитывающих органических компонентов, как излишки соломы сельскохозяйственных культур, отход гидролизного производства (гидролизный лигнин) и др.

Цель исследований – изучить агроэкономическую эффективность органических компостов при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по изучению эффективности компостов, приготовленных на основе полужидкого навоза, торфа, лигнина, дефеката, жома и соломы, на урожайность и качество озимой пшеницы проводили в 2009–2011 гг. в стационарном полевом опыте в СПК «Щемыслица» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой, развивающейся на мощном лессовидном суглинке почве.

Почва опытного участка имела близкую к нейтральной реакцию почвенной среды ( $pH_{KCl}$  6,4–6,5), недостаточное содержание гумуса (1,51–1,64 %), высокую обеспеченность подвижными формами фосфора (364–390 мг/кг почвы) и магния (437–452 мг MgO на 1 кг почвы), характеризовалась повышенным содержанием подвижных форм калия (233–257 мг  $K_2O$  на 1 кг почвы), средней обеспеченностью обменными формами кальция (1047–1085 мг/кг почвы). Повторность вариантов в опыте четырехкратная, общая площадь делянки – 25 м<sup>2</sup>, учетная – 16 м<sup>2</sup>.

В опыте удобрения внесены согласно схеме, представленной в таблице 2. Фосфорные и калийные удобрения в полной дозе внесены осенью под предпосевную культивацию. Проведены две подкормки озимой пшеницы азотными удобрениями: первая ранней весной в начале активной вегетации (1-я декада апреля) в дозе 70 кг д.в./га и вторая в фазу начало выхода в трубку (1-я декада мая) в дозе 40 кг д.в./га. Органические удобрения внесены осенью под вспашку. Качественные показатели органических удобрений представлены в таблице 1.

В опыте возделывали озимую пшеницу Тонация. Посев озимой пшеницы проводили во второй декаде сентября сплошным рядовым способом сеялкой СПУ-4 с нормой высева 4,5 млн. всхожих семян на гектар. Глубина заделки семян – 3–4 см.

Показатели качественного состава компостов на естественную влажность  
(среднее за 2009–2010 гг.)

Показатель	Торфо-соломисто-навозный компост	Торфо-лигнино-соломисто-навозный компост	Торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозный компост	Дефекато-соломисто-навозный компост
Влажность, %	73,8	71,4	70,2	69,8
Зольность, %	6,6	7,8	12,6	12,2
Сухое вещество, %	26,2	28,6	29,8	30,2
Органическое в-во в пересч. на С, %	9,8	10,4	8,5	9,0
N, %	0,48	0,42	0,42	0,38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	0,29	0,26	0,35	0,37
K <sub>2</sub> O, %	0,45	0,39	0,42	0,5
CaO, %	0,29	0,29	4,45	4,09
MgO, %	0,09	0,08	0,18	0,16
Соотношение C:N	20	23	20	24
pH <sub>KCl</sub>	7,2	7,2	8,1	8,1

Уход за посевами озимой пшеницы включал: после сева озимой пшеницы на 5–й день проведена довсходовая обработка посевов гербицидом Кугар, КС (1 л/га) против однолетних двудольных и злаковых сорняков; осенью в фазе кущения культуры посевы были обработаны фунгицидом Фундазол, СП (0,6 кг/га) против мучнистой росы, снежной плесени и фузариозов; весной в фазу трубкования посевы озимой пшеницы дважды обработаны фунгицидом Фалькон, КЭ (0,6 л/га) против мучнистой росы, септориоза и ржавчины.

Уборку проводили комбайном Сампо–500 в фазу полной спелости зерна. Учет урожайности зерна озимой пшеницы проводили сплошным методом поделяночно.

В почвенных образцах агрохимические показатели определяли по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213–91); обменную кислотность pH<sub>KCl</sub> – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483–85); подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207–91); обменные кальций и магний – на атомно–абсорбционном спектрофотометре ААС–30 (ГОСТ 26487–85).

Химический анализ органических удобрений выполнен в соответствии с Государственными отраслевыми стандартами: определение pH в KCl – по ГОСТ 27979–88; влаги и сухого остатка – по ГОСТ 26713–85; золы – по ГОСТ 26714–85; органического вещества – по ГОСТ 27980–88; общего азота – по ГОСТ 26715–85; общего фосфора – по ГОСТ 26717–85; общего калия – по ГОСТ 26718–85; обменных кальция и магния – по ГОСТ 27894.10–88.

Химический состав образцов зерна озимой пшеницы определяли на инфракрасном спектрофотометре «Инфрапид», аминокислотный состав зерна – на жидкостном хроматографе «Agilent–1100». Для оценки биологического качества зерна использовали расчетные показатели «химического числа» и «аминокислотного сора» [10].

В образцах соломы озимой пшеницы определяли следующие показатели: общий азот, фосфор, калий из одной навески после мокрого озоления серной

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

кислотой; азот – методом Къельдаля (ГОСТ 13496.4–93); фосфор – на фото-электроколориметре (ГОСТ 26657–85); калий – на пламенном фотометре (ГОСТ 30504–97); кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрофотометре (ГОСТ 26570–95, ГОСТ 305–97).

Таблица 2

### Агрономическая эффективность компостов, внесенных под озимую пшеницу на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (среднее за 2010–2011 гг.)

Вариант	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка, ц/га			Окупаемость, кг зерна		Сборк. ед., ц/га
		к контролю	от органических удобрений	от НРК	1 т органических удобрений	1 кг НРК	
Без удобрений (контроль)	36,5	–	–	–	–	–	43,8
$N_{70+40} P_{60} K_{120}$	65,2	28,7	–	28,7	–	9,9	78,2
Торфо-соломисто-навозный компост, 30 т/га	45,7	9,2	9,2	–	30,7	–	54,8
Торфо-лигнино-соломисто-навозный компост, 30 т/га	44,9	8,4	8,4	–	28,0	–	53,9
Торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га	45,8	9,3	9,3	–	30,8	–	55,0
Дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га	44,5	8,0	8,0	–	26,7	–	53,4
Торфо-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	74,0	37,5	8,8	28,3	29,3	9,8	88,8
Торфо-лигнино-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	73,0	36,5	7,8	28,1	25,8	9,7	87,6
Торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	73,8	37,3	8,6	28,0	28,7	9,7	88,6
Дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	73,5	37,0	8,3	29,0	27,7	10,0	88,2
НСР <sub>05</sub>	2,2						2,6

Расчет баланса элементов питания и экономической эффективности выполнен согласно принятым методикам [11, 12]. Для статистической обработки экспериментального материала применяли метод дисперсионного анализа с использованием программы MS Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ урожайных данных озимой пшеницы показал, что в среднем за два года за счет плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при соблюдении всех агроприемов возделывания культуры сформировано 36,5 ц/га зерна (табл. 2).

Внесение минеральных удобрений обеспечило прибавку урожайности зерна на уровне 28,7 ц/га. Органические удобрения, внесенные под озимую пшеницу, также обеспечили достаточно высокие прибавки зерна: торфо-соломисто-навозный компост – 9,2 ц/га, торфо-лигнино-соломисто-навозный, торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозный и дефекато-соломисто-навозный компосты – 8,4, 9,3 и 8,0 ц/га зерна соответственно. При этом 1 кг NPK минеральных удобрений окупался 9,9 кг зерна, 1 т органических удобрений – 26,7–30,8 кг зерна.

Максимальная урожайность зерна озимой пшеницы получена в вариантах с органоминеральной системой удобрения и в среднем за два года была на уровне 73,0–74,0 ц/га. Прибавка зерна от внесения компостов отличалась незначительно и составила 7,7–8,8 ц/га, прибавка от внесения минеральных удобрений также была близкой во всех изучаемых вариантах – 28,1–29,0 ц/га. Окупаемость 1 т внесенных компостов при органоминеральной системе удобрения составила 25,8–29,3 кг зерна. Каждый внесенный килограмм действующего вещества минеральных удобрений обеспечил получение 9,7–10,0 кг зерна озимой пшеницы.

Влияние новых компостов на урожайность озимой пшеницы во всех опытных вариантах было аналогично влиянию торфо-соломисто-навозного компоста.

Оценивая роль отдельных факторов в формировании урожайности озимой пшеницы установлено, что при соблюдении элементов технологии возделывания культур за счет почвенного плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы сформировано 50 % урожая (рис. 1). Применение минеральных удобрений обеспечило формирование 39 % урожая, органических компостов – 11 %.

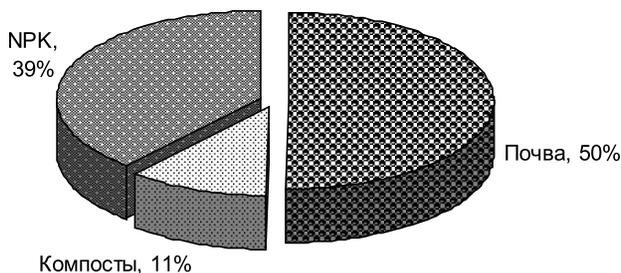


Рис. 1. Роль отдельных факторов в формировании урожайности зерна озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Анализ растительных образцов показал, что содержание фосфора и магния в зерне озимой пшеницы мало зависело от систем удобрения и характеризовалось достаточно постоянными величинами. Содержание азота в зерне озимой пшеницы было в пределах 1,90–2,10 %, фосфора – 0,74–0,77 %, калия – 0,61–0,70 %, кальция – 0,03–0,05 % и магния – 0,15 % (табл. 3).

Содержание азота в соломе озимой пшеницы было на уровне 0,64–0,72 %, фосфора – 0,42–0,44 %, калия – 1,2–1,3 %, кальция – 0,20–0,22 %, магния – 0,10 %.

Важнейшим компонентом при оценке качества зерна озимой пшеницы является содержание белка, сбор которого с единицы площади напрямую связан с урожайностью этой культуры. При возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве минимальный выход кормовых единиц (43,8 ц/га) получен в варианте без удобрений при наиболее низком сборе с 1 га переваримого протеина и кормопротеиновых единиц – 326 кг и 41,5 ц (табл. 2,4).

Таблица 3

**Содержание основных элементов питания в зерне озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, % в сухом веществе (среднее за 2010–2011 гг.)**

Вариант	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Без удобрений (контроль)	1,93	0,74	0,62	0,03	0,15
N <sub>70+40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	1,98	0,74	0,66	0,03	0,15
Торфо-соломисто-навозный компост, 30 т/га	1,90	0,77	0,61	0,03	0,15
Торфо-лигнинно-соломисто-навозный компост, 30 т/га	1,95	0,75	0,68	0,03	0,15
Торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га	1,96	0,77	0,70	0,04	0,15
Дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га	1,92	0,75	0,65	0,04	0,15
Торфо-соломисто-навозный компост, 30 т/га + N <sub>70+40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	2,08	0,76	0,70	0,03	0,15
Торфо-лигнинно-соломисто-навозный компост, 30 т/га + N <sub>70+40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	2,10	0,77	0,71	0,03	0,15
Торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га + N <sub>70+40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	2,06	0,77	0,69	0,05	0,15
Дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га + N <sub>70+40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	2,07	0,76	0,71	0,05	0,15
НСР <sub>05</sub>	0,09	0,04	0,06	0,004	0,015

Минеральные удобрения обеспечили дополнительное формирование 34,4 ц/га кормовых единиц, увеличивая сбор переваримого протеина и кормопротеиновых единиц в 1,8 раза. При этом достаточно значимых изменений в содержании сырого (12,4 %) и переваримого (10,7 %) протеина по сравнению с неудобренным вариантом (12,1 % и 10,4 % соответственно) не установлено.

При внесении торфо-лигнинно-соломисто-навозного компоста и компостов с использованием отходов свеклосахарного производства выход кормовых единиц и качественные показатели зерна озимой пшеницы были на уровне варианта с торфо-соломисто-навозным компостом. На фоне органических удобрений в среднем дополнительный сбор кормовых единиц составил 10,5 ц/га, переваримого протеина – 82 кг/га, кормопротеиновых единиц – 10,1 ц/га по сравнению с неудобренным вариантом. Под влиянием внесенных компостов содержание сырого и переваримого протеина, а также обеспеченность 1 кг корма и 1 к.ед. переваримым протеином существенно не изменялись по сравнению с вариантом без удобрений.

Зерно лучшего качества при более высоком сборе переваримого протеина, кормовых и кормопротеиновых единиц получено в вариантах, предусматривающих внесение органических и минеральных удобрений. Сбор кормовых единиц в этих вариантах превышал данный показатель неудобренного варианта в среднем на 44,5 ц/га по сравнению с минеральной и органической системами удобрения – на 10,1 и 34,0 ц/га соответственно (табл. 2). Аналогичное влияние комплексного применения органических и минеральных удобрений оказано на сбор белка и кормопротеиновых единиц. При органоминеральной системе удобрения установлено существенное увеличение содержания сырого и переваримого протеина в зерне озимой пшеницы относительно варианта без удобрений. Эти показатели

достигли в среднем 13,0 и 11,2 % соответственно при обеспеченности 1 кг корма и 1 к.ед. переваримым протеином на уровне 96 г и 80 г (табл. 4).

Таблица 4

**Влияние удобрений на показатели качества зерна озимой пшеницы при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (среднее за 2010–2011 гг.)**

Вариант	Сырой протеин	Переваримый протеин	Сбор переваримого протеина, кг/га	Сбор КПЕ, ц/га	Сп, г/кг корма	Пп, г/кг корма	Обеспеченность 1 к.ед Пп, г
	% в сухом веществе						
Без удобрений (контроль)	12,1	10,4	326	41,5	104	89	75
$N_{70+40} P_{60} K_{120}$	12,4	10,7	600	75,1	106	92	77
Торфо-соломисто-навозный компост, 30 т/га	11,9	10,3	405	51,7	102	89	74
Торфо-лигнинно-соломисто-навозный компост, 30 т/га	12,2	10,5	405	51,3	105	90	75
Торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га	12,3	10,6	418	52,5	105	91	76
Дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га	12,0	10,5	402	50,8	103	90	75
Торфо-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	13,0	11,2	713	87,2	112	96	80
Торфо-лигнинно-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	13,1	11,3	709	86,4	113	97	81
Торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	12,9	11,1	704	86,5	111	95	80
Дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	12,9	11,0	695	85,8	111	95	79
НСР <sub>05</sub>	0,57	0,51					

Применение удобрений оказывает влияние не только на содержание белка, но изменяет и его качество. Определение аминокислотного состава зерна озимой пшеницы, возделываемой на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, показало, что применяемые удобрения оказывали неодинаковое влияние на содержание незаменимых аминокислот. Минеральные удобрения в дозе 290 кг д.в./га не способствовали повышению исследуемых кислот в зерне (табл. 5).

Улучшение аминокислотного состава установлено только при комплексном внесении минеральных и органических удобрений. При этом на фоне приготовленных компостов отмечено одинаковое положительное влияние на содержание аминокислот. Органоминеральная система удобрения в среднем по опытным вариантам обеспечила увеличение лизина с 2,33 до 3,11 г/кг зерна, критических аминокислот – с 6,98 до 7,93 г/кг, незаменимых аминокислот – с 29,36 до 31,76 г/кг зерна.

Расчет биологической ценности белка по «химическому числу» был произведен на основании аминокислотного состава зерна озимой пшеницы, где каждая незаменимая аминокислота выражается в процентном отношении к содержанию

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

этой аминокислоты в белке цельного куриного яйца, и «аминокислотному скору», который аналогичен вышеизложенному методу, однако в нем в качестве идеальной аминокислотной шкалы используется шкала Всемирной организации здравоохранения и комитета по продовольствию ООН (шкала ФАО/ВОЗ). Лучшие показатели биологической ценности белка, рассчитанные по содержанию критических и незаменимых аминокислот, характерны для вариантов, предусматривающих внесение органических удобрений в сочетании с минеральными (табл. 6).

Таблица 5

**Аминокислотный состав зерна озимой пшеницы, г/кг зерна  
(среднее за 2010–2011 гг.)**

Вариант	Лизин*	Треонин*	Метионин*	Валин	Изолейцин	Лейцин	Фенилаланин	Сумма критических аминокислот*	Сумма незаменимых аминокислот
Без удобрений (контроль)	2,33	3,22	1,43	5,12	4,43	7,79	5,05	6,98	29,36
$N_{70+40} P_{60} K_{120}$	2,17	3,03	1,45	5,15	4,37	7,75	4,93	6,64	28,82
Торфо-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	3,34	3,42	1,42	5,44	4,66	8,39	5,44	8,17	32,09
Торфо-лигнинно-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	3,30	3,36	1,36	5,41	4,58	8,31	5,42	8,02	31,74
Торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	2,92	3,44	1,43	5,49	4,60	8,31	5,51	7,79	31,68
Дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	2,89	3,40	1,45	5,41	4,53	8,38	5,45	7,74	31,51

Таблица 6

**Биологическая ценность белка озимой пшеницы при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве**

Вариант	Содержание лизина, мг/г белка			Биологическая ценность белка, %			
	опыт	цельное яйцо	шкала ФАО/ВОЗ	химическое число		аминокислотный скор	
				АКкр	АКн	АКкр	АКн
Без удобрений (контроль)	22,4	71	55	43,8	69,1	58,5	89,4
$N_{70+40} P_{60} K_{120}$	20,2	71	55	40,7	65,9	54,6	85,3
Торфо-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	29,8	71	55	46,0	69,6	61,0	90,0
Торфо-лигнинно-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	29,2	71	55	44,6	68,2	59,2	88,1
Торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	26,3	71	55	44,9	69,6	59,6	90,0
Дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	26,3	71	55	45,1	69,8	60,0	90,2

Расчеты показали, что содержание лимитирующей аминокислоты лизина в исследуемом зерне в варианте без удобрений составило 41 % от рекомендованной нормы ФАО/ВОЗ. Одностороннее применение минеральных удобрений несколько снижало этот показатель. Наиболее благоприятные условия по увеличению содержания данной аминокислоты в зерне озимой пшеницы сформированы в вариантах с органическими и минеральными удобрениями. При внесении  $N_{70+40}P_{60}K_{120}$  на фоне торфо-лигнинно-соломисто-навозного и торфо-соломисто-навозного компостов содержание лизина в зерне достигло 54 % от рекомендуемого стандарта ФАО/ВОЗ, на фоне компостов с использованием отходов свеклосахарного производства – 48 %.

Содержание основных элементов питания в сельскохозяйственных культурах в зависимости от ряда факторов (погодных условий, доз органических и минеральных удобрений, обеспеченности почвы элементами питания и т.п.) может существенно изменяться. Для более объективной оценки эффективности систем удобрения рассчитан хозяйственный (общий) и удельный (нормативный) вынос элементов питания. При возделывании озимой пшеницы общий вынос элементов питания основной и побочной продукцией зависел как от их содержания в растениях, так и от ее урожайности (табл. 7). Минимальный вынос элементов питания отмечен в варианте без удобрений. Внесение минеральных удобрений увеличило общий вынос азота на 66 кг/га, фосфора – на 27, калия – на 45, кальция – на 5 и магния – на 7 кг/га. В вариантах с внесением компостов вынос кальция и магния был на уровне неудобренного варианта, вынос азота, фосфора и калия соответственно на 17 кг/га, 8 и 18 кг/га выше. Наиболее высоким уровнем хозяйственного выноса элементов питания характеризуются варианты с максимальной урожайностью – внесение  $N_{70+40}P_{60}K_{120}$  на фоне компостов. В данных вариантах вынос азота составил 169–172 кг/га, фосфора – 71–73, калия – 128–138, кальция и магния – 15–16 кг/га.

Для расчета доз удобрений под планируемую урожайность важным и достаточно стабильным показателем является удельный вынос элементов питания с 1 т основной и соответствующим количеством побочной продукции. Установлено, что в опыте с озимой пшеницей удельный вынос составил в среднем по опытным вариантам 22,5 кг азота, 9,9 кг фосфора, 17,6 кг калия, 2,1 кг кальция и 2,1 кг магния (табл. 7).

Таблица 7

**Вынос элементов питания озимой пшеницей в зависимости от применяемых удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве**

Вариант	Хозяйственный вынос, кг/га					Удельный вынос, кг/т				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Без удобрений (контроль)	82	37	61	9	8	22,5	10,2	16,7	2,4	2,2
$N_{70+40}P_{60}K_{120}$	148	64	106	14	14	22,7	9,9	16,3	2,1	2,1
Торфо-соломисто-навозный компост, 30 т/га	98	45	81	9	9	21,5	9,9	17,7	2,0	2,0
Торфо-лигнинно-соломисто-навозный компост, 30 т/га	98	44	80	9	10	21,8	9,8	17,9	2,0	2,1
Торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га	102	46	80	10	9	22,3	9,9	17,4	2,1	2,0

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Окончание табл. 7

Вариант	Хозяйственный вынос, кг/га					Удельный вынос, кг/т				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га	97	43	76	9	9	21,8	9,7	17,2	2,0	1,9
Торфо-соломисто-навозный компост, 30 т/га + N <sub>70+40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	171	72	128	16	15	23,1	9,8	17,4	2,2	2,0
Торфо-лигнинно-соломисто-навозный компост, 30 т/га + N <sub>70+40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	172	73	132	16	16	23,5	9,9	18,1	2,2	2,1
Торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га + N <sub>70+40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	170	72	138	16	16	23,1	9,8	18,6	2,1	2,1
Дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га + N <sub>70+40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	169	71	135	15	15	23,0	9,7	18,4	2,1	2,0

Для оценки эффективности применяемых удобрений под озимую пшеницу на основании полученных экспериментальных данных рассчитан хозяйственный баланс элементов питания и их реутилизация (табл. 8).

Расчеты показали, что при урожайности зерна озимой пшеницы на уровне 65 ц/га внесенные с минеральными удобрениями дозы азота и фосфора были недостаточны для обеспечения бездефицитного баланса этих элементов. Положительный баланс основных элементов питания отмечен во всех вариантах, где вносили органические удобрения.

Таблица 8

### Баланс элементов питания при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Вариант	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		CaO		MgO	
	Баланс, ±кг/га	Реутилизация, %	Баланс, ±кг/га	Реутилизация, %	Баланс, ±кг/га	Реутилизация, %	Баланс, ±кг/га	Реутилизация, %	Баланс, ±кг/га	Реутилизация, %
Без удобрений (контроль)	-82	0	-37	0	-61	0	-9	0	-8	0
N <sub>70+40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	-38	0	-4	0	14	0	-14	0	-14	0
Торфо-соломисто-навозный компост, 30 т/га	46	147	42	191	54	167	78	967	18	300
Торфо-лигнинно-соломисто-навозный компост, 30 т/га	28	129	34	178	37	146	78	967	14	240
Торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га	24	123	59	230	46	158	1325	13350	45	600

Вариант	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		CaO		MgO	
	Баланс, ±кг/га	Реутилизация, %	Баланс, ±кг/га	Реутилизация, %	Баланс, ± кг/га	Реутилизация, %	Баланс, ± кг/га	Реутилизация, %	Баланс, ± кг/га	Реутилизация, %
Дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га	17	117	68	257	74	196	1218	13633	39	533
Торфо-соломисто-навозный компост, 30 т/га + N <sub>70+40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	83	84	75	120	127	105	71	543	12	180
Торфо-лигнино-соломисто-навозный компост, 30 т/га + N <sub>70+40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	64	73	65	107	105	88	71	544	8	150
Торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га + N <sub>70+40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	66	74	93	145	108	92	1319	8344	38	338
Дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га + N <sub>70+40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	55	67	100	156	135	111	1212	8180	33	320

Реутилизация характеризует повторное использование элементов питания. Установлено, что с внесением 30 т/га компостов в почву возвращается 117–147 % азота, вынесенного с урожаем, 178–257 % фосфора, 158–196 % калия. При органо-минеральной системе удобрения эти показатели были следующими: 67–84 % азота, 107–156 % фосфора и 92–11 % калия, вынесенных с урожаем. При внесении компостов, в состав которых входит дефекат, отпадает необходимость в известковании данных участков.

Экономическая оценка различных систем применения удобрений является важным показателем, обеспечивающим рациональный, экономически оправданный подход к применению органических и минеральных удобрений. Расчет экономической эффективности применения новых компостов под озимую пшеницу (продовольственная, 3-й класс) выполнен в ценах на продукцию на 26.07.2011 г. и удобрения на 28.10.2011 г. Согласно методике, затраты на приготовление и внесение компостов под первую культуру брали из расчета 60 % от общей суммы (25 % – на 2-й год, 15 % – на 3-й год после внесения) [12].

Анализ проведенных расчетов показал, что на дерново-подзолистой легко-суглинистой почве применение минеральных удобрений в дозе N<sub>70+40</sub> P<sub>60</sub> K<sub>120</sub>

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

под озимую пшеницу способствовало получению чистого дохода на уровне 1007,3 тыс. руб., показатель рентабельности от внесения минеральных удобрений в опыте с озимой пшеницей характеризовался максимальной величиной – 80 % (табл. 9).

Таблица 9

### Экономическая эффективность удобрений при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Вариант	Эффективность применения удобрений			
	всего		органические удобрения	
	чистый доход, тыс. руб./га	рентабельность, %	чистый доход, тыс. руб./га	рентабельность, %
Без удобрений (контроль)	–	–	–	–
$N_{70+40} P_{60} K_{120}$	1007,3	80	–	–
Торфо-соломисто-навозный компост, 30 т/га	83,4	13	83,4	13
Торфо-лигнино-соломисто-навозный компост, 30 т/га	19,2	3	19,2	3
Торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га	104,5	17	104,5	17
Дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га	52,2	9	52,2	9
Торфо-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	1064,6	56	57,3	9
Торфо-лигнино-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	987,4	52	–26,4	–4
Торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	1066,2	56	58,8	9
Дефекато-соломисто-навозный компост, 30 т/га + $N_{70+40} P_{60} K_{120}$	1079,0	58	71,7	12

Одностороннее применение компостов в дозе 30 т/га при возделывании озимой пшеницы также было прибыльным, однако чистый доход был невысоким – 19,2–104,5 тыс. руб. при уровне рентабельности 3–17 %.

В вариантах с применением органоминеральной системы удобрения, где получена максимальная урожайность зерна озимой пшеницы (73,0–74,0 ц/га) с наилучшими показателями качества продукции, чистый доход от применения удобрений составил 987,4–1079,0 тыс. руб./га с рентабельностью 52–58 %. При этом чистый доход от применения компостов был на уровне 57,3–71,7 тыс. руб./га, а внесение торфо-лигнино-соломисто-навозного компоста на фоне  $N_{70+40} P_{60} K_{120}$  обеспечило небольшой убыток – 26,4 тыс. руб./га.

В целом, отмеченное преимущество минеральной системы удобрения по показателям экономической эффективности, по-видимому, связано с тем, что минеральные удобрения под культуры вносятся в оптимальных соотношениях по основным элементам питания, которые находятся в доступных для растений формах. Несмотря на более низкие показатели экономической эффективности, органическим удобрениям в современных условиях принадлежит ведущая роль в комплексной химизации земледелия, т.к. систематическое применение орга-

нических удобрений, улучшая пищевой, физико-химический и водно-воздушный режим почв, способствует также росту эффективности использования минеральных удобрений.

Оценивая показатели экономической эффективности торфо-лигнино-соломисто-навозного компоста и компостов с использованием отходов свекло-сахарного производства, можно заключить, что их приготовление и внесение в сочетании с минеральными удобрениями экономически оправданно, поскольку позволяет, с одной стороны, утилизировать полужидкий навоз и отходы производства, предотвращая загрязнение окружающей среды, с другой стороны, способствует получению дополнительного чистого дохода.

## ВЫВОДЫ

1. Торфо-лигнино-соломисто-навозный компост и компосты с использованием отходов свеклосахарного производства по влиянию на урожайность озимой пшеницы, возделываемой на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, были равноценны влиянию торфо-соломисто-навозного компоста. Прибавка урожайности при внесении компостов в дозе 30 т/га составила 8,0–9,3 ц/га зерна.

Наиболее высокая урожайность озимой пшеницы (73,0–74,0 ц/га) получена в вариантах с органоминеральной системой удобрения. Окупаемость 1 т внесенных компостов при органоминеральной системе удобрения отличалась несущественно и в среднем составила 27,9 кг зерна озимой пшеницы, 1 кг действующего вещества минеральных удобрений – 9,8 кг зерна.

2. Показатели качества зерна озимой пшеницы на фоне внесения торфо-лигнино-соломисто-навозного, торфо-жомо-дефекато-соломисто-навозного и дефекато-соломисто-навозного компостов были на уровне варианта с торфо-соломисто-навозным компостом.

Зерно лучшего качества при более высоком сборе переваримого протеина (695–713 кг/га), кормовых (87,6–88,8 ц/га) и кормопротеиновых (85,8–87,2 ц/га) единиц получено в вариантах с органоминеральной системой удобрения. Содержание сырого и переваримого протеина в зерне озимой пшеницы в этих вариантах, достигая в среднем 13,0 и 11,2 % соответственно, было существенно выше относительно варианта без удобрений.

3. Удельный вынос элементов питания с 1 т зерна озимой пшеницы и соответствующим количеством побочной продукции практически не изменялся по вариантам и составил в среднем по опыту: азот – 22,5 кг, фосфор – 9,9 кг, калий – 17,6 кг, кальций – 2,1 кг, магний – 2,1 кг.

4. Применение органических компостов способствовало положительному балансу основных элементов питания, внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{70+40} P_{60} K_{120}$  было недостаточным для обеспечения бездефицитного баланса азота и фосфора.

5. При органоминеральной системе удобрения, где получена наиболее высокая урожайность зерна озимой пшеницы, чистый доход достиг 987,4–1079,0 тыс. руб./га при рентабельности 52–58 %. В этих вариантах чистый доход от применения компостов был на уровне 57,3–71,7 тыс. руб./га, внесение торфо-лигнино-соломисто-навозного компоста было убыточным (26,4 тыс. руб./га). Одностороннее применение компостов в дозе 30 т/га при возделывании озимой

пшеницы также было прибыльным, чистый доход был невысоким – 19,2–104,5 тыс. руб. при уровне рентабельности 3–17%

### ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа устойчивого развития села на 2011–2015 годы. – Минск: ГИВЦ Минсельхозпрода, 2011. – 87 с.
2. Ильина, З.М. Продовольственная безопасность Республики Беларусь: современные тенденции / З.М. Ильина // Весці НАН Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2012. – № 4 – С. 5–15.
3. Производство озимой пшеницы / И.К. Коптик [и др.] // Современные технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов / Ин-т земледелия и селекции НАН Беларуси; под общ. ред. М.А. Кадырова. – Минск, 2005. – С. 33–41.
4. Влияние азотных удобрений на продуктивность и качество зерна озимой пшеницы на высококультурной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / В.В. Лапа [и др.] // Агрехимия. – 1998. – № 12. – С. 32–35.
5. Вахитова, Р.Р. Приемы управления формированием урожая озимой пшеницы / Р.Р. Вахитова, А.Р. Касимов, Л.С. Нижегородцев // Агрехимический вестник. – 2009. – № 5. – С. 13–15.
6. Мухаметов, Э.М. Технология производства и качества продовольственного зерна / Э.М. Мухаметов [и др.]; под ред. Э.М. Мухаметова. – Минск: Дизайн–ПРО, 1996. – 256 с.
7. Картавенкова, Л.П. Влияние сроков сева и различных технологий на урожайность озимой пшеницы в Витебской области / Л.П. Картавенкова, А.А. Счастливая // Современные технологии сельскохозяйственного производства: материалы XIV междунар. науч.-прак. конф., Гродно, 2011 г.: в 2 ч. / Мин-во сел. хоз-ва и продовольствия РБ, ГГАУ. – Гродно, 2011. – Ч. 1. – С. 74–76.
8. Матыс, И.С. Влияние сроков сева на показатели качества зерна сортов озимой пшеницы / И.С. Матыс, А.А. Пугач, В.И. Кочурко // Актуальные проблемы и пути их решения: материалы междунар. науч.-прак. конф., посвящ. деятельности проф. И.А. Стебута, Горки, 16–18 янв. 2005 г. / БГСХА; редкол.: А.Р. Цыганов (гл. ред.) [и др.]. – Горки, 2005. – Вып. 1, ч. 1: Биологические основы адаптивного растениеводства. – С. 83–86.
9. Голуб, И.А. Научные основы формирования высоких урожаев озимых зерновых культур в Беларуси / И.А. Голуб. – Минск: Ураджай, 1996. – 196 с.
10. Рекомендации по определению биологической ценности белка сельскохозяйственных культур / И.М. Богдевич [и др.]; НАН Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии; под ред. И.М. Богдевича. – Минск, 2005. – 14 с.
11. Методика расчета элементов питания в земледелии Республики Беларусь / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. – 24 с.
12. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И.М. Богдевич [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 24 с.

## **AGROECONOMIC EFFICIENCY OF ORGANIC FERTILIZERS AT WINTER WHEAT CULTIVATION ON SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL**

**T.M. Seraya, E.N. Bogatyrova, O.M. Biryukova, E.G. Mezentsava**

Comparative efficiency of application of new and traditional composts at winter wheat cultivation on sod-podsolic light loamy soil has been studied. The highest productivity of grain of winter wheat (73,0–74,0 t/ha) with the best indexes of quality and profitability of fertilizers application 52–58 % is received in variants with organic-mineral fertilizer system.

*Поступила 28 ноября 2012 г.*

УДК 631.86:633.853.494:631.445.2

## **ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОГО РАПСА НА ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ**

**О.М. Бирюкова**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

В условиях Республики Беларусь рапс является одним из главных источников сырья для производства пищевого растительного масла, биотоплива, жмыхов и шротов, служащих высокобелковой добавкой к комбикормам. По пищевой и кормовой ценности рапс превосходит многие сельскохозяйственные культуры. В семенах рапса содержится 20–33 % сырого протеина и 40–48 % жира [1]. Важными задачами, стоящими в настоящее время перед сельским хозяйством, являются увеличение объемов производства растительного масла, потребность в котором составляет более 120 тыс. тонн, и обеспечение животноводства высокобелковыми кормами собственного производства [2]. По данным Цытрон Г.С. с соавторами [3], для возделывания рапса пригодны 41,9 % пахотных земель республики. Однако учитывая, что рапс может возвращаться на то же место через 6 лет, ежегодно можно занимать под рапс не более 7 % посевных площадей, или 350 тыс. га.

В основном яровой рапс является страховой культурой, которая высевается после гибели озимого рапса. Соответственно посевные площади ярового рапса зависят от перезимовки озимого рапса и составляли по республике в 2009 г. – 22,9 тыс. га, в 2010 г. – 62,7, в 2011 г. – 87,9 тыс. га. Урожайность этой культуры в сельскохозяйственных организациях республики по-прежнему остается низкой: 9,1 ц/га – в 2008 г., 9,3 ц/га – в 2009, 8,6 ц/га – в 2010 г. Одним из основных резервов увеличения продуктивности семян ярового рапса является оптимизация системы применения удобрений в зависимости от гранулометрического состава почв и их агрохимической характеристики. Как и все крестоцветные культуры, рапс

испытывает довольно высокую потребность в элементах питания. Плодородие дерново-подзолистой почвы не может в полной мере удовлетворить потребности рапса, поэтому для получения высоких урожаев вносить удобрения необходимо даже на почвах с высокими агрохимическими показателями. Яровой рапс хорошо отзывается на последствие органических удобрений. Органические удобрения, как правило, под яровой рапс не вносят [4]. Последствие органических удобрений на урожайность следующих культур зависит от ряда факторов: вида удобрения, гранулометрического состава почвы, отзывчивости первой культуры, климатических условий – и может продолжаться от 2–3 до 7–8 лет и более. В основном изучено влияние в последствии таких традиционных видов органических удобрений, как подстилочный и жидкий навоз КРС, свиной навоз и птичий помет. Однако в последнее время в республике построены и строятся биогазовые установки, отходы которых требуют изучения их действия и последствия на урожайность сельскохозяйственных культур, применяются сапропели, возникает много дискуссионных вопросов по применению вермикомпостов. Поэтому научно-практический интерес представляет установление зависимости продолжительности и эффекта последствия новых видов органических удобрений.

Цель исследований – изучить сравнительную эффективность последствия различных видов органических удобрений при возделывании ярового рапса в звене севооборота кукуруза на з.м. – яровой рапс – озимое тритикале на дерново-подзолистой супесчаной почве.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые исследования по изучению последствия органических удобрений на продуктивность ярового рапса проводили в ГП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района Минской области на дерново-подзолистой оглеенной внизу супесчаной почве, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 80 см моренным суглинком. Опыт заложен в 2010 г. Исследования проводятся в звене севооборота кукуруза – яровой рапс – озимое тритикале. Опыт развернут в двух полях, в четырехкратной повторности вариантов. Общая площадь делянки – 20 м<sup>2</sup> (4×5). Всего в опыте 21 вариант. Исследуемая почва перед закладкой опыта характеризовалась следующими агрохимическими показателями: рН<sub>KCl</sub> 5,5–5,6; содержание гумуса – 2,21–2,41 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,2 М HCl) – 155–205 мг/кг; K<sub>2</sub>O (0,2 М HCl) – 227–246 мг/кг почвы.

Фосфорные и калийные удобрения в виде аммонизированного суперфосфата и хлористого калия вносили весной под предпосевную культивацию, азотные – в виде карбамида под предпосевную культивацию и в подкормку в фазу стеблевания. Схема опыта представлена в таблице 1. Органические удобрения внесены под первую культуру севооборота – кукурузу. В вариантах 20 и 21 органические удобрения, получаемые на выходе биогазовой установки в РУП «ППЗ «Белорусский» Минского района, внесены под рапс.

Дозы торфо–жомо–дефекато–соломисто–навозного (ТЖДСНК) и торфо–лигнино–соломисто–навозного (ТЛСНК) компостов и сапропелей были выровнены по азоту, внесенному с подстилочным навозом КРС. Дозы подстилочного куриного помета, жидкого навоза КРС, органических удобрений (ОУ), получаемых на выходе биогазовой установки, эквивалентны по азоту, внесенному с минераль-

ными удобрениями. Также изучаются двойные дозы этих органических удобрений. Возделывали яровой рапс Антей. Экономическая эффективность рассчитана по уровню цен на 2012 г., все затраты на органические удобрения, за исключением вариантов 21 и 22, отнесены на кукурузу.

Агротехника возделывания рапса – общепринятая для Республики Беларусь [5]. Дисперсионный анализ экспериментальных данных выполняли согласно методике полевого опыта Б.А. Доспехова (1985) с использованием компьютерной программы MS Excel.

В почвенных образцах определяли основные агрохимические показатели по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213–91); обменную кислотность  $pH_{\text{KCl}}$  – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483–85); подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207–91).

Метеорологические условия в период возделывания ярового рапса различались по годам. Вегетационный период 2011 г. характеризовался более благоприятными гидротермическими условиями, несмотря на неравномерное выпадение осадков в первой половине вегетации. ГТК за вегетационный период составил 1,5. В 2012 г. наблюдалось избыточное увлажнение на фоне высокой температуры в середине вегетации, что стимулировало развитие вредителей и, в конечном итоге, несколько снизило урожайность семян в сравнении с 2011 г. ГТК за вегетационный период в 2011 г. составил 1,8.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Неоднозначное влияние на урожайность ярового рапса оказали погодные условия в период вегетации. В связи с тем, что метеорологические условия 2011 г. были более благоприятными для возделывания ярового рапса, урожайность этой культуры в среднем по опыту на 2,9 ц/га была выше, чем в 2012 г. Однако, общие тенденции влияния последствий разных видов и доз органических удобрений, внесенных под предшественник, были близкими.

За счет плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы при соблюдении всех элементов технологии возделывания ярового рапса в среднем за два года получено семян 9,4 ц/га, что на 1 балло–гектар составило 29 кг. Внесение минеральных удобрений способствовало дополнительному сбору 10,4 ц/га семян при окупаемости 1 кг NPK 3,6 кг семян рапса (табл. 1). Большой эффект минеральные удобрения оказали в погодных условиях 2011 г.: прибавка урожайности от внесения минеральных удобрений была на 5,1 ц/га выше, чем в 2012 г.

Твердые виды органических удобрений обладают значительным последствием, так как часть элементов питания становится доступна для растений только после минерализации органического вещества [6, 7]. Наши исследования подтвердили положительное влияние последствий твердых видов органических удобрений на урожайность семян ярового рапса. При этом установлено, что влияние изучаемых компостов было на уровне влияния подстилочного навоза КРС и прибавка семян составила 4,3–5,6 ц/га. Максимальная прибавка урожайности семян рапса от последствий органических удобрений (7,7 ц/га) получена в варианте, где внесен подстилочный куриный помет в дозе 30 т/га. В последние годы возникает много вопросов по дозам внесения и влиянию действия и последствий вермикомпостов на урожайность сельскохозяйственных культур.

Таблица 1

**Влияние последействия органических удобрений на урожайность семян ярового рапса на дерново-подзолистой супесчаной почве**

№ п/п	Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка, ц/га	
		2011 г.	2012 г.	сред-нее	от орг. уд.	от НРК
1	Без удобрений (контроль)	9,7	9,1	9,4	–	–
2	N110P60K120	22,3	17,2	19,8	–	10,4
3	Подстилочный навоз КРС, 60 т/га*	16,5	13,4	15,0	5,6	–
4	Подстилочный навоз КРС, 60 т/га + N110P60K120	24,3	20,6	22,5	2,7	7,5
5	ТЛСНК, 60 т/га	15,4	12,0	13,7	4,3	–
6	ТЛСНК, 60 т/га + N110P60K120	25,7	19,6	22,7	2,9	9,0
7	ТЖДСНК, 60 т/га	16,4	12,3	14,4	5,0	–
8	ТЖДСНК, 60 т/га + N110P60K120	25,5	20,3	22,9	3,1	8,5
9	Сапропель кремнеземистый, 45 т/га + N110P60K120	25,3	19,6	22,5	2,7	–
10	Сапропель органо–известковистый, 40 т/га + N110P60K120	22,5	18,9	20,7	0,9	–
11	Вермикомпост, 15 т/га	16,7	16,4	16,6	7,2	–
12	Вермикомпост, 5 т/га + N110P60K120	22,4	19,5	21,0	1,2	–
13	Вермикомпост, 15 т/га + N110P60K120	25,4	22,0	23,7	3,9	7,1
14	Жидкий навоз КРС, 75 т/га	10,8	9,9	10,4	1,0	–
15	Жидкий навоз КРС, 150 т/га	13,2	11,9	12,6	3,2	–
16	Подстилочный куриный помет, 15 т/га	12,3	14,8	13,6	4,2	–
17	Подстилочный куриный помет, 30 т/га	15,8	18,4	17,1	7,7	–
18	ОУ, с биогазовой установки, 30 т/га	12,4	8,7	10,6	1,2	–
19	ОУ, с биогазовой установки, 60 т/га	15,3	9,2	12,3	2,9	–
20	ОУ, с биогазовой установки, 20 т/га**	21,5	17,5	19,5	10,1	–
21	ОУ, с биогазовой установки, 40 т/га	23,9	20,5	22,2	12,8	–
	НСР <sub>05</sub>	1,9	1,8	1,3		

Примечание: \* – в вариантах 3–19 изучали последействие органических удобрений;

\*\* – в вариантах 20–21 – прямое действие на фоне последействия.

В результате проведенных исследований установлено, что вермикомпост в дозе 15 т/га оказал существенное влияние в последействии, обеспечив дополнительный сбор семян рапса 7,2 ц/га при органической системе удобрения и 3,9 ц/га при органоминеральной. Доза вермикомпоста 5 т/га в последействии не оказала достоверного влияния на урожайность семян рапса.

Большая часть элементов питания в жидких органических удобрениях находится в доступных для растений формах, поэтому они обладают значительно меньшим последействием, чем твердые виды органических удобрений. В опыте установлено, что последействие жидкого навоза КРС в дозах 75 т/га и 30 т/га органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, не оказало достоверного влияния на урожайность семян рапса. Последействие двойных доз этих удобрений обеспечило повышение урожайности семян на 3,2 и 2,9 ц/га соответственно.

В вариантах 20 и 21, где органические удобрения, получаемые на выходе биогазовой установки, внесены непосредственно под яровой рапс, прибавка урожай-

ности семян составила 10,1 ц/га при дозе внесения 20 т/га и 12,8 ц/га при дозе 40 т/га. Таким образом, прибавка от прямого действия органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, внесенных в дозе 20 т/га, эквивалентна прибавке от минеральных удобрений (вар. 2).

Максимальная урожайность семян рапса получена в вариантах с внесением минеральных удобрений на фоне последствия органических (подстилочного навоза КРС, компостов, сапропеля кремнеземистого и 15 т/га вермикомпоста) и в среднем за 2 года составила 22,5–23,7 ц/га. За счет минеральных удобрений в данных вариантах получено семян 7,1–9,0 ц/га при окупаемости 1 кг НРК 2,5–3,1 кг семян. Аналогичную урожайность (22,2 ц/га) обеспечило внесение 40 т/га органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, при окупаемости 1 т удобрения 32 кг семян рапса.

Оценка экономической эффективности показала, что по ценам на минеральные удобрения и семена рапса, действующим в 2012 г., применение минеральных удобрений под яровой рапс было высокорентабельным приемом (табл. 2). Минеральная система удобрения (N110P60K120) способствовала получению чистого дохода в размере 1136,3 тыс. руб/га при рентабельности 62 %. В связи с тем, что разные виды органических удобрений имели разное последствие, все затраты на органические удобрения отнесены на кукурузу, т.е. культуру, под которую они были внесены.

Таблица 2

**Экономическая эффективность применения удобрений при возделывании ярового рапса**

Вариант	Прибавка урожайности к контролю, ц/га	Стоимость прибавки	Общие затраты	Чистый доход	Рентабельность, %
		тыс. руб./га			
Без удобрений (контроль)	–	–	–	–	–
N110P60K120	10,4	2977,2	1840,8	1136,3	62
Подстилочный навоз КРС, 60 т/га + N110P60K120	13,1	3752,7	1959,9	1792,9	91
ТЛСНК, 60 т/га + N110P60K120	13,3	3821,2	1970,4	1850,8	94
ТЖДСНК, 60 т/га + N110P60K120	13,5	3885,4	1980,2	1905,2	96
Сапропель кремнеземистый, 45 т/га + N110P60K120	13,1	3759,5	1960,9	1371,8	73
Сапропель органо-известковистый, 40 т/га + N110P60K120	11,3	3255,3	1883,5	1798,6	92
Вермикомпост, 5 т/га + N110P60K120	11,6	3324,7	1894,2	1430,5	76
Вермикомпост, 15 т/га + N110P60K120	14,3	4130,9	2017,9	2113,0	105
ОУ, с биогазовой установки, 20 т/га*	10,1	2908,8	1006,4	1902,4	189
ОУ, с биогазовой установки, 40 т/га*	12,8	3686,4	1685,8	2000,6	119

Примечание: экономическая эффективность рассчитана по уровню цен на 2012 г.; все затраты на органические удобрения, которые внесены под кукурузу, отнесены на кукурузу; \* – органические удобрения внесены непосредственно под яровой рапс.

Внесение под яровой рапс органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, наряду с высокой агрономической эффективностью, обладало высокой рентабельностью (189–119 %) и обеспечило получение чистого дохода на уровне 1902,4–2000,6 тыс. руб./га (табл. 2).

### ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистой супесчаной почве при возделывании ярового рапса в звене севооборота кукуруза на з.м. – яровой рапс – озимое тритикале максимальная урожайность семян рапса 22,5–23,7 ц/га получена в вариантах с органоминеральной системой удобрения (на фоне последействия подстилочного навоза КРС, компостов, сапропеля кремнеземистого и 15 т/га вермикомпоста). Аналогичную урожайность (22,2 ц/га) обеспечило внесение под рапс органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, в дозе 40 т/га.

2. За счет последействия (1–й год) подстилочного навоза КРС и компостов получено 4,3–5,6 ц/га семян рапса. Более эффективными в последействии были вермикомпост в дозе 15 т/га и подстилочный куриный помет в дозе 30 т/га: прибавка урожайности семян составила 7,2 и 7,7 ц/га. Не оказало существенного влияния на урожайность семян рапса последействие жидкого навоза КРС в дозе 75 т/га и органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, в дозе 30 т/га. Последействие двойных доз этих удобрений способствовало увеличению урожайности семян рапса на 3,2 и 2,9 ц/га соответственно.

3. В вариантах с органоминеральной системой удобрения чистый доход от применения удобрений составил 1371,8–2113,0 тыс. руб./га при рентабельности 73–105 %. Применение N110P60K120 под яровой рапс обеспечило получение чистого дохода в размере 1136,3 тыс. руб./га при минеральной системе удобрения и 363,3–798,4 тыс. руб./га – на фоне последействия органических удобрений. Использование органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, работающей на курином помете, под яровой рапс было высокорентабельным (119–189 %) приемом и обеспечило получение чистого дохода в зависимости от дозы на уровне 1902,4–2000,6 тыс. руб./га.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лапа, В.В. Применение удобрений и качество урожая / В.В. Лапа, В.Н. Босак. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии НАН РБ, 2006. – 120 с.
2. Пилюк, Я.К. Рапс требует внимания / Я.К. Пилюк // Наше сельское хозяйство. – 2011. – № 4. – С. 81–90.
3. Пригодность почв Республики Беларусь для возделывания отдельных сельскохозяйственных культур: рекомендации / В.В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – 64 с.
4. Жолик, Г.А. Возделывание и переработка масличных культур в Республике Беларусь / Г.А. Жолик, О.С. Ключкова // Белорусская сельскохозяйственная академия. – Горки, 1997. – 56 с.
5. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов / Ин-т аграрной экономики

НАН Беларуси; рук. разработ. В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Белорус. наука, 2005. – С. 270–281.

6. Ефремов, Р.Ф. Изучение роли органического вещества навоза в повышении плодородия дерново-подзолистых почв / Р.Ф. Ефремов // Результаты исследования органического вещества почвы в длительных опытах с удобрениями стран СНГ (проект EuroSomnet). – М.: ВИУА, 2000. – С. 33–43.

7. Жуков, Ю.П. Баланс питательных веществ как прогнозно-экологический показатель плодородия почв и продуктивности культур / Ю.П. Жуков // Агрохимия. – 1967. – № 7. – С. 35–45.

## **THE INFLUENCE OF ORGANIC FERTILIZERS AFTEREFFECT ON THE SPRING RAPE YIELD ON SOD-PODZOLIC LOAMY SAND SOIL**

**O.M. Biryukova**

The influence of organic fertilizers different types and doses aftereffect (1 year) on the spring rape seeds productivity on sod-podzolic sandy loam soil is studied. The best rape seeds yield obtained in variants with organic-mineral fertilizer – 22,5–23,7 c/ha. Organic fertilizers application under rapeseed produced at the output of biogas installation, at a dose of 40 t/ha, provided a similar yield (22,2 c/ha). Due to the aftereffect of bedding manure and compost obtained 4,3–5,6 kg/ha of rapeseed. Net income from the fertilizers use was 1371,8–2113,0 rubles/ha with 73–105 % return. The use of organic fertilizers produced at the output of the biogas plant was highly profitable (119–189 %).

*Поступила 4 декабря 2012 г.*

УДК 633.853.494:631.8:631.445.24

## **ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОГО РАПСА И ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ**

**В.В. Лапа, М.С. Лопух, О.Г. Кулеш, М.М. Ломонос, Е.И. Шпока**  
*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В мировом сельском хозяйстве рапс занимает прочные позиции как одна из основных масличных культур. В семенах рапса содержится около 40-50 % жира и более 20 % белка. В настоящее время для Беларуси рапс – это пищевое масло, белок и отличный предшественник для зерновых [1].

Рапс относится к азотофильным культурам [1, 2]. Азот влияет, прежде всего, на белковый обмен, а также на все процессы обмена веществ в растении. При его недостатке в растениях сокращается синтез белков, ограничивается образование

новых клеток, замедляется вегетативный рост. Растения рапса, недостаточно обеспеченные азотом, рано переходят в репродуктивную фазу и значительно уступают по урожаю наземной массы. В то же время избыточное питание азотом отрицательно сказывается на устойчивости растений к болезням, вредителям, засухе. Оптимальное фосфорное питание повышает урожай рапса и улучшает его качество. Рапс требует намного больше фосфора, чем зерновые (10 ц семян рапса выносят из почвы 30 кг  $P_2O_5$ ). Калий – один из основных элементов питания рапса. В отличие от азота и фосфора, калий больше содержится в вегетативных органах, чем в семенах рапса. Содержание калия в пожнивных и корневых остатках у ярового рапса в 8–9 раз превышает его вынос с семенами [2]. Полноценное калиевое питание увеличивает урожайность рапса на 2–3 ц/га, а также содержание масла в семенах [3].

Как любая высокопродуктивная культура, рапс предъявляет высокие требования к плодородию почвы и запасу питательных веществ в ней [1, 2]. Лучшими почвами для его возделывания являются дерново-подзолистые суглинистые и супесчаные на морене [5].

Для обеспечения высокой продуктивности семян ярового рапса необходимо соблюдение и усовершенствование технологии возделывания культуры, одним из элементов которой является научно обоснованная система удобрения. В связи с этим цель наших исследований – определить наиболее эффективную систему удобрения ярового рапса, обеспечивающую получение планируемой урожайности и сохранение почвенного плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по изучению влияния различных систем применения удобрений на продуктивность ярового рапса проводили в длительном стационарном полевом опыте в СПК «Щемяслица» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощном лессовидном суглинке. Агрохимическая характеристика пахотного горизонта:  $pH_{KCl}$  5,8–6,0, содержание  $P_2O_5$  – 400–420,  $K_2O$  – 300–320 мг/кг почвы, гумуса – 1,8–2,0 %.

Полевой опыт был заложен в трех полях (2006–2012 гг.) в зернотравяном севообороте со следующим чередованием культур: пелюшко-овсяная смесь на зеленую массу – озимое тритикале + клевер – клевер луговой 1 года – яровая пшеница – яровой рапс. Общая площадь делянки – 69 м<sup>2</sup> (11,5 × 6 м), учетная – 45 м<sup>2</sup> (10 × 4,5 м), повторность вариантов в опыте – 4 кратная. Схемой опыта предусмотрено внесение трех доз азота на фоне различных уровней фосфорно-калийного питания: только за счет почвенного плодородия, на дефицитный и поддерживающий баланс фосфора и калия в почве. Органические удобрения вносили фоном в дозе 40 т/га под пелюшко-овсяную смесь из расчета их действия и последствия на следующую культуру севооборота – озимое тритикале. Уровень органических удобрений в севообороте (8 т/га севооборотной площади) исходил из реального применения органических удобрений в производстве. Минеральные удобрения (мочевина, аммофос и хлористый калий) вносили перед посевом с заделкой культиватором.

В 2010–2011 гг. возделывали яровой рапс. Технология возделывания – общепринятая для РБ [4]. Уход за посевами включал: обработку гербицидом бутизан

стар, 2 л/га, трехкратную обработку инсектицидом децис экстра, 0,06 л/га, обработку фунгицидом прозаро, 0,8 л/га.

Уборку проводили комбайном Сампо–500 в фазу полной спелости зерна. Урожай учитывали поделаячно. Данные урожайности зерна приводили к 9 % влажности, соломы – к 16 %.

В отобранных растительных образцах после мокрого озоления по методу ЦИ-НАО (1976) определяли:

- ▶ на фотокolorиметре – содержание общего азота (индофенольным методом) и фосфора (ванадо-молибдатным методом);
- ▶ на пламенном фотометре – содержание калия;
- ▶ на атомно-адсорбционном спектрофотометре – содержание кальция и магния.

Для расчета общего и удельного выноса использовали общепринятые формулы:

1) общий (хозяйственный) вынос, кг/га:

$$B_{\text{общ}} = Y_{\text{co}} C_o + Y_{\text{cn}} C_n, \quad (1)$$

где  $Y_{\text{co}}$  и  $Y_{\text{cn}}$  – урожайность сухого вещества основной и побочной продукции, ц/га;  $C_o$  и  $C_n$  – содержание элементов питания в сухом веществе основной и побочной продукции, %;

2) удельный (нормативный) вынос, кг (с 10 ц основной и соответствующим количеством побочной продукции):

$$B_y = \frac{B_{\text{общ}} \times 10}{Y_{\text{осн}}}, \quad (2)$$

где  $Y_{\text{осн}}$  – урожайность основной продукции при стандартной влажности, ц/га [5].

В период проведения опытов метеорологические условия существенно различались по температурному режиму и количеству выпавших осадков. В первой половине вегетационного периода 2010 г. развитие ярового рапса происходило в условиях повышенных температур и недостаточного увлажнения, что негативно сказалось на развитии растений и на формировании продуктивной части. Созревание рапса осуществлялось при аномально высоких температурах воздуха. В 2011 г. в период стеблевания и бутонизации растений, когда особенно необходима влага для формирования урожая рапса, отмечались засушливые условия. Увеличение количества осадков в критический период (цветение – созревание) благоприятно повлияло на продуктивность ярового рапса.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании результатов двухлетних исследований (2010–2011 гг.) отмечено достоверное повышение семенной продуктивности ярового рапса при улучшении условий минерального питания (табл. 1). Если в варианте без удобрений урожайность семян рапса составила 16,6 ц/га, то в варианте с внесением N90P60K120 – 28,2 ц/га.

Погодные условия 2011 г. по сравнению с 2010 г. обеспечили более высокую продуктивность семян рапса при возделывании его на всех вариантах фона 1 и при внесении N30 и N60 на фоне 2. Эффективность более высоких доз удобрений была примерно одинаковой в 2010 и 2011 гг.

## Влияние удобрений на урожайность ярового рапса Янтарь, 2010–2011 гг.

Вариант	Семена, ц/га			Прибавка к контролю, ц/га	Окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений, кг семян
	2010 г	2011 г.	Ш		
Без удобрений	15,1	18,1	16,6	–	–
Послед. навоза, 40 т/га – фон 1	17,2	22,5	19,9	3,3	–
Фон 1 + N30	19,8	24,2	22,0	5,4	7,0
Фон 1 + N60	21,9	25,4	23,7	7,1	6,3
Фон 1 + N90	24,5	26,3	25,4	8,8	6,1
Фон 1 + N60P30	22,2	24,3	23,3	6,7	3,7
Фон 1 + N60K60	22,4	25,0	23,7	7,1	3,2
Фон 1 + P30K60 – фон 2	20,2	24,5	22,4	5,8	2,7
Фон 2 + N30	23,1	25,3	24,2	7,6	3,6
Фон 2 + N60	25,2	26,6	25,9	9,3	4,0
Фон 2 + N90	27,2	25,9	26,6	10,0	3,7
Фон 1 + P60K120– фон 3	22,4	24,7	23,6	7,0	2,0
Фон 3 + N30	24,2	25,7	25,0	8,4	2,4
Фон 3 + N60	26,2	26,2	26,2	9,6	2,6
Фон 3 + N90	28,4	28,0	28,2	11,6	3,2
Фон 3 + N60+30	27,0	27,6	27,3	10,7	2,7
Фон 3 + N90+30	27,4	26,0	26,7	10,1	2,2
НСР <sub>0,05</sub>	1,8	1,8	1,3		

Возрастающие дозы азота в наших исследованиях обеспечили прибавку урожая 1,4–5,5 ц/га (рис. 1). Эффективность эквивалентных доз азотных удобрений на фоне применения P60K120 была несколько ниже, чем при внесении P30K60 и без использования фосфора и калия. Самые высокие (4,2–5,5 ц/га) прибавки семян рапса в диапазоне изучаемых доз азотных удобрений на всех фонах обеспечило внесение N90.

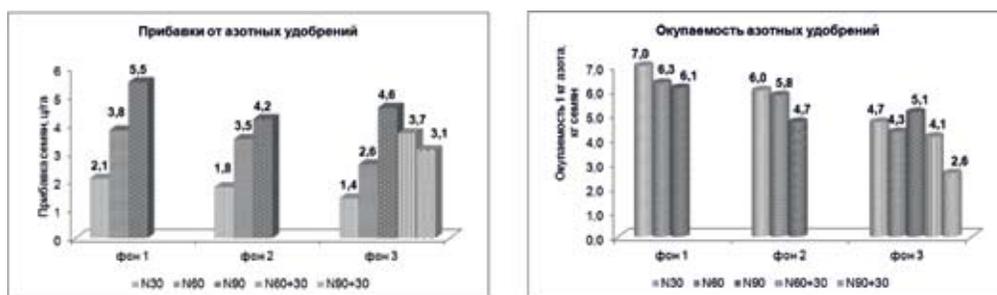


Рис. 1. Эффективность применения азотных удобрений под яровой рапс

Исследованиями немецких ученых установлено, что за счет запасов фосфора в почве рапс на 70–80 % обеспечивает себя этим элементом. Благодаря развитой корневой системе он хорошо усваивает труднодоступный фосфор [2]. Несмотря на это, фосфорные и калийные удобрения в наших исследованиях оказали положительное действие на урожайность семян рапса. Применение в предпосевную культивацию фосфорных и калийных удобрений в дозах P30K60 повышало уро-

жайность рапса на 2,5 ц/га по сравнению с фоном 1. Увеличение доз фосфора и калия до P60K120 обеспечило дополнительный сбор семян 1,2 ц/га.

Максимальная (28,2 ц/га) урожайность семян ярового рапса получена в варианте с внесением под предпосевную культивацию N90P60K120. Дальнейшее увеличение дозы азота до 120 кг/га д.в. не только не повышало урожайность рапса, но и снижало ее на 1,5 ц/га. Дробное внесение 90 кг/га азота также не имело преимуществ перед разовым внесением той же дозы.

Окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений в зависимости от системы удобрения находилась в пределах 2,0–7,0 кг семян. При дозе азота N90 на фоне внесения фосфора и калия она составила 3,2–3,7 кг семян ярового рапса.

Содержание основных элементов питания в семенах рапса также является важным показателем, характеризующим условия питания (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние удобрений на содержание основных элементов питания в семенах и соломе ярового рапса на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, среднее за 2010–2011 гг.**

Вариант	Содержание элементов питания, % в сухом веществе									
	Семена					Солома				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Без удобрений	3,49	1,86	0,90	0,35	0,53	0,51	0,20	2,04	1,12	0,20
Навоз, 40 т/га – фон 1	3,59	1,90	0,92	0,34	0,54	0,50	0,19	2,22	1,07	0,20
Фон 1 + N30	3,54	1,82	0,90	0,36	0,53	0,52	0,19	2,26	1,10	0,18
Фон 1 + N60	3,60	1,86	0,93	0,36	0,54	0,68	0,25	2,35	1,15	0,21
Фон 1 + N90	3,63	1,86	0,92	0,36	0,54	0,68	0,23	2,32	1,08	0,19
Фон 1 + N60P30	3,59	1,90	0,93	0,34	0,54	0,63	0,26	2,33	1,00	0,18
Фон 1 + N60K60	3,56	1,84	0,92	0,35	0,54	0,61	0,23	2,45	1,02	0,17
Навоз + P30K60 – фон 2	3,45	1,86	0,93	0,35	0,54	0,51	0,23	2,56	1,05	0,17
Фон 2 + N30	3,55	1,87	0,92	0,35	0,54	0,56	0,22	2,45	1,01	0,19
Фон 2 + N60	3,55	1,89	0,94	0,37	0,55	0,59	0,22	2,44	0,98	0,19
Фон 2 + N90	3,57	1,90	0,94	0,36	0,55	0,65	0,24	2,51	1,02	0,18
Навоз + P60K120– фон 3	3,46	1,91	0,93	0,37	0,55	0,49	0,22	2,69	1,06	0,17
Фон 3 + N30	3,52	1,91	0,94	0,36	0,55	0,50	0,21	2,72	1,01	0,17
Фон 3 + N60	3,66	1,90	0,95	0,36	0,54	0,60	0,25	2,81	0,91	0,17
Фон 3 + N90	3,74	1,91	0,97	0,35	0,54	0,71	0,29	2,93	1,02	0,18
Фон 3 + N60+30	3,75	1,91	0,95	0,35	0,54	0,74	0,27	2,99	0,98	0,19
Фон 3 + N90+30	3,76	1,86	0,96	0,36	0,54	0,76	0,25	3,05	1,03	0,19
НСР <sub>0,05</sub>	–	–	–	–	–	0,12	–	0,23	–	–

Семена ярового рапса характеризуются высоким (3,46–3,76 %) содержанием в них азота. В соломе рапса в среднем за два года содержание данного элемента составило 0,49–0,76 %. При внесении азотных удобрений наблюдалась тенденция повышения содержания азота в основной и побочной продукции.

Содержание фосфора в рапсе характеризовалось большей стабильностью, вероятно, из-за того, что рапс способен использовать труднодоступный для большинства растений фосфор. В среднем за два года содержание фосфора в семенах находилось в пределах 1,82–1,91 %, в соломе – 0,19–0,29 %.

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Содержание калия в семенах ярового рапса не зависело от системы удобрения и составило 0,90–0,97 %. В соломе содержание данного элемента было значительно выше – 2,04–3,05 %. На содержание калия в соломе ярового рапса наряду с калийными удобрениями оказали влияние также азотные удобрения. Действие азота на накопление калия в соломе ярового рапса наблюдалось на фоне Р60К120. Внесение 90 и более кг/га азота повышало содержание калия на 0,25–0,36 %.

Применение макроудобрений не влияло на накопление кальция и магния в растениях рапса. В соломе ярового рапса накапливается больше кальция (0,92–1,15 %), чем в семенах (0,34–0,37 %). Содержание магния в семенах ярового рапса составило 0,53–0,56 %, в соломе – 0,17–0,21 %.

Расчеты общего выноса основных элементов питания показали, что яровой рапс выносит большее количество азота (59,1–124,5 кг/га) и калия (47,5–162,2 кг/га) и меньшее количество фосфора (30,3–60,7 кг/га), кальция (23,3–56,0 кг/га) и магния (10,9–22,0 кг/га) (табл. 3).

Таблица 3

### Влияние удобрений на вынос основных элементов питания яровым рапсом на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, среднее за 2010–2011 гг.

Вариант	Общий вынос, кг/га					Удельный вынос, кг/т				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Без удобрений	59,1	30,3	47,5	23,3	10,9	35,9	18,3	28,2	13,8	6,6
Навоз, 40 т/га – фон 1	75,6	38,4	78,8	35,4	14,5	38,6	19,4	38,8	17,6	7,4
Фон 1 + N30	84,9	41,5	93,1	43,3	16,1	39,0	18,9	41,6	19,4	7,3
Фон 1 + N60	98,9	47,3	102,0	47,1	17,9	41,8	20,0	42,3	19,5	7,6
Фон 1 + N90	108,1	50,8	110,6	49,6	19,2	42,6	20,0	43,2	19,4	7,6
Фон 1 + N60P30	95,7	48,1	103,6	42,3	17,0	41,4	20,7	44,3	18,1	7,3
Фон 1 + N60K60	94,4	46,1	100,8	40,6	16,6	40,2	19,6	42,6	17,2	7,0
Навоз + P30K60 – фон 2	80,8	42,2	86,4	34,2	14,7	36,4	18,9	37,8	15,0	6,6
Фон 2 + N30	93,4	46,9	99,0	40,1	17,5	38,9	19,4	40,9	16,6	7,3
Фон 2 + N60	101,3	50,7	105,3	41,5	18,7	39,2	19,6	40,5	16,0	7,2
Фон 2 + N90	112,9	55,2	129,8	53,1	20,9	42,4	20,7	48,9	19,9	7,8
Навоз + P60K120 – фон 3	87,6	46,9	106,5	41,7	16,7	37,4	19,9	45,2	17,7	7,1
Фон 3 + N30	94,2	49,1	111,8	41,5	17,9	37,8	19,7	44,6	16,6	7,2
Фон 3 + N60	108,6	54,0	131,2	44,4	19,3	41,5	20,6	50,2	17,0	7,4
Фон 3 + N90	125,4	60,7	154,8	53,9	21,5	44,4	21,5	54,9	19,1	7,6
Фон 3 + N60+30	119,5	56,6	141,5	46,5	20,0	43,7	20,7	51,5	16,9	7,3
Фон 3 + N90+30	124,4	55,7	162,2	56,0	22,0	46,5	20,9	60,8	20,9	8,2
НСР <sub>0,05</sub>	8,3	3,6	16,4	7,1	1,6	2,7	–	6,8	2,9	0,6

Показатель общего выноса азота и калия увеличивался с повышением продуктивности и содержания этих элементов в основной и побочной продукции, общий вынос фосфора, кальция и магния повышался в основном за счет увеличения урожайности. Максимальных значений общий вынос достигал в варианте с внесением N90+30P60K120. В варианте с наибольшей урожайностью в опыте (N90P60K120) этот показатель составил: азота – 125,4 кг/га, фосфора – 60,7, калия – 154,8, кальция – 53,9, магния – 21,5 кг/га. Удельный вынос элементов

питания на создание 1 т основной и соответствующего количества побочной продукции в этом варианте был следующий: азот – 44,4 кг/т, фосфор – 21,5, калий – 54,9, кальций – 19,1, магний – 7,6 кг/т.

## ВЫВОДЫ

При возделывании ярового рапса на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве наибольшая (28,2 ц/га) урожайность семян в среднем за 2010–2011 гг. получена при системе удобрения N90P60K120. Прибавка от внесения азотных удобрений составила 4,6 ц/га, полного минерального удобрения – 8,3 ц/га при окупаемости 1 кг НРК 3,2 кг семян.

Содержание основных элементов питания при внесении N90P60K120 составило в семенах: азота – 3,74 %, фосфора – 1,91 %, калия – 0,97 %, кальция – 0,35 %, магния – 0,54 %; в соломе: азота – 0,71 %, фосфора – 0,29 %, калия – 2,93 %, кальция – 1,02 %, магния – 0,18 %. Удельный вынос при данной системе удобрения равен: азота – 44,4 кг, фосфора – 21,5 кг, калия – 54,9 кг, кальция – 19,1 кг, магния – 7,6 кг.

В зависимости от системы удобрения удельный вынос азота и фосфора в исследованиях с яровым рапсом 2010–2011 гг. ниже нормативного, используемого в настоящее время в агрохимической практике, при этом удельный вынос калия (кроме варианта без удобрений) выше нормативного, в варианте с внесением N90+30P60K120 – в два раза. Удельный вынос кальция превысил нормативный в 2,7–4,1 раза, магния – в 3,3–4,1 раза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Будько, Л.Н. Рапс: наша технология – традиции качества: практическое пособие / Л.Н. Будько, И.Н. Ровба, Н.А. Шаганов. – Минск: Равноденствие, 2008. – 120 с.
2. Пилюк, Я.Э. Рапс в Беларуси: (биология, селекция и технология возделывания) / Я.Э. Пилюк. – Минск: Бизнесофсет, 2007. – 240 с.
3. Рапс и сурепица (Выращивание, уборка, пользование) / Д. Шпаар [и др]; под общ. ред. Д. Шпаара. – Москва: DCV АГРОДЕЛО, 2007. – 320 с.
4. Организационно–технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов / Ин-т аграр. экономики НАН Беларуси; рук. разработ. В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Белорус. наука, 2005. – 460 с.
5. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 390 с.

## EFFICIENCY SPRING RAPE AND CARRYING OUT OF NUTRIENTS DEPENDING ON FERTILIZER SYSTEM IN CULTIVATION ON PODZOLUVISOL LOAM SOIL

V.V. Lapa, M.S. Lopukh, O.H. Kulesh, M.M. Lomonos, E.I. Shpoka

### Summary

Influence of various fertilizer systems in spring rape cultivation on podzoluvisol loam soil is studied. It is established that mineral fertilizers application in doses N90P60K120

promoted formation of seeds spring rape productivity 28,2 t/ha. Specific carrying out of basic nutrients with 1 t basic and by-product production at the given fertilizer system has made: nitrogen 44,4 kg, phosphorus 21,5 kg, potassium 54,9 kg, calcium 19,1 kg, magnesium 7,6 kg.

In researches with summer rape 2010–2011 it is established that depending on mineral fertilizers system indicators specific carrying out of nitrogen and phosphorus below standard. Specific carrying out of potassium (except without fertilizers variant) above standard and in a variant with entering N90+30P60K120 exceeded it twice. Specific carrying out of calcium exceeded standard in 2,7–4,1 time, magnesium – in 3,3–4,1 times.

*Поступила 4 декабря 2012 г.*

УДК 631.8.022.3:633.853.494

### **КАЧЕСТВО СЕМЯН ЯРОВОГО РАПСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ**

**В.В. Лапа, Н.Н. Ивахненко, М.С. Лопух, О.Г. Кулеш,  
А.А. Грачева, С.М. Шумак, М.М. Ломонос**

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

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Для обеспечения населения страны дешевым пищевым растительным маслом и производства биологического топлива из рапса (до 10 % от потребности) необходимо соблюдение и усовершенствование технологии возделывания (повышение урожайности и качества) культуры.

Улучшение качества рапсового масла снижением и исключением селекционным путем из семян рапса антипитательных веществ, эруковой кислоты и глюкозинолатов, вызвало во всем мире резкое увеличение спроса на него. В настоящее время рапсовое масло современных сортов широко используется на пищевые и технические цели. По жирнокислотному составу и вкусовым достоинствам оно равноценно оливковому маслу и считается одним из лучших растительных масел. По содержанию витамина Е рапсовое масло существенно превосходит подсолнечное и льняное.

Продукты переработки маслосемян, жмых и шрот, являются ценным белковым концентратом, равным по аминокислотному составу соевому, т.е. содержат все незаменимые аминокислоты, необходимые для животных и человека.

Семена рапса отличаются высоким содержанием жиров и белков, на их долю приходится около 60–70 % массы семян.

В семенах рапса содержится около 5–9 % клетчатки, 0,2–1,2 % фосфолипидов, которые характеризуются повышенным содержанием негидролизующихся форм. Рапс и продукты его переработки содержат различные антипитательные вещества: глюкозинолаты, эруковую кислоту, дубильные соединения, танины, полифенолы, фитиновую кислоту, лигнин. Присутствие глюкозинолатов в рапсовом

жмыхе или шроте – основной лимитирующий фактор его использования как 100 % белковой добавки.

Старые «традиционные» сорта рапса отличались высоким содержанием эруковой кислоты (до 50 %). Однако эруковая кислота плохо действует на сердце, поэтому для пищевых целей масло старых сортов использовалось весьма ограничено. У современных сортов по жирнокислотному составу рапсовое масло стало равноценным оливковому, поэтому оно широко используется на пищевые цели.

В состав масла рапса входит большое количество ненасыщенных жирных кислот, которые играют важную роль в регулировании жирового обмена, снижая уровень холестерина, возможность тромбообразования и ряда других заболеваний, в том числе опухолевых. В жирах животного происхождения они не встречаются или присутствуют в незначительных количествах.

В последние годы интерес к рапсу возрос еще и в связи с использованием рапсового масла на энергетические цели и в олеохимии.

Рапс как высокобелковая культура хорошо сбалансирована по аминокислотному составу, является одним из перспективных источников обеспечения животноводства полноценными белками. В настоящее время рапс для Беларуси – это пищевое масло, белок и отличный предшественник для зерновых. Как любая высокопродуктивная культура, рапс предъявляет высокие требования к плодородию почвы и запасу питательных веществ в ней. Получение высоких и устойчивых урожаев этой культуры невозможно без научно-обоснованной системы удобрения [1–8].

Цель исследований – оценить качество семян ярового рапса в зависимости от применяемых систем удобрения, гранулометрического состава и уровня почвенного плодородия.

## МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по изучению влияния применения различных систем удобрения на урожайность и качество ярового рапса проводили в длительном стационарном полевом опыте в СПК «Щемыслица» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощном лессовидном суглинке, и в краткосрочных опытах на дерново-подзолистой супесчаной почве в ГП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы:  $pH_{KCl}$  5,8–6,0, содержание  $P_2O_5$  – 400–420,  $K_2O$  – 300–320 мг/кг почвы, гумуса – 1,8–2,0 % (балл плодородия – 42,  $I_{ок}$  – 0,94). Полевой опыт был заложен в трех полях (2006–2012 гг.) в зерно-травяном севообороте со следующим чередованием культур: пелюшко-овсяная смесь на зеленую массу – озимое тритикале + клевер – клевер луговой 1 года – яровая пшеница – яровой рапс. Схемой опыта предусмотрено внесение трех доз азота на фоне различных уровней фосфорно-калийного питания: только за счет почвенного плодородия, на дефицитный и поддерживающий баланс фосфора и калия в почве. Органические удобрения вносили фоном в дозе 40 т/га под пелюшко-овсяную смесь из расчета их действия и последствия на следующую культуру севооборота – озимое тритикале. Уровень органических удобрений в севообороте (8 т/га севооборотной площади) исходил из реального применения органических удобрений в производ-

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

стве. Общая площадь делянки – 69 м<sup>2</sup> (11,5 × 6 м), учетная – 45 м<sup>2</sup> (10 × 4,5 м), повторность вариантов в опыте – 4-кратная. Яровой рапс Янтарь возделывали в 2010–2011 гг. Технология возделывания – общепринятая для РБ [9]. Уход за посевами включал: обработку гербицидом бутизан стар – 2 л/га, трехкратную обработку инсектицидом децис экстра – 0,06 л/га, обработку фунгицидом прозаро – 0,8 л/га.

Агрохимические показатели пахотного слоя дерново-подзолистой супесчаной почвы в опыте с последствием органических и минеральных удобрений: рН<sub>KCl</sub> – 5,25–5,50, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 73–151, K<sub>2</sub>O – 70–156 мг/кг почвы, гумус – 2,10–2,41 % (балл плодородия – 28). В краткосрочных опытах (2010–2012 гг.) на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве пахотный слой характеризовался следующими показателями: рН<sub>KCl</sub> – 5,6–5,9, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 190–224, K<sub>2</sub>O – 190–250 мг/кг почвы, гумус – 2,10–2,41 % (балл плодородия – 32). Навоз 50 т/га вносили под предшественник ярового рапса (сорта Янтарь и Антей) кукурузу или картофель. Общая площадь делянки – 45 м<sup>2</sup> (9,0 м × 5 м), учетная – 32 м<sup>2</sup> (8 м × 4,0 м), повторность вариантов в опытах – 4-кратная.

Закладку и проведение полевых опытов, статистическую обработку результатов исследований проводили в соответствии с методическими указаниями по закладке полевых опытов, с использованием программ дисперсионного анализа на ПК. Уборку проводили комбайном Сампо–500 в фазу полной спелости семян. Урожай учитывали поделяночно. Данные урожайности семян приводили к 9 % влажности.

В отобранных растительных образцах после мокрого озоления по методу ЦИНАО (1976) определяли на фотоколориметре содержание общего азота (индофенольным методом). Содержание сырого белка вычисляли умножением общего азота на коэффициент пересчета азота на белок – 6,25.

Масличность ярового рапса определяли на инфракрасном спектрометре «Infraneo» и по ГОСТ 10857–64, эруковую кислоту – по ГОСТ 30089–93, глюкозинолаты – по ГОСТ 9824 п. 3.5, МУ Краснодар, 1986.

Анализ почвенных образцов проводили в соответствии с общепринятыми методиками: фосфор и калий в почве – по методу Кирсанова, обменные кальций и магний – методом ЦИНАО–ГОСТ 26487–85, органическое вещество – по Тюрину в модификации ЦИНАО.

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

За вегетационные периоды (май–август 2010–2012 гг.) возделывания ярового рапса распределение осадков, температура воздуха и сумма температур и осадков отличались от среднемноголетних. Самым сухим оказался 2012 г., в котором осадков за период май–август выпало на 18,7 мм меньше средней многолетней величины, сумма температур за этот период только на 14,9 °С выше средней многолетней величины. В 2010 и 2011 гг. за май–август осадков выпало на 14,4 и 52,8 мм больше средней многолетней величины, сумма температур воздуха на 457,5 и 269,9 °С соответственно была выше средней величины. Гидротермический

коэффициент (условный показатель увлажнения по Селянинову) в течение вегетационных периодов растений изменялся в пределах 0,5–3,13, что позволяет сделать заключение об избытке влаги в июне и засушливом периоде в июле 2012 г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании результатов двухлетних исследований (2010–2011 гг.) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве отмечено достоверное повышение семенной продуктивности ярового рапса при улучшении условий минерального питания. Максимальная урожайность семян ярового рапса (28,2 ц/га) получена в варианте с внесением под предпосевную культивацию N90P60K120 (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние удобрений на урожайность и качество семян ярового рапса  
Янтарь на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве,  
среднее за 2010–2011 г.**

Вариант	Урожайность семян, ц/га	Масса 1000 семян, г	Сырой белок, %	Сбор сырого белка, кг/га	Масличность, %	Выход сырого жира, ц/га
Без удобрений	16,6	3,52	21,9	318	47,0	7,8
Послед. навоза, 40 т/га – фон 1	19,9	3,57	22,5	390	47,5	9,4
Фон 1 + N30	22,0	3,57	22,2	426	47,9	10,6
Фон 1 + N60	23,7	3,54	22,5	468	47,5	11,3
Фон 1 + N90	25,4	3,54	22,7	510	46,9	11,9
Фон 1 + N60P30	23,3	3,48	22,4	460	47,6	11,1
Фон 1 + N60K60	23,7	3,53	22,3	464	47,7	11,3
Фон 1+ P30K60 – фон 2	22,4	3,56	21,6	423	47,4	10,6
Фон 2 + N30	24,2	3,53	22,3	473	47,5	11,5
Фон 2 + N60	25,9	3,53	22,2	509	47,5	12,3
Фон 2 + N90	26,6	3,52	22,3	528	46,7	12,4
Фон 1+ P60K120 – фон 3	23,6	3,53	21,6	449	46,8	11,0
Фон 3 + N30	25,0	3,53	22,0	487	47,5	11,9
Фон 3 + N60	26,2	3,60	22,9	532	47,4	12,4
Фон 3 + N90	28,2	3,66	23,4	585	46,6	13,1
Фон 3 + N60+30	27,3	3,67	23,4	567	47,0	12,8
Фон 3 + N90+30	26,7	3,62	23,5	560	46,9	12,5
НСР <sub>0,05</sub>	1,3	–	–	30	0,2	0,6

Минеральные удобрения оказали неоднозначное влияние на показатели качества семян ярового рапса. Крупность семян изменялась в незначительных пределах (3,48–3,67 г) и не зависела от применяемых удобрений.

Основным фактором, от которого зависит содержание сырого белка в семенах рапса, является обеспеченность растений азотом. В наших исследованиях наблюдалась тенденция повышения содержания белка в семенах рапса при применении азотных удобрений на фоне внесения фосфорных и калийных. В вариантах с использованием только фосфора и калия, без азотных туков, наблюдалась тенденция снижения содержания сырого белка. Что касается сбора

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

белка с гектара, то он значительно увеличивался при внесении удобрений. Применение азотных удобрений способствовало повышению урожая семян рапса, являясь, таким образом, главным фактором, который обуславливает сбор белка с единицы площади. Внесение возрастающих доз азота (N30–N90) на фоне 1 и фоне 3 приводило к закономерному существенному повышению выхода сырого белка на 36–120 кг/га и на 38–136 кг/га соответственно по отношению к фонам. Наибольший (585 кг) сбор белка с гектара отмечался при внесении под яровой рапс N90P60K120.

В наших исследованиях масличность семян рапса в среднем за два года составила 46,6–47,9 %, при этом отмечались некоторые различия в содержании жира в зависимости от доз азота на разных фонах. На фоне последствия навоза внесение 30 кг/га д.в. азота привело к значительному повышению масличности семян рапса на 0,4 %, при внесении 60 кг/га д.в. азота содержание жира было на уровне фонового варианта (47,5 %). Повышение дозы азота до 90 кг/га д.в. приводило к достоверному снижению масличности на 0,6 %. При внесении N30 и N60 на фоне P30K60 наблюдалась тенденция повышения содержания жира в семенах рапса, в то время как внесение N90 достоверно снижало масличность до 46,7 %. Применение 30 и 60 кг/га д.в. азота на фоне P60K120 повышало масличность семян на 0,7 и 0,6 % соответственно. Разовое внесение 90 кг/га д.в. азота снижало содержание жира на 0,2 % по сравнению с фоновым вариантом, а дробное внесение той же дозы повышало масличность на 0,2 % по отношению к фоновому варианту. Внесение фосфорных и калийных удобрений в дозе P30K60 не повлияло на содержание жира в семенах рапса, в то время как применение P60K120 значительно снижало масличность на 0,7 % в сравнении с фоном 1.

Выход сырого жира в большей степени зависел от урожайности зерна ярового рапса. Значительное увеличение данного показателя (до 12,8–13,1 ц/га) наблюдалось при внесении 90 кг/га азота (дробно и разово соответственно) на фоне P60K120.

В исследованиях на дерново-подзолистой супесчаной почве урожайность семян ярового рапса Янтарь при влажности 9 % формировалась на уровне 6,4–20,8 ц/га (табл. 2). В вариантах с внесением минеральных удобрений получена прибавка урожайности семян 4,1–14,4 ц/га. Максимальная урожайность 20,0 и 20,8 ц/га формировалась при внесении полной дозы минеральных удобрений N60+30P40K80 и при применении парной комбинации N60+30P40 соответственно. При внесении половинной дозы минеральных удобрений N30+20P20K40 получена урожайность 16,4 ц/га, недобор урожайности зерна составил 3,6 ц/га по сравнению с урожайностью при внесении полной дозы минеральных удобрений.

Масса 1000 семян изменялась от 3,55 г при внесении только азотных удобрений до 4,16 г при применении полной дозы N90P40K80.

Содержание белка (один из важных показателей качества) в семенах ярового рапса изменялось в пределах 16,7–20,0 %. Максимальное накопление белка 20,0 % происходило в вариантах с максимальной урожайностью семян при внесении N60+30P40 и N60+30P40K80. При указанных системах удобрения получен и максимальный в опыте сбор сырого белка – 378 и 364 кг/га.

Несмотря на то, что максимальная масличность 41,6 и 42,1 % обнаружена в вариантах с применением N60+30P40K80 и N30+20P20K40 соответственно, максимальный в опыте сбор жира 7,6 и 7,4 ц/га характерен для вариантов с наибольшей урожайностью.

**Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество семян ярового рапса Янтарь на дерново-подзолистой супесчаной почве**

Вариант	Урожайность семян, ц/га	Масса 1000 семян, г	Сырой белок, %	Сбор сырого белка, кг/га	Масличность, %	Сбор жира, ц/га
Без удобрений	6,4	3,75	16,7	97	40,1	2,3
N60+30	16,7	3,55	19,1	290	37,2	5,7
P40	10,5	3,87	16,9	162	38,8	3,7
N60+30K80	13,8	3,61	18,1	228	37,5	4,7
N60+30P40	20,8	3,88	20,0	378	39,1	7,4
P40K80	11,4	3,87	16,1	167	40,9	4,2
N60+30P40K80	20,0	4,16	20,0	364	41,6	7,6
N30+20P20K40	16,4	4,10	19,4	289	42,1	6,3
НСР <sub>0,05</sub>	1,61	0,09	0,6	–	0,6	–

Важным и не менее ценным продуктом производства маслосемян рапса является кормовой белок (шрот и жмых). Биологическая ценность рапсового белка (86 %) значительно выше соевого (62 %). В белке рапса содержится в 2,5–3,5 раза больше незаменимых аминокислот, чем у злаковых культур [5].

Питательные качества белка определяются, прежде всего, количеством и составом незаменимых аминокислот. При недостатке или отсутствии в кормовом рационе хотя бы одной из незаменимых аминокислот эффективность использования корма снижается [4]. Белок рапса не уступает соевому по содержанию лизина и значительно превосходит его по уровню метионина и цистина.

Максимальное количество критических аминокислот (21,2 г/кг) семян накапливалось при применении системы удобрения N30+20P20K40. Максимальная сумма незаменимых аминокислот 60,0 г/кг семян характерна для варианта с применением только азотных удобрений (табл. 3).

Установлено, что в белке ярового рапса достаточно высокое содержание критических и незаменимых аминокислот. Наибольшая сумма критических аминокислот 134,8 и 133,9 мг/г белка рапса характерна для варианта без применения удобрений и при внесении P40K80 соответственно. При этой же системе удобрения отмечена и максимальная сумма (392,7 мг/г белка) незаменимых аминокислот.

Анализ данных показал, что белок ярового рапса хорошо сбалансирован по аминокислотному составу и является одним из перспективных источников обеспечения рационов животных полноценным протеином. Как и соевый, рапсовый белок близок по составу к белку яиц и коровьего молока.

Биологическая ценность критических аминокислот белка ярового рапса по сравнению с цельным яйцом (химическое число) варьировала в пределах 68,86–84,18 %, а незаменимых аминокислот – в пределах 72,81–96,40 %. По сравнению с показателями, рекомендуемыми ФАО/ВОЗ, биологическая ценность критических аминокислот (аминокислотный скор) изменялась в пределах 90,36–110,67 %, а незаменимых аминокислот – в пределах 93,83–114,26 % (табл. 4).

При изучении влияния разных форм азотных удобрений в краткосрочных полевых опытах в ГП «Экспериментальная база им. Суворова» использовали стандартные азотные удобрения (карбамид (мочевина) и сульфат аммония), которые

Таблица 3

**Влияние минеральных удобрений на содержание незаменимых аминокислот в семенах и белке ярового рапса  
Янтарь на дерново-подзолистой супесчаной почве**

Вариант	г/кг семян										мг/г белка							
	Треонин*	Валин	Метионин*	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Лизин*	Л-кр. ам.	Л-нез. ам.	Треонин*	Валин	Метионин*	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Лизин*	Л-кр. ам.	Л-нез. ам.
Без удобрений	8,8	8,5	3,2	6,6	7,0	12,5	8,9	20,9	55,5	56,5	54,8	20,7	42,7	44,8	80,9	57,7	134,8	358,0
N60+30	9,6	10,7	2,7	7,6	7,8	13,5	8,0	20,3	60,0	54,4	60,7	15,2	43,1	44,1	76,3	45,1	114,7	338,9
P40	9,5	10,2	2,5	7,2	7,3	12,7	7,8	19,8	57,1	60,5	64,7	16,2	45,6	46,4	80,8	49,5	126,1	363,7
N60+30K80	8,7	8,7	3,2	6,6	7,1	12,6	8,7	20,5	55,5	51,5	51,6	19,0	39,5	42,0	75,1	51,6	122,1	330,1
N60+30P40	9,4	10,4	2,6	7,4	7,6	13,3	8,7	20,7	59,4	51,0	56,1	14,0	40,1	40,9	72,0	46,9	111,9	320,8
P40K80	9,7	10,6	2,7	7,5	7,6	13,2	7,8	20,1	58,9	64,5	70,8	17,7	49,7	50,3	87,9	51,7	133,9	392,7
N60+ 30P40K80	8,6	8,6	3,3	6,5	7,0	12,3	8,5	20,3	54,8	46,3	46,7	17,8	35,2	37,9	66,5	45,8	109,9	296,2
N30+ 20P20K40	9,2	9,6	3,6	7,2	7,7	13,4	8,5	21,2	59,1	50,9	53,6	19,8	39,8	42,8	74,3	46,9	117,7	328,1

Примечание: 1. \* – критические аминокислоты; 2. Σ кр. ам. – сумма критических аминокислот; 3. Σ нез. ам. – сумма незаменимых аминокислот.

Таблица 4

**Биологическая ценность белка ярового рапса Янтарь**

Вариант	Химическое число		Аминокислотный скор	
	критические	незаменимые	критические	незаменимые
Без удобрений	83,9	87,8	110,7	113,0
N60+30	71,9	83,1	93,8	106,4
P40	79,0	89,3	102,8	114,3
N60+30K80	76,2	81,0	100,6	104,2
N60+30P40	69,4	78,4	90,4	100,4
P40K80	84,2	96,4	109,7	123,5
N60+30P40K80	68,9	72,8	91,1	93,8
N30+20P20K40	74,3	80,8	98,4	104,2

выпускаются в Беларуси на ОАО «ГродноАзот», а также ОАО «Нафтан» завода «Полимир» (Беларусь) и ОАО «Минеральные удобрения» (Россия).

Урожайность семян ярового рапса Янтарь на дерново-подзолистой супесчаной почве формировалась на уровне 12,0–20,6 ц/га. Изучаемые минеральные удобрения оказали положительное влияние на урожайность семян рапса, которая при применении 350 кг/га д.в. NPK повысилась на 2,1–8,6 ц/га в зависимости от форм азотных удобрений. Окупаемость 1 кг минеральных удобрений (NPK) изменялась от 0,9 до 2,5 кг семян. При внесении P80K150 урожайность маслосемян увеличилась на 2,1 ц/га. Азотные удобрения увеличили урожайность семян на 2,4–6,5 ц/га при окупаемости 1 кг азота 3,8–7,2 кг семян (табл. 5).

Таблица 5

**Влияние минеральных удобрений на качество семян ярового рапса на дерново-подзолистой супесчаной почве**

Вариант	Урожайность семян, ц/га	Масса 1000 семян, г	Сырой белок, %	Сбор сырого белка, кг/га	Масличность, %	Выход сырого жира, ц/га	Эруковая кислота, %
Без удобрений	12,0	3,46	20,9	252	44,5	5,40	0,098
P80K150 – Фон	14,1	3,44	21,3	300	45,0	6,34	0,113
Фон +N90+30 (карбамид ОАО «ГродноАзот»)	16,5	3,42	21,9	362	42,7	7,06	0,161
Фон + N90+30 (сульфат аммония ОАО «ГродноАзот»)	18,4	3,56	22,9	421	42,7	7,87	0,109
Фон + N90+30 (сульфат аммония ОАО «Нафтан»)	20,6	3,45	22,9	472	41,8	8,63	0,079
Фон + N90+30 (карбамид «Минеральные удобрения»)	17,1	3,42	22,5	386	43,2	7,40	0,103
НСР <sub>0,05</sub>	1,7	0,09	1,1	38	0,5	0,5	0,02

При возделывании ярового рапса на дерново-подзолистой супесчаной почве и применении разных форм азотных удобрений отмечается положительное их влияние на качественные показатели семян. Масса 1000 семян при применении карбамида производства ОАО «ГродноАзот» и «Минеральные удобрения» Россия, сульфата аммония производства ОАО «Нафтан» изменялась в пределах ошибки опыта и достоверно увеличилась на 0,14 г при применении сульфата аммония ОАО «ГродноАзот» по сравнению с вариантом с внесением карбамида.

При применении P80K150 и N90+30P80K150 наблюдалась тенденция или достоверное увеличение содержания белка в семенах рапса. При внесении сульфата аммония производства ОАО «ГродноАзот» и «Нафтан» количество белка в семенах было одинаковым – 22,9 %, что на 1 % выше, чем при применении карбамида ОАО «ГродноАзот». Содержание белка в семенах рапса при внесении карбамида «Минеральные удобрения» (Россия) было на 0,6 % выше, чем при применении карбамида ОАО «Гродно Азот».

Ценность семян ярового рапса определяется, прежде всего, содержанием масла, которое широко используется в пищевой промышленности. Установлено, что азотные удобрения снижали масличность семян рапса на 1,8–3,2 % по отношению к фону P80K150, однако семена отвечали 1 сорту 1 класса, т.к. масличность была

более 40 % (ГОСТ 10857–64). При применении сульфата аммония и карбамида производства ОАО «ГродноАзот» масличность семян оказалась одинаковой – 42,7 %, при применении сульфата аммония производства «Нафтан» масличность – на 0,9 % ниже.

Важным критерием оценки эффективности применения удобрений является выход белка и жира с единицы площади. Азотные удобрения увеличили сбор белка на 59–172 кг/га. Максимальный сбор белка – 472 кг с гектара получен при применении сульфата аммония производства ОАО «Нафтан». В этом же варианте обнаружен и максимальный (8,63 ц/га) выход жира. При применении азотных удобрений на фоне Р80К150 минимальное количество белка (362 кг/га) и жира (7,06 ц/га) собрано при внесении карбамида ОАО «ГродноАзот».

Исследования показали, что на содержание глюкозинолатов и эруковой кислоты применение разных форм азотных удобрений не оказало существенного влияния. Семена ярового рапса по содержанию эруковой кислоты отвечали 1 классу и 1 сорту (менее 2 %), т.к. их содержание было ниже 1 %. По содержанию глюкозинолатов семена рапса также отвечали требованиям 1 класса, их было не более 2 % (ГОСТ 9824 п.3.5.).

Для производства высокоценных пищевых растительных масел маслосемена должны обладать рядом свойств: иметь пониженное содержание насыщенных жирных кислот (особенно пальмитиновой, миристиновой и лауриновой), соответственно повышенное содержание простых ненасыщенных жирных кислот (в первую очередь олеиновой), быть богатыми витамином Е и обладать приятным (или нейтральным) вкусом. В исследованиях были определены насыщенные жирные кислоты (пальмитиновая, миристиновая, стеариновая, арахидовая, бегеновая, лигноцериновая), мононенасыщенные (олеиновая, эруковая, эйкозеновая (гондоиновая)) и полиненасыщенные (линолевая и линоленовая).

Сумма незаменимых полиненасыщенных жирных кислот изменялась в пределах 27,04–28,03 %. Максимальное количество 28,03 % полиненасыщенных кислот характерно для варианта без удобрений.

Чем меньше сумма насыщенных жирных кислот, тем масло лучше. В наших исследованиях она изменялась от 5,83 % в варианте без удобрений до 6,10 % при применении N90+30 (сульфат аммония ОАО «Нафтан») на фоне Р80К150.

Сумма мононенасыщенных жирных кислот изменялась в пределах 63,89–65,94 %. Минимальное количество мононенасыщенных жирных кислот характерно для варианта без удобрений, максимальное – при применении системы удобрения N90+30 (карбамид ОАО «Гродно азот») на фоне Р80К150 (табл. 6). При изучении эффективности новых серосодержащих фосфорных удобрений сульфаммофос 1 (марка 10–20–0–14S–14CaO), сульфаммофос 2 (марка 10–25–0–12S–12CaO) и сульфаммофос 3 (марка 10–30–0–10S–10CaO) установлено их положительное влияние на урожайность семян ярового рапса Антей при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве (табл. 7). По отношению к варианту с внесением карбамида, аммофоса и хлористого калия (вар. 2) прибавка от применения сульфаммофоса 1 составила 3,9 ц/га, сульфаммофоса 2 – 5,1, сульфаммофоса 3 – 4,1 ц/га, что значительно выше НСР (2,0 ц/га). Новые удобрения оказали положительное влияние на урожайность ярового рапса и по отношению к варианту с внесением сульфата аммония, т.к. получена прибавка 2,0–3,2 ц/га. Окупаемость 1 кг минеральных удобрений (NPK) изменялась от 1,9 до 3,8 кг семян (в среднем 3,0 кг).

Таблица 6

## Влияние минеральных удобрений на содержание жирных кислот в масле ярового рапса, %

Вариант	Миристиновая	Пальмитино- вая	Стеариновая	Олеиновая	Линолевая	Эйкозеновая	Арахидиновая	Линоленовая	Бегеновая	Эруковая	Линоцерино- вая	Сумма		
												насыщен- ных	ненасыщен- ных	свободных
Без удобрений	0,04	4,13	1,13	63,25	19,26	0,54	0,06	8,77	0,34	0,10	0,13	5,83	28,03	63,89
P80K150 – Фон	0,03	3,95	1,51	63,20	19,25	0,59	0,00	8,67	0,29	0,11	0,15	5,93	27,92	63,90
Фон + N90+30 (карбамид ОАО «ГродноАзот»)	0,04	4,00	1,06	65,13	18,67	0,65	0,00	8,46	0,34	0,16	0,20	5,64	27,13	65,94
Фон + N90+30 (сульфат аммония ОАО «ГродноАзот»)	0,04	3,90	1,43	64,54	18,82	0,66	0,00	8,53	0,33	0,08	0,16	5,86	27,35	65,28
Фон + N90+30 (сульфат аммония ОАО «Нафтан»)	0,04	3,99	1,55	65,05	18,66	0,68	0,02	8,49	0,34	0,08	0,16	6,10	27,15	65,81
Фон + N90+30 (карбамид «Минеральные удобрения»)	0,05	3,91	1,61	64,75	18,48	0,51	0,04	8,56	0,24	0,10	0,18	6,03	27,04	65,36

Таблица 7

## Влияние комплексных удобрений на урожайность и качество семян ярового рапса Антей на дерново-подзолистой супесчаной почве

Вариант	Урожай- ность семян, ц/га	Масса 1000 семян, г	Сырой белок, %	Сбор сырого белка, кг/га	Маслич- ность, %	Выход сырого жира, ц/га	Эруковая кислота, %
Без удобрений	15,3	3,46	21,4	314	48,9	8,9	0,60
N90+30(карбамид) K90–фон и +P50 – стандарт 1	20,2	3,70	21,8	424	46,5	12,1	0,72
N90+30(сульфат аммония) P50K90 – стандарт 2	22,1	3,70	24,0	509	45,8	14,1	0,84
Фон1+P50 (сульфоаммофос 1)	24,1	4,12	23,7	549	46,8	14,8	1,00
Фон1+ P50 (сульфоаммофос 2)	25,3	3,97	23,5	570	47,0	15,6	0,77
Фон1+ P50 (сульфоаммофос 3)	24,3	3,91	23,0	536	47,4	14,2	0,54
НСР	2,0	0,3	0,7		0,5		

Масса 1000 семян при применении сульфоаммофоса 1 достоверно увеличивалась на 0,42 г, а при применении сульфоаммофоса 2 и 3 изменялась в пределах ошибки опыта.

При применении сульфоаммофоса 1 масличность семян увеличилась на 0,5–1,0 % по отношению к стандартным удобрениям, а при применении сульфоаммофоса 2 и сульфоаммофоса 3 – на 1,2–0,2 и 1,6–0,6 % соответственно. Семена отвечали 1 сорту 1 класса, т.к. масличность была выше 40 % (ГОСТ 10857–64). По отношению к варианту с внесением карбамида, аммофоса и хлористого калия содержание белка увеличилось на 1,2–1,7 %, а по отношению к стандарту с внесением сульфата аммония наблюдалась тенденция к снижению, но ниже НСР.

Применение новых комплексных удобрений, содержащих азот, серу, фосфор и кальций оказало положительное влияние на увеличение валового сбора сырого жира на 0,1–3,5 ц/га и сырого белка на 27–146 кг/га.

На содержание глюкозинолатов и эруковой кислоты применение новых комплексных удобрений сульфоаммофос 1, сульфоаммофос 2 и сульфоаммофос 3 не оказало существенного влияния. Семена ярового рапса по содержанию эруковой кислоты отвечали 1 классу (менее 2 %), т.к. оно было ниже 1 %, а под влиянием сульфоаммофоса 3 оно снизилось на 0,18–0,30 % (до 0,54 %) (ГОСТ 30089–93). По содержанию глюкозинолатов семена рапса также отвечали требованиям 1 класса, их было не более 2 % (ГОСТ 9824 п. 3.5.).

### ВЫВОДЫ

При возделывании ярового рапса на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве его семенная продуктивность находилась в пределах 16,6–28,2 ц/га, достоверное ее повышение отмечалось при улучшении условий минерального питания, особенно азотного. Существенных различий в показателях массы 1000 семян и содержания белка в зависимости от системы удобрения не наблюдалось. Получение наибольшей (28,2 ц/га) урожайности семян, с содержанием сырого белка 23,4 %, масличностью – 46,6 % обеспечило внесение N90P60K120. Сбор сырого белка при данной системе удобрения составил 585 кг/га, жира – 13,1 ц/га.

В краткосрочных исследованиях с яровым рапсом на дерново-подзолистой супесчаной почве установлено, что урожайность семян варьировала от 6,4 до 25,3 ц/га и зависела от доз, соотношений и форм минеральных удобрений. По содержанию эруковой кислоты и глюкозинолатов семена ярового рапса отвечали 1 классу, т.к. их было менее 2 % (ГОСТ 30089–93, ГОСТ 9824 п. 3.5).

При изучении доз и соотношений минеральных удобрений минимальное количество сырого белка 16,7 % и его сбор 97 кг/га характерно для варианта без минеральных и органических удобрений на дерново-подзолистой супесчаной почве с самыми низкими агрохимическими показателями ( $pH_{KCl}$  – 5,25,  $P_2O_5$  – 73,  $K_2O$  – 70 мг/кг почвы, гумус – 2,10 %). Одностороннее применение азотных удобрений (N60+30) приводило к снижению массы 1000 семян на 0,2 г, масличности – на 2,9 %, увеличению содержания сырого белка – на 2,4 %, сбора сырого белка – на 193 кг/га.

При повышении агрохимических показателей до  $pH_{KCl}$  – 5,50,  $P_2O_5$  – 151,  $K_2O$  – 156 мг/кг почвы, гумус – 2,41 % и применении полного минерального удобрения (N60+30P40K80) масса 1000 семян увеличилась на 0,41 г, содержание сырого

белка – на 3,3 %, сбор сырого белка – на 267 кг/га, масличность – на 1,5 %, сбор жира – на 5,3 ц/га.

Биологическая ценность критических аминокислот белка ярового рапса по сравнению с цельным яйцом (химическое число) изменялась в пределах 68,86–84,18 %, а незаменимых аминокислот – в пределах 72,81–96,40 %. По сравнению с показателями, рекомендуемыми ФАО/ВОЗ, биологическая ценность критических аминокислот (аминокислотный скор) изменялась в пределах 90,36–110,67 %, а незаменимых аминокислот – в пределах 93,83–114,26 %.

При изучении разных форм азотных удобрений на дерново-подзолистой супесчаной почве установлено, что при внесении сульфата аммония производства «ГродноАзот» и «Нафтан» количество белка в семенах было одинаковым 22,9 % и на 1 % выше, чем при применении карбамида ОАО «ГродноАзот». Содержание белка в семенах рапса при внесении карбамида «Минеральные удобрения» (Россия) на 0,6 % выше, чем при применении карбамида «ГродноАзот». Азотные удобрения снижали масличность семян рапса на 1,8–3,2 % по отношению к фону Р80К150, однако семена отвечали 1 сорту 1 класса, т.к. она была более 40 % (ГОСТ 10857–64). При применении сульфата аммония и карбамида производства ОАО «ГродноАзот» масличность семян оказалась одинаковой – 42,7 %.

Сумма незаменимых полиненасыщенных (линолевая и линоленовая) жирных кислот в масле изменялась в пределах 27,04–28,03 % (максимальная 28,03 % – в варианте без удобрений).

Сумма насыщенных жирных кислот (пальмитиновая, миристиновая, стеариновая, арахиновая, бегеновая, лигноцериновая) изменялась от 5,83 % в варианте без удобрений до 6,10 % при применении N90+30 (сульфат аммония ОАО «Нафтан») на фоне Р80К150. Минимальное количество мононенасыщенных жирных кислот характерно для варианта без удобрений, максимальное – при применении системы удобрения N90+30 (карбамид ОАО «ГродноАзот») на фоне Р80К150.

Применение новых комплексных удобрений, содержащих азот, серу, фосфор и кальций, оказало положительное влияние на увеличение валового сбора сырого жира на 0,1–3,5 ц/га, сырого белка – на 27–146 кг/га.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Боровко, Л. Влияние минеральных удобрений на продуктивность и качество семян ярового рапса / Л. Боровко // Рапс: масло, белок, биодизель: мат. междунар. 23 науч.-практ. конф., Жодино, 25–27 сентября 2006 г. / под общ. ред М.А. Кадырова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2006. – С. 83–90.
2. Будько, Л.Н. Рапс: наша технология – традиции качества: практическое пособие / Л.Н. Будько, И.Н. Ровба, Н.А. Шаганов. – Минск: Равноденствие, 2008. – 120 с.
3. Вавилов, Н.И. Избранные сочинения. Генетика и селекция / Н.И. Вавилов. – М.: Колос, 1966. – 559 с.
4. Мироненко, А.В. Белки культурных и дикорастущих кормовых растений / А.В. Мироненко, В.И. Домаш, И.В. Рогульченко. – Минск: Навука і тэхніка, 1990. – 186 с.
5. Пилюк, Я.Э. Рапс в Беларуси: биология, селекция и технология возделывания / Я.Э. Пилюк. – Минск: Бизнесофсет, 2007. – 240 с.

6. Рапс и сурепица (Выращивание, уборка, пользование) / Д. Шпаар [и др.]; под общ. ред. Д. Шпаара. – М.: DCV АГРОДЕЛО, 2007. – 320 с.

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

8. Удобрения и качество урожая сельскохозяйственных культур / И.Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Технопринт, 2005. – 276 с.

9. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сб. отрасл. регламентов / Ин-т аграр. экономики НАН Беларуси; рук. разработ. В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Белорус. наука, 2005. – 460 с.

## **SPRING RAPESEED QUALITY IN DEPENDENCE ON FERTILIZER SYSTEM**

**V.V. Lapa, N.N. Ivakhnenko, M.S. Lopukh, O.G. Kulesh,  
A.A. Gracheva, S.M. Shumak, Lomonos M.M.**

### **Summary**

Quality indices of spring rapeseed growing on Luvisol sandy loam and loamy sand soils in dependence of fertilizer systems are presented in the paper. It was established that 100 grains mass, protein and oil contents in rapeseed were not depended on soil fertility and texture. Application of different forms and doses of mineral fertilizers didn't affect the contents of glucosinolats and erucic acids. Their contents in rapeseeds were in diapason of 2 % (1<sup>th</sup> class).

*Поступила 30 октября 2012 г.*

УДК 631.445.2:631.83:633.16

## **ВЛИЯНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО– ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ И КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯЧМЕНЯ**

**Ю.В. Путятин, И.М. Богдевич, О.М. Таврыкина,  
В.А. Довнар, Е.С. Третьяков, Д.В. Маркевич**  
*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Оценивая значение корневого питания в создании высокого и устойчивого урожая, необходимо знать и учитывать требования растений к условиям питания. В нашей республике большое значение придается известкованию кислых почв – одному из важнейших условий получения стабильной урожайности сельскохозяйственных культур. Изменяя условия минерального питания растений, известкование дерново-подзолистых почв влияет на качественный состав растениеводческой продукции. О.К. Кедров-Зихман считал, что при известковании улучшается химический состав растений, растет содержание хлорофилла, угле-

водов, сахаров, крахмала, жира в семенах, каротина, аскорбиновой кислоты, даже улучшаются посевные качества семян [1]. Под действием извести изменяется биохимический состав растений. Это объясняется снижением почвенной кислотности, уменьшением в почвенном поглощающем комплексе содержания подвижного алюминия и изменением соотношения катионов. Питательная ценность кормов в значительной степени определяется их минеральным составом. Содержание элементов питания в растениях можно регулировать применением удобрений. При поступлении в растения элементы минерального питания находятся в постоянном взаимодействии, которое проявляется в виде синергизма или антагонизма [2, 3].

Изменение соотношения в почве между калием, кальцием и магнием оказывает существенное влияние на обмен азотсодержащих веществ в растениях, что приводит к различному содержанию белка в растениях и его сбору урожаем сельскохозяйственных культур [4]. Для зерновых культур очень важно не только содержание белка в зерне: его кормовая и хозяйственная ценность в значительной мере зависит и от сбалансированности аминокислотного состава [5,6]. Рациональное применение минеральных удобрений с учетом почвенного плодородия должно быть ключевым элементом технологий производства культур продовольственного и кормового назначения с целью обеспечения продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам.

Являясь ценной фуражной и продовольственной культурой, ячмень занимает около трети площадей зернового клина в республике, и проведение исследований по определению экономически и экологически оправданных доз калийных удобрений под данную культуру является актуальной задачей. Цель наших исследований заключалась в изучении эффективности различных доз калийных удобрений на разных уровнях кислотности и содержания обменных кальция и магния в дерново-подзолистой супесчаной почве на урожайность и качество зерна ячменя.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в КСУП «э/б «Стреличево» Хойникского района на дерново-подзолистой связносупесчаной, подстилаемой моренным суглинком почве, где создано пять различных соотношений катионов  $Ca^{2+}:Mg^{2+}:K^{+}$  путем внесения различных доз доломитовой муки и мела и внесены различные дозы удобрений (K60–120–180 на фоне N60P60). Схема опыта представлена в таблице 1. Почва стационарного опыта характеризовалась следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса ( $0,4 \text{ n } K_2Cr_2O_7$ ) – 1,56 % (1,26–1,86); содержание подвижного  $P_2O_5$  – ( $0,2 \text{ n HCl}$ ) – 259 мг/кг (235–283); содержание подвижного  $K_2O$  – 242 мг/кг почвы (207–277). Содержание обменных Ca и Mg представлено в таблице 3. Исследуемая культура – ячмень, сорт Атаман. Повторность опыта 4-кратная, размещение делянок рендомизированное. Общая площадь делянки – 24 м<sup>2</sup>, учетная – 19 м<sup>2</sup>.

Анализ почвенных и растительных образцов проводился в соответствии с общепринятыми методиками:

а) почва:  $pH_{KCl}$  – на pH-метре ЛПЧ–0,1 (ГОСТ 26483–85); обменные кальций и магний (1 М KCl) – методом ЦИНАО (ГОСТ 26487–85); гумус – по Тюрину (0,4

М  $K_2Cr_2O_7$ ) в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213–84); фосфор – по Кирсанову (0,2 М HCl) (ГОСТ 26207–84); калий – по Кирсанову (0,2 М HCl) (ГОСТ 26207–84);

б) из качественных характеристик зерна определено содержание сырого протеина, рассчитанное по белковому азоту. Количество белка в зерне рассчитано умножением содержания белкового азота в зерне на белковый коэффициент 5,85. Определение содержания критических и незаменимых аминокислот (лизин, треонин, валин, метеонин, изолейцин, лейцин, фенилаланин) проводилось на жидкостном хроматографе Agilent 1100;

в) статистическая обработка результатов исследований проведена по Б.А. Доспехову (1985). Для математической обработки экспериментального материала использован дисперсионный и корреляционный методы. Расчеты проводились с использованием стандартного программного обеспечения (Microsoft Excel 7.0) и StatSoft Inc. (2001) STATISTICA Program;

г) для расчета экономической эффективности применения минеральных удобрений под ячмень использовали следующие нормативы: стоимость 1 т ячменя – 113 USD, затраты на уборку и доработку 1 тонны прибавки урожая – 17,4 USD, стоимость 1 тонны азота – 684 USD,  $P_2O_5$  – 1436,  $K_2O$  – 34 USD. Затраты на создание различных уровней кислотности почвы при расчетах не учитывались.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведения стационарных опытов с ячменем установлено, что внесение минеральных удобрений независимо от реакции почвенной среды и состава обменных катионов оказало существенное влияние на формирование урожая зерна. Максимальный урожай в опыте был сформирован в варианте с внесением N60P60K180 на фоне  $pH_{(KCl)}$  – pH 6,9 и содержанием обменных Ca – 715 и Mg – 184 мг/кг при их эквивалентном соотношении – 2,7. Прибавки урожая от внесения K60–120 на фоне N60P60 были достоверны на всех созданных уровнях кислотности почвы и обеспеченности Ca и Mg (табл. 1). Эффективность применения полного минерального удобрения возрастала с увеличением показателя pH. Прибавка урожая зерна на 1 кг д.в. N60P60K60–180 в среднем за три года составила 5,8–7,0 кг. Окупаемость минеральных удобрений с увеличением дозы калия снижалась незначительно.

Применение полного минерального удобрения с низкой дозой калия N60P60K60 было убыточным, рентабельность применения N60P60K120 составила 3–10 % и N60P60K180 – 20–30 % по сравнению с вариантами без внесения удобрений. На почвах с реакцией близкой к нейтральной ( $pH_{(KCl)}$  – 6,5–6,9) рентабельность внесения минеральных удобрений была выше, чем на почве с  $pH_{KCl}$  5,5 и содержанием обменных Ca – 548 и Mg – 135 мг/кг.

Положительная роль известкования многогранна и не сводится только к росту урожая и улучшению свойств почвы. Имеется значительное количество экспериментов, свидетельствующих о заметном влиянии извести на химический состав и другие показатели качества растениеводческой продукции.

Основной механизм влияния извести на рост растений состоит в изменении ионного состава и концентраций элементов питания в почвенном растворе и поглощающем комплексе. В полевом опыте существенное увеличение содержания белкового азота по сравнению с контрольным вариантом отмечено в вариантах

**Эффективность внесения минеральных удобрений под ячмень  
на дерново-подзолистой  
связносупесчаной почве**

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Окупаемость 1 кг НРК, кг зерна	Затраты, USD/га	Прибыль, USD/га	Рентабельность, %
Фон 1 (рН 5,5, Са 548 мг/кг, Mg 135 мг/кг, Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup> /K <sup>+</sup> = 2,8/1/0,53)						
Контроль (без удобрений)	23,6	–	–	–	–	–
N60P60K60	34,9	11,3	6,3	165,1	–21,6	–13
N60P60K120	37,8	14,2	5,9	175,1	5,3	3
N60P60K180	41,1	17,5	5,8	185,7	36,5	20
Фон 2 (рН 6,5, Са 597 мг/кг, Mg 152 мг/кг, Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup> /K <sup>+</sup> = 2,7/1/0,47)						
Контроль	26,0	–	–	–	–	–
N60P60K60	38,7	12,7	7,0	167,5	–6,2	–4
N60P60K120	41,3	15,3	6,4	177,0	17,3	10
N60P60K180	44,7	18,7	6,2	187,8	49,7	26
Фон 3 (рН 6,8, Са 685 мг/кг, Mg 143 мг/кг, Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup> /K <sup>+</sup> = 3,4/1/0,50)						
N60P60K120	40,0	14,0	5,8	–	–	–
Фон 4 (рН 6,9, Са 715 мг/кг, Mg 184 мг/кг, Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup> /K <sup>+</sup> = 2,7/1/0,39)						
Контроль	27,3	–	–	–	–	–
N60P60K60	39,8	12,5	6,9	167,2	–8,4	–5
N60P60K120	42,6	15,3	6,4	177,0	17,3	10
N60P60K180	46,6	19,3	6,4	188,9	56,2	30
Фон 5 (рН 7,1, Са 800 мг/кг, Mg 155 мг/кг, Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup> /K <sup>+</sup> = 3,6/1/0,47)						
N60P60K120	41,2	13,9	5,8	–	–	–
НСП <sub>05</sub>	2,52	–	–	–	–	–

N60P60K120–180 (табл. 2). Достоверных изменений в содержании фосфора калия и магния в зерне ячменя в зависимости от уровней минерального питания не отмечено. Максимальный сбор белка с единицы площади – 419 кг/га получен на фоне внесения N60P60K180 при рН<sub>(КСИ)</sub> – рН 6,9 и содержании обменных Са – 715 и Mg – 184 мг/кг при их эквивалентном соотношении – 2,7 (табл. 3).

Для повышения кормовой ценности зерна важно не только увеличивать содержание белка, но и улучшать его аминокислотный состав, то есть сбалансированность по аминокислотам. В белке зерна ячменя обнаружено 20 различных аминокислот, 8 из них для человека являются незаменимыми, так как не могут синтезироваться в его организме. К ним относятся лизин, треонин, метионин, триптофан, фенилаланин, валин, изолейцин и лейцин.

В наших полевых и лабораторных исследованиях существенное повышение содержания критических и незаменимых аминокислот в зерне ячменя наблюдалось при нейтрализации кислой почвы до уровня рН 6,9 и содержании обменных Са 715 мг/кг, Mg 184 мг/кг и их соотношения 2,7 (табл. 4). Прирост аминокислот в зерне на известкованных фонах обеспечивался в большей степени за счет увеличения массы треонина, лейцина и фенилаланина.

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Таблица 2

**Влияние катионного состава дерново–подзолистой связносупесчаной почвы и доз минеральных удобрений под ячмень на химический состав зерна ячменя**

Вариант	N белк.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg
	%				
<i>Фон 1 (pH 5,5, Ca 548 мг/кг, Mg 135 мг/кг, Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>/K<sup>+</sup>= 2,8/1/0,53)</i>					
Контроль (без удобрений)	1,57	0,63	0,64	0,016	0,09
N60P60K60	1,64	0,66	0,65	0,014	0,09
N60P60K120	1,72	0,63	0,64	0,015	0,09
N60P60K180	1,75	0,74	0,67	0,019	0,10
<i>Фон 2 (pH 6,5, Ca 597 мг/кг, Mg 152 мг/кг, Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>/K<sup>+</sup>= 2,7/1/0,47)</i>					
Контроль	1,62	0,68	0,65	0,012	0,09
N60P60K60	1,64	0,67	0,60	0,014	0,09
N60P60K120	1,72	0,69	0,64	0,015	0,10
N60P60K180	1,63	0,67	0,66	0,012	0,08
<i>Фон 3 (pH 6,8, Ca 685 мг/кг, Mg 143 мг/кг, Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>/K<sup>+</sup>= 3,4/1/0,50)</i>					
N60P60K120	1,66	0,72	0,67	0,017	0,09
<i>Фон 4 (pH 6,9, Ca 715 мг/кг, Mg 184 мг/кг, Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>/K<sup>+</sup>= 2,7/1/0,39)</i>					
Контроль	1,63	0,65	0,67	0,014	0,08
N60P60K60	1,82	0,68	0,64	0,019	0,09
N60P60K120	1,68	0,67	0,62	0,018	0,10
N60P60K180	1,73	0,64	0,65	0,018	0,09
<i>Фон 5 (pH 7,1, Ca 800 мг/кг, Mg 155 мг/кг, Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>/K<sup>+</sup>= 3,6/1/0,47)</i>					
N60P60K120	1,78	0,69	0,56	0,018	0,09
SD <sub>95%</sub>	0,083	0,041	0,034	0,0032	0,006

Таблица 3

**Влияние катионного состава дерново–подзолистой связносупесчаной почвы и доз минеральных удобрений на сбор сырого белка**

Вариант	Содержание сы- рого белка	Сбор сырого белка	Прибавка сырого белка	
	%	кг/га	кг/га	%
<i>Фон 1 (pH 5,5, Ca 548 мг/кг, Mg 135 мг/кг, Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>/K<sup>+</sup>= 2,8/1/0,53)</i>				
Контроль (без удобрений)	9,2	196	–	–
N60P60K60	9,6	303	107	55
N60P60K120	10,1	343	147	75
N60P60K180	10,2	373	177	90
<i>Фон 2 (pH 6,5, Ca 597 мг/кг, Mg 152 мг/кг, Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>/K<sup>+</sup>= 2,7/1/0,47)</i>				
Контроль	9,5	223	–	–
N60P60K60	9,6	336	113	51
N60P60K120	10,1	375	152	68
N60P60K180	9,5	379	156	70
<i>Фон 3 (pH 6,8, Ca 685 мг/кг, Mg 143 мг/кг, Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>/K<sup>+</sup>= 3,4/1/0,50)</i>				
N60P60K120	9,7	364	141	63
<i>Фон 4 (pH 6,9, Ca 715 мг/кг, Mg 184 мг/кг, Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>/K<sup>+</sup>= 2,7/1/0,39)</i>				
Контроль	9,5	236	–	–

Вариант	Содержание сы- рого белка	Сбор сырого белка	Прибавка сырого белка	
	%	кг/га	кг/га	%
N60P60K60	10,6	384	148	63
N60P60K120	9,8	378	142	60
N60P60K180	10,1	419	183	78
Фон 5 (pH 7,1, Ca 800 мг/кг, Mg 155 мг/кг, Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup> /K <sup>+</sup> = 3,6/1/0,47)				
N60P60K120	10,4	395	159	67

Таблица 4

**Влияние катионного состава дерново–подзолистой связносупесчаной  
почвы и доз минеральных удобрений  
на аминокислотный состав зерна ячменя**

Вариант	Треонин*	Валин	Метионин*	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Лизин*	Сумма* критиче- ских ами- нокислот	Сумма незаменимых аминокислот
Фон 1 (pH 5,5, Ca 548 мг/кг, Mg 135 мг/кг, Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup> /K <sup>+</sup> = 2,8/1/0,53)									
Контроль	5,98	6,46	1,94	7,64	4,36	8,75	3,75	11,67	38,88
N60P60K60	4,29	6,83	2,09	7,19	4,49	8,49	4,26	10,64	37,64
N60P60K120	4,31	6,77	2,02	7,65	4,53	8,74	5,43	11,76	39,45
N60P60K180	4,36	6,81	2,05	7,67	4,63	8,74	3,77	10,18	38,03
Фон 2 (pH 6,5, Ca 597 мг/кг, Mg 152 мг/кг, Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup> /K <sup>+</sup> = 2,7/1/0,47)									
Контроль	5,17	6,43	1,96	6,89	4,32	8,12	3,96	11,09	36,85
N60P60K60	4,66	7,38	2,06	8,25	4,89	9,37	5,03	11,75	41,64
N60P60K120	4,50	7,16	2,24	7,66	4,83	8,98	5,02	11,76	40,39
N60P60K180	5,42	6,87	2,07	7,41	4,62	8,59	3,56	11,05	38,54
Фон 4 (pH 6,9, Ca 715 мг/кг, Mg 184 мг/кг, Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup> /K <sup>+</sup> = 2,7/1/0,39)									
Контроль	5,82	7,79	2,33	8,09	5,12	9,6	5,09	13,24	43,84
N60P60K60	6,76	7,45	2,22	8,15	5,02	9,39	4,83	13,81	43,82
N60P60K120	6,55	7,39	2,21	8,02	4,88	9,23	5,12	13,88	43,40
N60P60K180	4,37	6,95	2,07	7,48	4,58	8,67	4,19	10,63	38,31
НСП <sub>05</sub>	0,22	0,34	0,14	0,35	0,21	0,42	0,12	–	–

## ВЫВОДЫ

1. В результате проведения стационарного опыта на дерново–подзолистой связносупесчаной почве с ячменем установлено, что максимальный урожай и сбор белка с единицы площади был сформирован в варианте с внесением N60P60K180 на фоне рН<sub>(КСИ)</sub> – рН 6,9 и содержанием обменных Ca – 715 и Mg – 184 мг/кг при их эквивалентном соотношении – 2,7. Эффективность применения полного минерального удобрения возрастала с увеличением показателя рН. Окупаемость минеральных удобрений прибавкой зерна с увеличением дозы калия снижалась незначительно. На почвах с реакцией близкой к нейтральной (рН<sub>(КСИ)</sub> – 6,5–6,9)

рентабельность внесения минеральных удобрений была выше, чем на почве с  $pH_{KCl}$  5,5 и содержанием обменных Ca – 548 и Mg – 135 мг/кг.

2. Существенное повышение содержания критических и незаменимых аминокислот в зерне ячменя наблюдалось при нейтрализации кислой почвы до уровня pH 6,9 и содержания обменных Ca 715 мг/кг, Mg 184 мг/кг и их соотношения 2,7. Прирост аминокислот в зерне на известкованных фонах обеспечивался в большей степени за счет увеличения массы треонина, лейцина и фенилаланина.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кедров–Зихман, О.К. Главные итоги изучения известкования почв и применение микроудобрений в Белоруссии / О.К. Кедров–Зихман // Сб. науч. тр. по известкованию кислых почв. – Минск, 1960. – С. 17–33.

2. Ринькис, Г.Я. Оптимизация минерального питания растений / Г.Я. Ринькис, В.Ф. Ноллендорф. – Рига: Зинатне, 1972. – 352 с.

3. Ринькис Г.Я. Сбалансированное питание растений макро– и микроэлементами / Г.Я. Ринькис, В. Ф. Ноллендорф. – Рига: Зинатне, 1982. – 304 с.

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

5. Детковская, Л.П. Действие известкования на качество зерна ячменя при различной обеспеченности почвы калием / Л.П. Детковская, Н.Н. Алексейчик, А.З. Денисова // Почвенные исследования и применение удобрений. – Минск: Ураджай, 1978. – Вып. 9. – С. 128–136.

6. Мяделец, П.С. Формирование величины и качества урожая основных зерновых культур в зависимости от различных уровней минерального питания на дерново–подзолистых легкосуглинистых почвах БССР: автореф. дис. ...канд. с.–х. наук / П.С. Мяделец. – М., 1980. –18 с.

## INFLUENCE OF AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOD– PODZOLIC LOAMY SAND SOIL AND POTASH FERTILIZERS ON PRODUCTIVITY AND QUALITY OF BARLEY GRAIN

Yu.V. Putyatin, I.M. Bogdevitch, O.M. Tavrykina,  
V.A. Dovnar, E.S. Tretjakov, D.V. Markevich

### Summary

As a result of carry out of stationary experiment on sod–podzolic loamy sand soil with barley it is established, that the maximum grain yield and cross output of protein from area unit have been grown on a variant with N60P60K180 application on the background of  $pH_{(KCl)}$  – pH 6,9 and exchangeable content Ca – 715 and Mg – 184 mg/kg with their equivalent ratio – 2,7. Efficiency of application of full mineral fertilizer increased with increase of pH index. The recoupmnt of mineral fertilizers an increase of grain yield with increase of potassium rates decreased slightly. On soils with reaction close to neutral ( $pH_{(KCl)}$  – 6,5–6,9) profitability of mineral fertilizers application was higher, than on soil with  $pH_{KCl}$  5,5 and the maintenance exchange Ca – 548 and Mg – 135 mg/kg. Essential increase of the contents of critical and essential amino acids in barley grain was observed at neutralization of acid soil to level pH 6,9 and the content

of exchangeable Ca 715 mg/kg, Mg 184 mg/kg and their ratio 2,7. The gain of amino acids in grain on limed backgrounds was provided for the most part at the expense of share increase of threonine, leucine and phenylalanine.

*Поступила 15 ноября 2012 г.*

УДК 631.81.095.337:633.16:631.445.2

## **ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МАКРО- И МИКРОУДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ЯЧМЕНЕМ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ**

**Е.И. Шпока**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

В последние годы значительно возрастает внимание к проблеме сбалансированности кормов по микроэлементному составу. Недостаток, избыток или нарушение соотношения между микроэлементами в кормах является частой причиной снижения продуктивности сельскохозяйственных животных и возникновения биогеохимических эндемических заболеваний. Большой интерес в этой связи представляет микроэлемент кобальт, так как его дефицит негативно сказывается на здоровье животных и человека. Кобальт является постоянным и необходимым компонентом любого корма и каждого рациона животных. Недостаток такого микроэлемента, как кобальт, входящего в состав витамина В<sub>12</sub>, приводит к ослаблению всего организма, а также сопровождается снижением аппетита и замедлением роста [1].

К основным фуражным культурам в Республике Беларусь относится ячмень яровой. При этом на корм широко используется не только зерно, но и солома, и мякина. Кроме того, большое значение принадлежит ячменю как продовольственной культуре. Из зерна ячменя производят перловую и ячневую крупу, которые по своим достоинствам практически не уступают рисовой и гречневой. Ячмень также является незаменимым сырьем для пивоваренной промышленности [2, 3]. Поэтому остается актуальным вопрос обогащения микроэлементами зерна ячменя.

Как известно, потребность растений в микроэлементах увеличивается при систематическом применении азотных, фосфорных и калийных удобрений. Высокие дозы минеральных удобрений индуцируют недостаток микроэлементов даже в тех почвах, в которых, по данным анализа, их достаточное количество. Возможны случаи, когда эффект от полного внесения минеральных удобрений будет низким, если одновременно не вносить необходимых микроудобрений [4, 5, 6]. Необходимость применения и выбор доз микроудобрений определяется не только содержанием подвижных форм микроэлементов в почве, но и другими факторами, в частности, уровнем питания растений другими элементами [7, 8].

Внесение оптимальных доз минеральных удобрений при сбалансированном соотношении элементов минерального питания дает возможность влиять на продуктивность и качество зерна ячменя ярового. Применение микроудобрений, в первую очередь при достаточном обеспечении растений макроэлементами, в значительной мере повышает урожайность ячменя. В связи с этим целью наших исследований являлась оценка эффективности комплексного применения макроудобрений с микроэлементами при возделывании ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве.

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования с ячменем сорта Бацька осуществляли путем проведения полевых опытов в ГП им. Суворова Узденского района Минской области на дерново-подзолистой оглеенной внизу супесчаной почве, развивающейся на рыхлой водно-ледниковой супеси, подстилаемой моренным суглинком с глубины 81 см (агродерново-подзолистая оглеенная внизу, развивающаяся на водно-ледниковой супеси, подстилаемой моренным суглинком с глубины 81 см, рыхлосупесчаная). Агрохимическая характеристика пахотного горизонта:  $pH_{KCl}$  – 5,3–5,5, содержание  $P_2O_5$  – 150–170,  $K_2O$  – 170–190,  $Co$  – 0,69–0,72 мг/кг почвы, гумуса – 2,0–2,3 % (индекс агрохимической окультуренности – 0,86).

Схемой опыта предусматривалось изучение эффективности кобальтовых микроудобрений на фоне оптимальных доз минеральных удобрений, а также их сочетания с медными и марганцевыми микроудобрениями. Минеральные удобрения (карбамид, аммофос, хлористый калий) применяли согласно схеме опыта в основное внесение. В фазу первого узла ячменя проводили подкормку карбамидом. Эффективность применения кобальтовых микроудобрений изучалась на трех фонах минерального питания (NPK, NPK+медь, NPK+медь+марганец) путем внесения в виде некорневых подкормок и в почву. Некорневую подкормку микроэлементами проводили в фазу начала трубкования в дозах согласно схеме опыта. Из микроудобрений использовали сернокислый кобальт, Адоб Марганец (2,0 л/га), Адоб Медь (1,5 л/га).

Предпосевную обработку почвы и уход за растениями осуществляли с учетом рекомендаций по интенсивной технологии возделывания зерновых культур [9]. В опытах применяли интегрированную систему защиты растений от сорняков, болезней и вредителей. Сплошную обработку гербицидом прима (0,5 л/га) осуществляли в фазу кущения ячменя, 21–28 стадия по шкале BBCH; фунгицидом фалькон (0,6 л/га) и ретардантом моддус (0,2 л/га) – в фазу начала выхода в трубку, 31–32 стадия по шкале BBCH; фунгицидом фоликур БТ (1,0 л/га) и ретардантом моддус (0,2 л/га), 37–39 стадия по шкале BBCH. Учет урожая зерна – сплошной поделяночный.

Анализ растительных образцов выполнен в соответствии с общепринятыми методиками. Азот и фосфор определяли после мокрого озоления проб в смеси серной кислоты и пероксида водорода фотоколориметрическим методом, калий – методом пламенной фотометрии.

На формирование урожая сельскохозяйственных культур, наряду с питанием растений, большое влияние оказывают водный и температурный режимы в течение вегетационного периода. У ячменя неодинаковые требования к теплу в

разные периоды роста и развития растений. В период от всходов до колошения наиболее благоприятной температурой воздуха является 20–22 °С, а при созревании зерна – 23–24 °С [10].

Температурный режим в годы исследования характеризовался некоторым отклонением от среднееголетних показателей, что не могло не сказаться на росте и развитии растений ячменя. В апреле 2010 и 2011 гг. температура была максимально приближена к среднему многолетнему значению. В мае-июне 2010 г. в среднемесячные температуры воздуха превышали среднееголетние показатели на 1,9–3,2°С, в июле и августе, в период налива зерна у зерновых, были выше нормы на 5,9 и 4,7°С соответственно.

В 2011 г. температурный режим был более приближен к средним значениям. В мае-июне среднемесячные температуры воздуха превышали норму на 1,7–3,5°С, в июле и августе, в период налива зерна у зерновых, были выше нормы на 3,1 и 6,0°С соответственно.

Из хлебных злаков ячмень наиболее засухоустойчивая культура. Однако из-за слабого развития корневой системы весеннюю засуху он переносит хуже: для него требуется увлажненная почва. Появление дружных всходов весной может быть при условии, если высеванные семена впитывают в себя влаги не менее 50 % от их веса. Ее недостаток в этот период ведет к запаздыванию всходов и их изреживанию. Много влаги ячмень расходует в фазе кущения и особенно во время выхода в трубку до колошения. Ее недостаток в этот период отрицательно сказывается на развитии растений [10].

Наименьшее количество осадков выпало в апреле 2011 г., что значительно (на 53 %) меньше среднееголетних показателей. Однако уже в июне того же года сумма осадков была на 68 % больше этих показателей

Следовательно, можно заключить, что во время проведения эксперимента метеорологические условия оказывали определенное влияние на рост и развитие растений ячменя, а также на эффективность удобрений.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В результате проведенных исследований установлено влияние комплексного применения минеральных удобрений в сочетании с микроудобрениями (кобальтовыми, медными и марганцевыми) на урожайность ячменя и вынос элементов питания (табл. 1, 3). В варианте без внесения удобрений в среднем за два года исследований урожайность зерна ячменя составила 30,9 ц/га. Применение минеральных удобрений в дозах N70+40P60K150 способствовало увеличению урожайности зерна ячменя на 14,2 ц/га. Некорневая подкормка медными микроудобрениями в фазу начала выхода в трубку обеспечивала достоверное (на 1,8 ц/га) увеличение урожайности зерна ячменя по отношению к фоновому варианту (N70+40P60K150). Некорневая подкормка медными и марганцевыми микроудобрениями обеспечивала повышение урожайности зерна ячменя по отношению к фону на 2,6 ц/га. В этом варианте получена и максимальная урожайность зерна ячменя в опыте 47,7 ц/га в среднем за два года исследований. Однако различия в прибавках урожайности в варианте с некорневой подкормкой медными и марганцевыми микроудобрениями по отношению к варианту, где применялись только медные микроудобрения, были незначительными.

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Внесение кобальта оказывало различное влияние на урожайность зерна ячменя. В среднем за два года исследований достоверная прибавка урожайности зерна от применения кобальтовых микроудобрений была получена в вариантах с некорневой подкормкой в дозе 50 г/га д.в. в фазу начала выхода в трубку и при внесении в почву в дозе 1,0 кг/га д.в. Некорневая подкормка кобальтовыми микроудобрениями в дозе 50 г/га была эффективна также в 2011 г., когда прибавка урожайности зерна ячменя составила 2,0 ц/га. Во всех остальных вариантах разница в урожайности зерна при некорневых обработках кобальтовыми удобрениями и при внесении в почву была незначительной.

Урожайность зерна ячменя в опыте несколько отличалась по годам исследований. В 2010 г. она практически по всем вариантам опыта (за исключением контрольного без внесения удобрений) была выше, чем в 2011 г., что явилось следствием более благоприятных погодных условий в течение периода вегетации.

Таблица 1

### Влияние доз и способов внесения кобальтовых микроудобрений на урожайность зерна ярового ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве

Вариант	Урожайность зерна, ц/га			Прибавка, ц/га		Оплата удобрений зерном, кг
	2010 г.	2011 г.	Ø	к контролю	к фону	
Без удобрений	30,2	31,5	30,9	–	–	–
N70+40P60K150 – Фон 1	48,1	42,1	45,1	14,2	–	4,4
Фон 1+Co <sub>0,05</sub>	48,8	44,1	46,5	15,6	1,4	4,9
Фон 1+Co <sub>0,10</sub>	48,4	41,0	44,7	13,8	–0,4	4,3
Фон 1+Co <sub>0,15</sub>	49,0	42,0	45,5	14,6	0,4	4,6
N70+40P60K150+Cu <sub>0,1</sub> – Фон 2	49,5	44,3	46,9	16,0	–	5,0
Фон 2+Co <sub>0,05</sub>	48,2	44,1	46,2	15,3	–0,7	4,8
Фон 2+Co <sub>0,10</sub>	47,2	41,5	44,4	13,5	–2,5	4,2
Фон 2+Co <sub>0,15</sub>	48,4	42,2	45,3	14,4	–1,6	4,5
N70+40P60K150+Cu <sub>0,1</sub> +Mn <sub>0,3</sub> – Фон 3	50,6	44,8	47,7	16,8	–	5,3
Фон 3+Co <sub>0,05</sub>	49,2	43,9	46,6	15,7	–1,1	4,9
Фон 3+Co <sub>0,10</sub>	49,4	45,4	47,4	16,5	–0,3	5,2
Фон 3+Co <sub>0,15</sub>	50,0	43,7	46,9	16,0	–0,8	5,0
Фон 1+Co <sub>1,0</sub> (в почву)	49,5	43,1	46,3	15,4	1,2	4,8
Фон 1+Co <sub>1,5</sub> (в почву)	48,5	43,1	45,8	14,9	0,7	4,7
Фон 1+Co <sub>2,0</sub> (в почву)	48,3	42,2	45,3	14,4	0,2	4,5
НСР <sub>0,05</sub>	1,7	1,3	1,1			

Максимальная оплата удобрений зерном получена в варианте с некорневой обработкой медью и марганцем.

При оценке эффективности комплексного применения минеральных макро- и микроудобрений при возделывании ячменя важное значение имеет химический состав основной и побочной продукции, поскольку внесенные удобрения оказывают

значительное влияние на поступление элементов минерального питания в растения, чем определяют как уровень урожайности, так и качество получаемой продукции.

В среднем за два года исследований в контрольном варианте без внесения удобрений содержание азота в зерне ячменя составило 1,92 %, фосфора – 0,76 %, калия – 0,54 %, в соломе – 0,50, 0,10 и 1,41 % соответственно. Внесение минеральных удобрений в дозе N70+40P60K150 оказало существенное влияние на содержание основных элементов питания в зерне и соломе ячменя. Так, в варианте с внесением указанных доз минеральных удобрений содержание в зерне азота увеличилось на 0,32, фосфора – на 0,18, калия – на 0,14 %, в соломе – на 0,19, 0,05, 0,47 % соответственно.

Применяемые в исследованиях микроудобрения не оказали существенного влияния на содержание азота, фосфора и калия в зерне и соломе ячменя.

Таблица 2

**Влияние удобрений на содержание основных элементов питания в зерне и соломе ярового ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве, 2010–2011 гг.**

Вариант	Содержание элементов питания, % в сухом веществе					
	Зерно			Солома		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Без удобрений	1,92	0,76	0,54	0,50	0,10	1,41
N70+40P60K150 – Фон 1	2,24	0,94	0,68	0,69	0,15	1,88
Фон 1+Co <sub>0,05</sub>	2,29	0,91	0,67	0,73	0,15	1,95
Фон 1+ Co <sub>0,10</sub>	2,26	0,94	0,68	0,79	0,16	1,96
Фон 1+ Co <sub>0,15</sub>	2,12	0,91	0,67	0,75	0,16	1,77
N70+40P60K150+Cu <sub>0,1</sub> – Фон 2	2,20	0,91	0,67	0,65	0,16	1,91
Фон 2+Co <sub>0,05</sub>	2,24	0,94	0,66	0,70	0,16	2,18
Фон 2+Co <sub>0,10</sub>	2,31	0,89	0,68	0,67	0,15	1,81
Фон 2+Co <sub>0,15</sub>	2,12	0,86	0,64	0,78	0,16	1,97
N70+40P60K150+Cu <sub>0,1</sub> +Mn <sub>0,3</sub> – Фон 3	2,25	0,85	0,65	0,77	0,14	1,68
Фон 3+Co <sub>0,05</sub>	2,24	0,83	0,67	0,70	0,15	1,76
Фон 3+Co <sub>0,10</sub>	2,18	0,82	0,65	0,72	0,17	1,80
Фон 3+Co <sub>0,15</sub>	2,22	0,84	0,68	0,73	0,17	1,68
Фон 1+Co <sub>1,0</sub> (в почву)	2,12	0,86	0,67	0,74	0,16	1,83
Фон 1+Co <sub>1,5</sub> (в почву)	2,30	0,84	0,69	0,73	0,17	1,77
Фон 1+Co <sub>2,0</sub> (в почву)	2,31	0,90	0,67	0,77	0,17	1,85
НСП <sub>0,05</sub>	0,13	0,08	0,05	0,10	0,02	0,25

На основании данных по химическому составу основной и побочной продукции ячменя был определен общий вынос элементов минерального питания (табл. 3).

На общий вынос элементов питания в исследованиях наиболее значимое влияние оказывало применение минеральных удобрений. В варианте с применением минеральных удобрений N70+40P60K150 вынос азота с урожаем основной и побочной продукции с 1 га составил 98,7 кг, фосфора – 38,8, калия – 58,8 кг. Некорневая подкормка растений ячменя кобальтом в дозе 50 г/га способствовала

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

существенному увеличению выноса азота и калия, что, вероятно, связано с некоторым увеличением урожайности ячменя в этом варианте.

Следует отметить, что общий вынос элементов питания зависит не только от уровня получаемой урожайности, но и от ряда других факторов, которые оказывают влияние на формирование урожайности культуры, таких, как погодные условия периода вегетации, дозы применяемых удобрений и др., что ограничивает использование этого показателя в агрохимической практике. В этом отношении более стабильным показателем является удельный вынос элементов питания, определяемый как вынос в расчете на 1 т основной и соответствующее количество побочной продукции. В данных исследованиях в вариантах с комплексным применением минеральных макро- и микроудобрений под ячмень яровой удельный вынос азота изменялся в пределах 21,5–23,4 кг, фосфора – 7,7–8,8, калия – 12,2–15,7 кг с 1 т основной и соответствующим количеством побочной продукции.

Таблица 3

**Влияние удобрений на вынос основных элементов питания яровым ячменем на дерново-подзолистой супесчаной почве, в сухом веществе, 2010–2011гг.**

Вариант	Общий вынос, кг/га			Удельный вынос, кг/т		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Без удобрений	59,4	21,5	38,5	19,3	7,0	12,6
N70+40P60K150 – Фон 1	98,7	38,8	58,8	21,9	8,6	13,1
Фон 1+Co <sub>0,05</sub>	107,3	39,3	70,2	23,2	8,5	15,2
Фон 1+Co <sub>0,10</sub>	101,6	39,0	62,7	22,8	8,8	14,1
Фон 1+Co <sub>0,15</sub>	99,5	38,6	64,6	22,0	8,5	14,4
N70+40P60K150+Cu <sub>0,1</sub> – Фон 2	102,3	39,6	67,5	21,9	8,5	14,5
Фон 2+Co <sub>0,05</sub>	103,1	40,2	71,8	22,4	8,7	15,7
Фон 2+Co <sub>0,10</sub>	103,0	37,2	65,6	23,3	8,4	15,0
Фон 2+Co <sub>0,15</sub>	96,8	36,4	60,4	21,5	8,0	13,5
N70+40P60K150+Cu <sub>0,1</sub> +Mn <sub>0,3</sub> – Фон 3	106,3	37,4	57,8	22,4	7,8	12,2
Фон 3+Co <sub>0,05</sub>	102,6	35,9	60,0	22,1	7,7	13,0
Фон 3+Co <sub>0,10</sub>	103,1	36,9	63,7	21,8	7,8	13,6
Фон 3+Co <sub>0,15</sub>	103,8	37,2	60,5	22,2	7,9	13,0
Фон 1+Co <sub>1,0</sub> (в почву)	99,4	37,6	63,8	21,5	8,2	13,9
Фон 1+Co <sub>1,5</sub> (в почву)	105,6	36,7	63,9	23,1	8,0	14,0
Фон 1+Co <sub>2,0</sub> (в почву)	105,1	38,3	63,6	23,4	8,5	14,3
НСР <sub>0,05</sub>	5,9	3,1	6,1	1,3	0,6	1,4

## ВЫВОДЫ

При возделывании ярового ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве установлено положительное влияние комплексного применения минеральных макро и микроудобрений на урожайность зерна, которая составила 44,4–47,7 ц/га.

Отмечена тенденция к снижению урожайности зерна ячменя при увеличении дозы кобальта, вносимого в почву.

Удельный вынос азота, фосфора, калия с 1 т основной и соответствующего количества побочной продукции при урожайности 47,7 ц/га составляет 22,4, 7,8 и 12,2 кг/т соответственно. Включение в систему удобрения ячменя медных, марганцевых и кобальтовых микроудобрений не оказывало влияния на величину удельного выноса элементов питания.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Анспок, П.И. Микроудобрения / П.И. Анспок. – Л.: Агропромизат, 1990. – 272 с.
2. Лапа, В.В. Применение удобрений и качество урожая / В.В. Лапа, В.Н. Босак; БелНИИПА. – 2006. – 119 с.
3. Лапа, В.В. Влияние доз и сроков внесения азотных удобрений на урожай и качество зерновых культур на высококультуренной дерново-подзолистой почве / В.В. Лапа, В.Н. Босак // Агрохимия. – 2001. – № 12. – С. 29–34.
4. Волошин, Е.И. Кобальт в почвах и растениях фоновых территорий / Е.И. Волошин // Агрохимический вестник. – 2002. – №3. – С. 22–26.
5. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
6. Ковальский, В.В. Микроэлементы в растениях и кормах / В.В. Ковальский. – Минск: Колос, 1971. – 235 с.
7. Ягодин, Б.А. Кобальт в жизни растений / Б.А. Ягодин. – М.: Наука, 1970. – 343 с.
8. Школьник, М.Я. Значение микроэлементов в жизни растений и земледелии Советского Союза / М.Я. Школьник. – М.: АН СССР, 1963. – 74 с.
9. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сб. отрас. регламентов / под общ. ред. В.Г. Гусакова. – Минск: Беларус. наука, 2005. – 304 с.
10. Осин, А.Е. Ячмень – высокоурожайная культура / А.Е. Осин. – Минск: Ураджай, 1983. – 79 с.

## **COMPLEX APPLICATION MACRO- BOTH MICRONUTRIENTS INFLUENCE ON PRODUCTIVITY AND CARRYING OUT OF FOOD ELEMENTS BY BARLEY ON CULTIVATION ON SOD-PODZOLIC SANDY SOIL**

**E.I. Shpoka**

### **Summary**

Influence of complex application macro- both micronutrients on productivity and carrying out of food elements by barley is studied. Positive influence of optimum mineral fertilizers doses N70+40P60K150 in a combination to copper and magnesium micronutrients on grain productivity is established. The tendency to decrease in productivity of barley grain is noted at increase in a dose of the cobalt brought in soil.

*Поступила 13 июля 2012 г.*

## ВЛИЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ОБМЕННЫМ МАГНИЕМ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА КУКУРУЗЫ

О.М. Таврыкина, И.М. Богдевич, Ю.В. Путятин,  
Е.С. Третьяков, В.А. Довнар, Д.В. Маркевич  
*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

### ВВЕДЕНИЕ

Переход к интенсивной системе земледелия с введением наиболее продуктивных сортов и культур, наряду с увеличением доз минеральных удобрений, приводит к повышению продуктивности пашни и, как следствие, к необходимости широкого использования магниевых удобрений на полях с низким его содержанием. Отмечается высокая эффективность магниевых удобрений при низкой обеспеченности почв магнием не только для сельскохозяйственных культур с высокой потребностью в нем (картофель, овощные), но и для зерновых, технических культур, многолетних трав [1–3].

В Беларуси с 1965 г. было проведено семь циклов известкования кислых почв, где в качестве мелиоранта использовалась доломитовая мука с содержанием магния около 20 % [4]. Это привело к закономерному повышению содержания в почвах обменных форм магния.

В работе 1980–х гг. приведено оптимальное содержание обменного магния, равное 55–70 мг·кг<sup>-1</sup> почвы, в том числе для кукурузы рекомендуемое содержание Mg на песчаных и супесчаных почвах составляло 85–95 мг·кг<sup>-1</sup>, на суглинистых и тяжелосуглинистых почвах – 110–120 мг·кг<sup>-1</sup> [5]. В настоящее время средневзвешенное содержание обменного магния в пахотных почвах республики достигло уровня 147 мг Mg на кг почвы, а доля почв с низким содержанием элемента многократно снизилась и составляет 4,8 % [6].

Магний играет важную роль в поддержании баланса элементов питания, необходимого растениям, и его нельзя рассматривать без учета содержания других катионов. Изменение его содержания в почве влечет за собой изменение содержания катионов-антагонистов, в первую очередь калия и кальция, что оказывает влияние на поглощение их растениями. Оптимальное эквивалентное соотношение Ca:Mg и K:Mg в почвах приводится в литературе в достаточно широком диапазоне, однако параметры избыточного содержания магния в почве не установлены, мнения различных авторов противоречивы [7–11]. Соотношение Ca:Mg в почвах, рассчитанное по средневзвешенным показателям содержания элементов в областях республики, изменяется в пределах (3,0–5,7):1, а K:Mg – (0,3–0,4):1. Наличие более существенных различий в содержании элементов питания и их соотношений выявляется по отдельным полям и участкам.

Для объективной оценки состояния магниевых элементов питания растений и оптимизации применения магниевых удобрений необходимо использовать методы диагностики по химическому анализу почв и растений. Определение степени обе-

спеленности почв доступным магнием вместе с данными по содержанию его в индикаторных органах растений позволяет надежно оптимизировать магниевое питание растений и применение удобрений под ту или иную культуру.

По сравнению с другими культурами кукуруза усваивает больше питательных веществ из почвы. Наиболее интенсивное их поглощение наблюдается в период быстрого роста – от выметывания метелок до цветения. По данным А.Н. Аристархова, А.Г. Трещова [12], величина потребления магния кукурузой (кг на 10 ц урожая основной и побочной продукции) была достаточно высокой и составила 4,5 кг, в то время как для других зерновых она не превышала 2,1–3,2 кг. Несбалансированное содержание элементов питания в почве в конечном итоге ухудшает катионный состав зеленой массы кукурузы, что сказывается на качестве кормов. Так, пониженное содержание магния в кормах вызывает заболевание животных пастбищной тетанией, так как задерживаются процессы метаболизма минерального азота в органические формы. Повышенное содержание калия в почве усугубляет этот процесс, препятствуя поступлению Mg в растения вследствие антагонизма ионов.

Если биологические особенности кукурузы в отношении потребности в азоте, фосфоре и калии сравнительно хорошо изучены, то сведения о поступлении магния в растения кукурузы ограничены. До сих пор исследования по влиянию содержания в почве магния и соотношения катионов Ca:Mg и K:Mg на урожайность кукурузы и поглощение других катионов в Беларуси не проводились.

Цель исследования – установить влияние обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием на урожайность зерна кукурузы, показатель качества силоса – соотношение  $K/(Ca+Mg)$ , содержание и соотношения катионов кальция, калия и магния в почве и в растениях кукурузы.

## **МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследования проводили в 2010–2011 гг. в модельном стационарном полевом опыте, заложенном в СПК «Щемяслица» Минского района, на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощных лессовидных суглинках.

Опыт смоделирован таким образом, что делянки в его пределах значительно различались по содержанию обменного магния (1M KCl), от 50 до 265 мг/кг почвы, для создания различий, отражающих агрохимическую пестроту в условиях производства (табл. 1). Высокие уровни содержания обменного Mg на делянке создавались путем внесения быстродействующего удобрения – сульфата магния ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ). Агрохимические параметры почвы были определены дважды: весной перед насыщением опытных делянок и после уборки урожая осенью ( $pH_{KCl}$ , гумус,  $P_2O_5$ , K, Ca, Mg). Опыт заложен в двух полях и, согласно севообороту, в 2010 г. на поле №1, в 2011 г. на поле №2 возделывалась кукуруза гибрид Дельфин на делянках с разными уровнями обеспеченности почвы Mg (всего 64 делянки).

Содержание подвижных форм калия по Кирсанову по делянкам варьировало от 90 до 320 мг K/kg почвы, обменного кальция в 1 M растворе KCl – от 850 до 1580 мг Ca/kg почвы. Содержание катионов и их соотношения не выходят за рамки существующих в республике почв и отражают их наличие в производственных условиях.

Реакция почвы  $pH_{KCl}$  различалась незначительно, в пределах 6,11–6,42. Опытные делянки находились в одной группе по содержанию подвижных фос-

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

фатов, содержание  $P_2O_5$  (0,2 М НСl) составило 211–295 мг/кг почвы. Содержание гумуса (по Тюрину) было в пределах 1,72–2,02 %.

Таблица 1

### Содержание основных катионов (Mg, K, Ca) в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (опытные поля 1 и 2)

Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва (n=64)	Содержание в почве, мг·кг <sup>-1</sup>		
	Mg	K	Ca
Среднее	75	250	1320
Варьирование	50–87	130–320	1200–1440
Среднее	115	215	1300
Варьирование	90–150	120–305	1130–1490
Среднее	180	195	1200
Варьирование	157–215	100–270	850–1470
Среднее	240	165	1210
Варьирование	220–265	90–250	950–1580

Корреляционные связи катионов  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  и их соотношений рассчитывали с учетом их содержания по делянкам. Урожайность зерна кукурузы, показатель качества кормов, содержание катионов приведены на фоне внесения минеральных удобрений в дозе  $N_{110+30}P_{60}K_{120}$ . Минеральные удобрения внесены в виде карбамида, аммофоса, калия хлористого весной под предпосевную культивацию.

Отбор растительных образцов проводился в стадию раннего развития растений (6–8 листьев) и в стадию восковой спелости листостебельной массы. Учет урожая зерна кукурузы был проведен методом учетных площадок в стадию физиологической спелости зерна. Агротехника возделывания кукурузы на опытных полях – общепринятая для данной зоны. Повторность опыта 4-кратная, размещение делянок рендомизированное. Общая площадь делянки – 12 м<sup>2</sup>, учетная – 8 м<sup>2</sup>.

В образцах растений определяли: калий, кальций, магний из одной навески после мокрого озоления серной кислотой; калий – на пламенном фотометре; кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрофотометре. Статистическая обработка результатов исследований выполнена по Б.А. Доспехову (1985) с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на компьютере.

Гидротермические условия вегетационных периодов в годы исследования оказались благоприятными для роста и развития кукурузы, что отразилось на соответствующих показателях урожайности и качества культуры. Среднемесячная температура воздуха за вегетационные периоды в 2010 и 2011 гг. оказалась выше нормы на 3,5°С и 2,3°С соответственно, количество осадков в отдельные месяцы превышало многолетние показатели в 2 и более раза. Результаты расчета ГТК показали, что май и июнь 2010–2011 гг. характеризовались как избыточно увлажненные (ГТК 1,9–2,6), а июль и август – как благоприятные месяцы с хорошим увлажнением (ГТК 1,3–1,5). ГТК за вегетационный период в 2011 г. составил 2,0, в 2010 г. – 1,7.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследований значительное (в 5,3 раза) повышение содержания обменного магния в почве от низкого до высокого уровня приводило к изменению соотношения катионов Ca:Mg в 7,8 раза, между величинами получена тесная

зависимость (рис. 1–А). Содержание Mg в опытных делянках различалось от 50 до 265 мг·кг<sup>-1</sup>, при этом соотношение Ca:Mg в ППК также изменялось в широких пределах – от 16,9:1 до 2,2:1. Содержание обменного кальция сравнительно мало различалось по делянкам опыта (1000–1500 мг Ca на кг почвы).

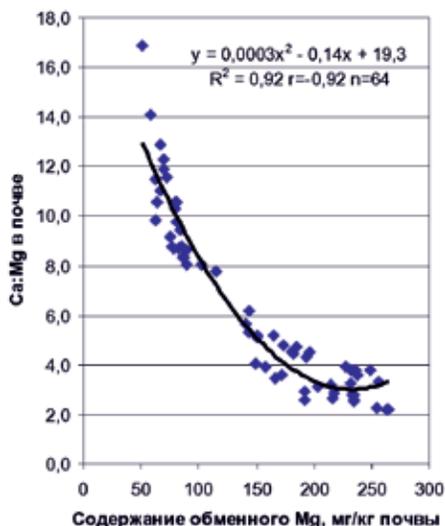


Рис. 1–А. Влияние содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на соотношение катионов Ca:Mg

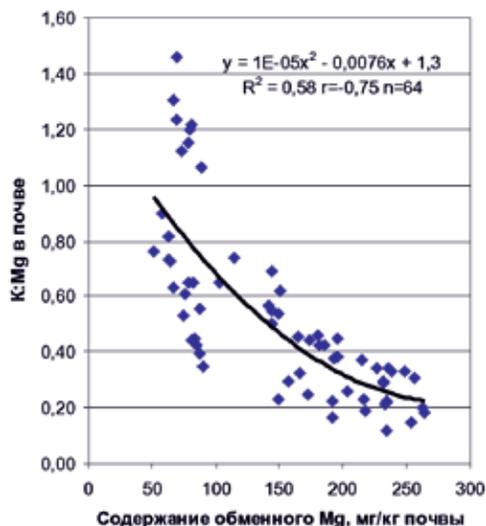


Рис. 1–Б. Влияние содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на соотношение катионов K:Mg

Изменение содержания обменного магния приводило и к изменению соотношения K:Mg в почве, зависимость между показателями описывается полиномиальной кривой второго порядка (рис. 1–Б). Соотношение K:Mg изменялось в пределах опыта от 0,12:1 при высоком содержании магния в почве до 1,46:1 на уровнях с низким его содержанием. В опыте отмечается постепенное снижение содержания подвижного калия при повышении концентрации обменного магния в почве.

Известно, что калий является первоочередным конкурентом магния при адсорбции поглощающим комплексом почвы. Следует отметить, что в условиях легкосуглинистой почвы содержание подвижных форм калия варьировало очень широко – от низкого (90–100 мг(K) кг<sup>-1</sup>) при высоком содержании обменного магния до высокого (300–320 мг(K) кг<sup>-1</sup>) на вариантах с низким содержанием обменного магния. Видимо, высокие концентрации Mg<sup>2+</sup> способствовали вытеснению катионов K<sup>+</sup> из почвенного поглощающего комплекса, которые затем вымывались из почвы. Подобный антагонизм, существующий между Mg<sup>2+</sup> и K<sup>+</sup>, был описан в работах зарубежных авторов [13, 14]. Особенно неблагоприятно это сказывается на бедных калием почвах, где высокие концентрации обменного магния могут существенно препятствовать поглощению растениями калия. По литературным данным, соотношение K:Mg в почве выше 1,5:1 приводит к дисбалансу элементов питания и может вызвать ухудшение качества фуражных культур. В частности, для кукурузы критическим является соотношение K:Mg 1:1, которое может привести к получению некачественного зеленого корма, особенно на фоне влияния других негативных факторов [15].

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Установлено, что урожайность зерна кукурузы существенно зависела от обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием и, соответственно, от соотношения Ca:Mg (рис. 2–А).

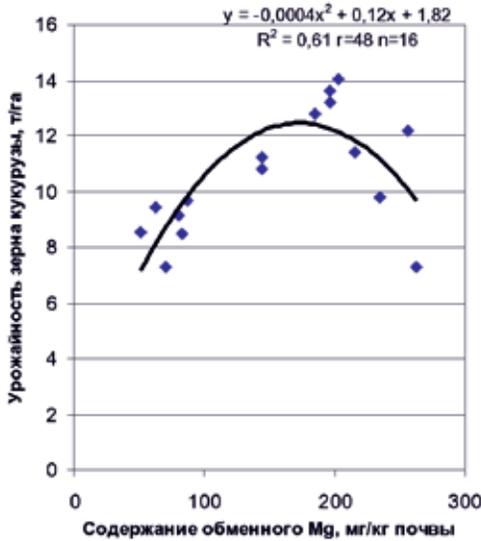


Рис. 2–А. Влияние содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на урожайность зерна кукурузы

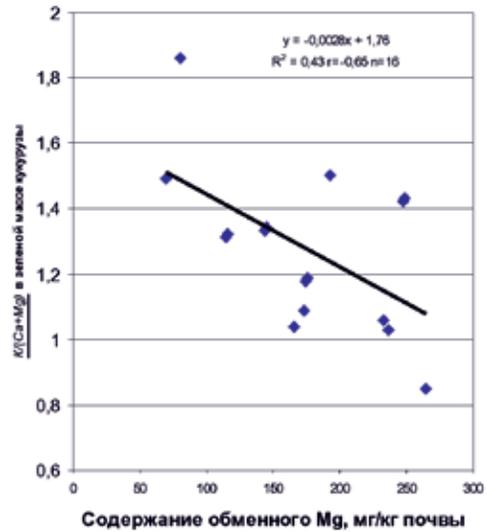


Рис. 2–Б. Влияние содержания обменного магния в почве на показатель качества кормов K/(Ca+Mg)

Урожайность зерна кукурузы повышалась при повышении содержания обменного магния от 50 до 220 мг·кг<sup>-1</sup>. Наибольшая урожайность зерна кукурузы 10,8–14,1 т/га получена при содержании обменного магния 145–160 мг·кг<sup>-1</sup>, при этом соотношение катионов Ca:Mg изменялось в диапазоне 5,1–5,7. Наиболее низкие показатели урожайности зерна кукурузы, не превышающие 9,8 т/га на фоне внесения минеральных удобрений в дозе N<sub>110+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>120</sub>, отмечены при самом низком и самом высоком содержании обменного Mg и соотношениях катионов Ca:Mg в почве. Зависимости влияния соотношения катионов K:Mg в почве на урожайность зерна кукурузы выявлено не было. В научной литературе приводятся данные о снижении урожайности различных культур на участках с повышенной концентрацией в почве подвижных форм магния вследствие антагонизма катионов Mg–K и недостатка калия для растений на бедных калием почвах [10, 16, 17]. Антагонизм между этими двумя катионами происходит уже при корневом поглощении, высокие концентрации калия также могут препятствовать передвижению магния внутри растения и наоборот.

Для оценки качества силоса при разном уровне обеспеченности почвы магнием был использован показатель соотношения катионов K/(Ca+Mg) (рис. 2–Б). Так, была выявлена линейная корреляция между величинами, при повышении содержания Mg в почве значения показателя K/(Ca+Mg) снижались. Необходимо отметить, что значения данного соотношения находились в допустимых пределах (не превышали 2,2) и изменялись в зависимости от содержания магния в почве от 0,9 до 1,9. Оптимальные значения показателя, составляющие по данным ве-

теринарной службы 1,0–1,3, были выявлены при содержании обменного магния в почве в пределах 165–270 мг·кг<sup>-1</sup>.

Наряду с выявлением обменных форм магния в почве, необходимых для определения обеспеченности почв и соответственно растений этим элементом, химический анализ растений может также диагностировать нехватку или избыток этого элемента.

В опыте был произведен отбор растений кукурузы на стадии развития 6–8 листа для определения в них элементов минерального питания, также проанализировано их содержание в зерне кукурузы. Результаты анализа показали, что с увеличением содержания обменного магния в почве содержание его в листьях кукурузы повышалось в 1,7 раза (с 0,18 до 0,30 %) (рис. 3–А). Повышение концентрации обменного магния в почве сопровождалось снижением содержания кальция и калия в листьях кукурузы с 0,65 до 0,30 % (в 2,1 раза) и с 5,8 до 4,3 % (в 1,3 раза) сухого вещества соответственно (рис. 3–Б).

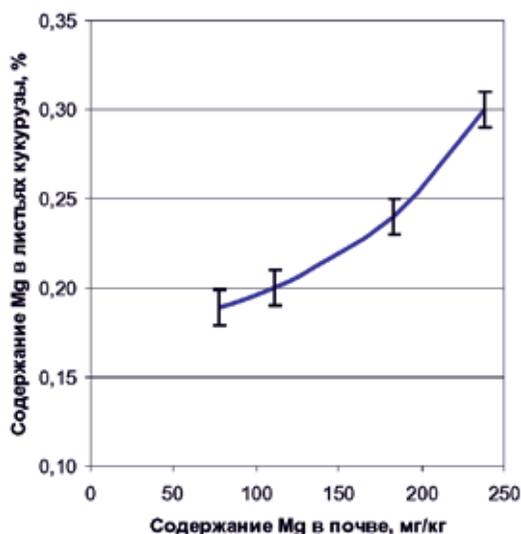


Рис. 3–А. Содержание Mg в листьях кукурузы при различной обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием

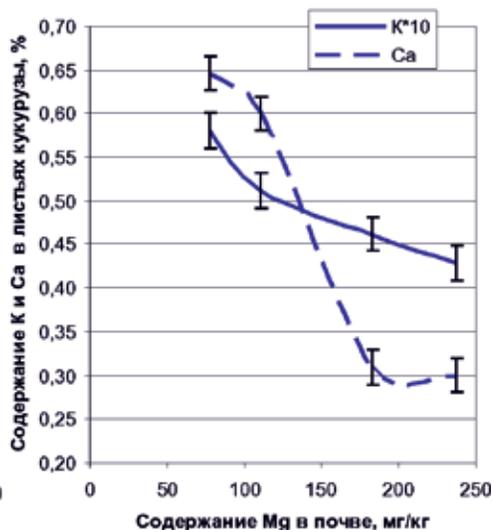


Рис. 3–Б. Содержание K и Ca в листьях кукурузы при различной обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием

Подобная закономерность в содержании элементов (Mg, Ca и K) наблюдалась и в зерне кукурузы. При повышении содержания обменного магния в почве содержание его в зерне кукурузы повышалось в 1,6 раза (с 0,07 до 0,11 %), при этом одновременно происходило снижение содержания кальция и калия – с 0,015 до 0,010 % (в 1,5 раза) и с 0,43 до 0,39 % (в 1,1 раза) соответственно.

При повышении содержания обменного магния в почве соотношение Ca:Mg в листьях и зерне кукурузы также снижалось (рис. 4–А, 4–Б). Однако снижение данного соотношения происходило до определенных пределов содержания магния в почве – до 170 мг·кг<sup>-1</sup>, дальнейшее увеличение содержания обменного магния в почве не изменяло соотношение Ca:Mg в листьях и зерне кукурузы. Соотношение Ca:Mg в листьях было на порядок выше, чем в зерне и в то же время на порядок ниже, чем в почве.

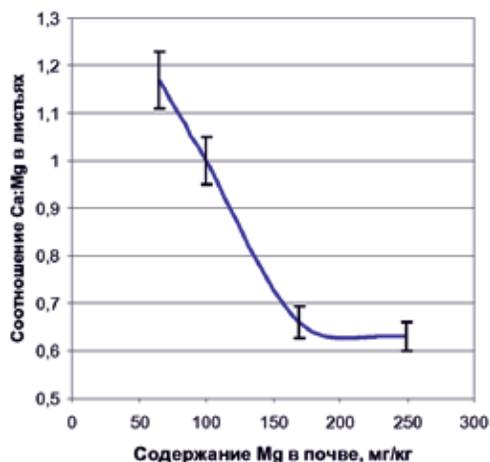


Рис. 4–А. Влияние содержания обменного магния в почве на соотношение катионов Са:Мg в листьях кукурузы

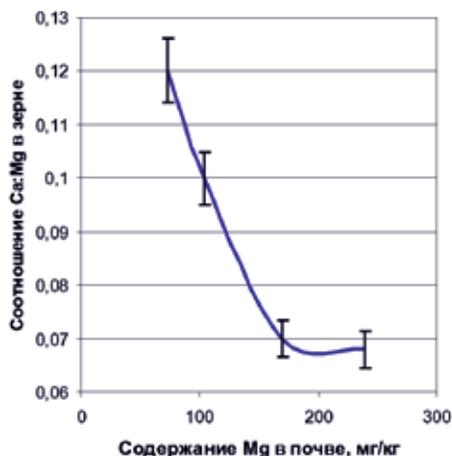


Рис. 4–Б. Влияние содержания обменного магния в почве на соотношение катионов Са:Мg в зерне кукурузы

Изучение влияния содержания магния в почве на соотношение К:Мg в листьях и зерне кукурузы показало, что при повышении содержания Мg в почве соотношение К:Мg в листьях и в зерне снижается, существенное снижение соотношения в 3 раза происходит в листьях, в меньшей степени в зерне – в 1,3 раза (рис. 5–А, 5–Б). Соотношение К:Мg в листьях кукурузы достигало значений (5,1–11,1):1, в то время как в почве и в зерне оно было значительно меньше – (0,12–1,46):1 и (1,4–1,8):1 соответственно.

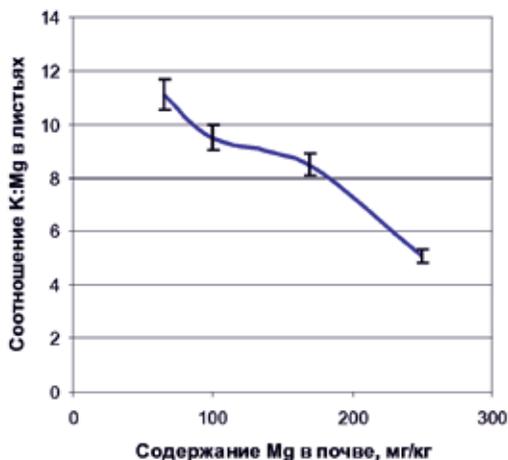


Рис. 5–А. Влияние содержания обменного магния в почве на соотношение катионов К:Мg в листьях кукурузы

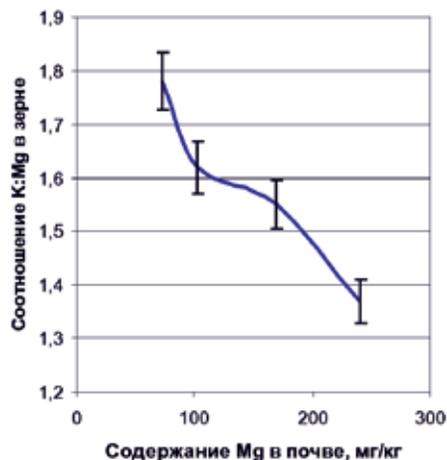


Рис. 5–Б. Влияние содержания обменного магния в почве на соотношение катионов К:Мg в зерне кукурузы

## ВЫВОДЫ

1. Повышение содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с 50 до 265 мг/кг почвы сопровождалось изменением эквивалентного соотношения катионов Са:Мg в почве в широких пределах – от 16,9 до 2,2. При этом эк-

вивалентное соотношение К:Мг в почве изменялось в пределах 1,46 до 0,12. Диапазон изменения соотношений катионов в опыте соответствует диапазону варьирования этих величин в дерново-подзолистых суглинистых почвах пахотных земель республики.

2. Установлено повышение урожайности зерна кукурузы в среднем на 4,5 т/га за счет повышения содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в диапазоне 50–210 мг Mg/kg почвы на фоне внесения минеральных удобрений в дозе  $N_{110+30}P_{60}K_{120}$ . Дальнейшее повышение содержания Mg до 265 мг/kg почвы приводило к снижению урожайности кукурузы.

3. Повышение содержания обменного магния в почве в диапазоне 50–265 мг Mg/kg почвы способствовало увеличению его содержания в листьях кукурузы в 1,7 раза на ранней стадии развития, в фазе 6–8 листьев. Установлено также снижение содержания конкурирующих катионов кальция и калия в растениях кукурузы по мере повышения содержания обменного магния в почве. Установленные закономерности говорят о перспективе разработки растительной диагностики магниевого питания кукурузы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Магницкий, К.П. Магниевые удобрения / К.П. Магницкий. – М.: Колос, 1967. – 200 с.

2. Мазаева, М.М. Магниевые и магниесодержащие удобрения сельскому хозяйству / М.М. Мазаева. – М.: Знание, 1962. – 36 с.

3. Мишук, О.Л. Влияние магния и серы на урожайность и качество семян ярового рапса на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / О.Л. Мишук; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2008. – 22 с.

4. Клебанович, Н.В. Известкование почв Беларуси / Н.В. Клебанович, Г.В. Василюк. – Минск: БГУ, 2003. – 322 с.

5. Рекомендации по применению магниесодержащих удобрений в Московской области в условиях интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур. – М., 1988. – 23 с.

6. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / под общ. ред. И.М. Богдевича. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии, 2012. – 276 с.

7. Глазкова, Л.Н. Магний в почвах Белорусского Полесья: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.03 / Л.Н. Глазкова; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. – М., 1981. – 22 с.

8. Содержание магния и оптимальные параметры плодородия почв / И.А. Кожуро [и др.]. – М.: Колос, 1984. – С. 162–172.

9. John, E.S. Soil calcium: magnesium ratios. Department of Agronomy [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC6437.html>. – Date of access: 14.02.2012.

10. Loide, V. The content of available magnesium of Estonian soils, its ratio to potassium and calcium and effect on the field crops. Thesis for the degree of D. Agr.Sc / V. Loide. – Tartu, 2002. – 118 p.

11. Simson, CR. Effect of varying Ca:Mg ratios on yield and composition of corn (zea mays) and alfalfa (medicago sativa) / CR. Simson, R. Corey, M. Sumner // Commun. in soil science and plant analysis, 1979. – № 10(1&2). – P. 153–162.

12. Аристархов, А.Н. Методические указания по применению магниесодержащих удобрений / А.Н. Аристархов, А.Г. Трещов. – Москва, 1983. – 28 с.
13. Interaction of potassium and other ions / R. Rd. Munson [et al.] // Madison, Wisconsin USA. – 1968. – P. 321–353.
14. Welte, E. Potassium-magnesium antagonism in soils and crops / E. Welte, W. Werner // J. Sci. Food Agric. – 1963. – P. 186–187.
15. Magnesium Basics: Agronomic Library [Electronic resource]. – Mode of access: [http://www.spectrumanalytic.com/support/Library/ff/Mg\\_Basics](http://www.spectrumanalytic.com/support/Library/ff/Mg_Basics). – Date of access: 14.02.2012.
16. Bergmann, W. Nutritional disorders of plants – development, visual and analytical diagnosis / W. Bergmann [et al.] // Stuttgart, New York. – 1992. – 234 p.
17. Karnataka, J. Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium / J. Karnataka // Agric. Sci. – 2011. – №24(1). – P. 106–109.

## EFFECT EXCHANGEABLE MAGNESIUM IN THE PODZOLUVISOL LOAM SOIL ON THE YIELD AND QUALITY OF CORN GRAIN

O.M. Tavrykina, I.M. Bogdevich, Yu.V. Putyatin,  
E.S. Tret'yakov, V.A. Dovnar, D.V. Markevich

### Summary

The two years studies of grain corn yield responses in model field experiment with exchangeable magnesium content in soil from low – 50 mg·kg<sup>-1</sup> to high – 265 mg·kg<sup>-1</sup> and varying K:Mg and Ca:Mg ratios 2,2–16,9:1 and 0,12–1,46:1 correspondingly has been presented. It was found the highest grain yield – 10,8–14,1 t·ha<sup>-1</sup> at N<sub>110+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>120</sub> application was obtained at Ca:Mg ratios 5,1–5,7 and exchangeable magnesium content 145–160 mg·kg<sup>-1</sup>.

It was found that increasing exchangeable magnesium content in soil from 50 up to 265 mg Mg/kg raised magnesium concentration in leaves of corn plants on growth stage of 6–8 leaves up to 1,7 times. At the same time concentration of nutrients – calcium and potassium in corn plants leaves decreased with increasing exchangeable magnesium content in soil.

*Поступила 19 ноября 2012 г.*

УДК 633.491:631.8.022.3:631.559:631.445.24

## ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО УДОБРЕНИЯ, РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

Т.Ф. Перскова, А.В. Терешонкова

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

### ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь картофель занимает среди полевых культур второе место после зерновых. Он с успехом используется на пищевые, технические и

кормовые цели. Картофель является универсальным продуктом питания, его по праву называют вторым хлебом. При промышленной переработке из клубней картофеля получают крахмал, патоку, глюкозу, спирт, углекислоты, декстрин, а отходы, брага и мезга, являются хорошим кормом для животных.

Влияние удобрений на урожайность и качество картофеля имеет первостепенное значение. Во время цветения поглощается 75 % требуемого азота, 66 % калия и магния, 50 % фосфора. Дозы и формы органических и минеральных удобрений, сроки и способы их внесения оказывают существенное влияние как на урожайность, так и на качественные показатели клубней картофеля: товарность, содержание сухих веществ, крахмала, белка, витаминов, нитратного азота, вкусовые и кулинарные особенности [1–7].

Проведено много исследований по применению удобрений под картофель и влиянию отдельных элементов питания на качество клубней [10, 13, 14, 15]. Однако картофель, поступающий на перерабатывающие предприятия республики, в большинстве случаев не отвечает требованиям, предъявляемым к клубням как техническому сырью.

В системе мероприятий по получению высокоурожайного картофеля немало важное место принадлежит росторегулирующим веществам, поэтому вопрос оптимизации их применения на картофеле не теряет своей актуальности.

Снижение доз удобрений и улучшение качества продукции возможно за счет совместного применения удобрений с регуляторами роста, позволяющими снижать их дозы на 20–30 % [11].

Интенсификация земледелия усиливает потребность в микроудобрениях [8]. Микроэлементы выполняют важнейшие функции в процессах жизнедеятельности растений и являются необходимым компонентом системы удобрения для сбалансированного питания сельскохозяйственных культур [8, 9]. На почвах с низким содержанием микроэлементов внесение микроудобрений может повысить урожайность сельскохозяйственных культур на 10–15 % и более [8]. Микроудобрения существенно улучшают качество растениеводческой продукции, так как они положительно влияют на накопление белков и углеводов [8, 10].

Использование хелатированных микроудобрений является одним из основных элементов современных технологий выращивания картофеля и широко применяется в мировой практике. Некорневые подкормки микроэлементами в хелатной форме продлевают жизнедеятельность листового аппарата, способствуют увеличению урожая, повышают содержание сухого вещества и крахмала в клубнях [5]. Микроэлементный состав растениеводческой продукции – важный показатель их биологической ценности.

В настоящее время, наряду с простыми солями, стали широко применяться органо-минеральные и хелатные соединения микроэлементов. В зарубежной практике (Японии, Франция, США, ФРГ) для некорневых обработок растений по вегетации широко используют различные композиционные составы и жидкие комплексные удобрения с хелатными формами микроэлементов [12]. Преимущество этих составов и удобрений по сравнению со смесями химических солей микроэлементов заключается в том, что они практически нетоксичны, достаточно растворимы в воде, обладают высокой устойчивостью в широком диапазоне pH, хорошо сочетаются со средствами защиты. Комплексоны металлов поступают в растения из почвы и через листья (при некорневых подкормках) без изменений,

и только в растении происходит их разрушение и переход микроэлементов в метаболиты растительных тканей.

Доступность этих соединений и практическое получение в производственных масштабах является перспективным для использования в растениеводстве.

Проблема обеспечения картофелеперерабатывающих предприятий качественным техническим сырьем является актуальной. Возникает необходимость в разработке технологии выращивания картофеля для переработки на картофелепродукты. В связи с этим целью наших исследований являлось совершенствование технологии возделывания позднеспелого сорта картофеля за счет применения жидкого комплексного удобрения, фиторегуляторов и микроэлементов на фоне органо-минеральной системы удобрения.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования на картофеле проводились в 2010–2011 гг. на опытном поле УО БГСХА «Тушково». Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке, подстилаемая с глубины около 1 м моренным суглинком. Пахотный горизонт характеризовался следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,53–1,66 %; рН (KCl) – 6,0–6,1; содержание подвижных форм фосфора (по Кирсанову) – 203–213 мг; калия (по Кирсанову) – 220–240 мг/кг почвы. Почва относится к среднекультуренной (в 2010 г.  $I_{ок} = 0,53$ ; в 2011 г.  $I_{ок} = 0,79$ ) и пригодна для возделывания картофеля. Общая площадь опытной делянки – 30 м<sup>2</sup>, учетная – 25 м<sup>2</sup>, расположение вариантов – систематическое, повторность – четырехкратная. Предшественник – ячмень. Учет урожая картофеля проводили поделяночно.

Годы проведения исследований отличались по метеорологическим условиям: 2010 г. – слабозасушливый (ГТК–1,0), 2011 г. – влажный (ГТК–1,7), что оказало существенное влияние на рост и развитие картофеля.

Согласно схеме опыта, на фоне 50 т/га органических (полуперепревший навоз), фосфорных и калийных удобрений в норме  $P_{80}K_{180}$  изучали два уровня азотного питания  $N_{100}$  и  $N_{120}$  совместно с некорневыми подкормками микроэлементом (Эколист моно Cu) и применением регулятора роста (Эпин), а также жидким комплексным удобрением с хелатными формами микроэлементов марки НРК 8–4–9–0,15(В)–0,15(Сu)–0,10(Мn), выпускаемом на ОАО «Гомельский химический завод». Данный вид удобрения применялся дважды за период вегетации. Первая некорневая подкормка проводилась при высоте растений 15–20 см в дозе 4 л/га, вторая – в фазу начала бутонизации картофеля в той же дозе. Обработка регулятором роста – в фазу бутонизации, некорневая подкормка микроэлементом – в фазу начала бутонизации.

Эпин – это антистрессовый препарат, представитель фиторегуляторов последнего поколения. Он регулирует и активизирует защитные функции клетки у растений, изменяет ультраструктуру и функции биологических мембран, ускоряет клеточное деление. Адаптируя растение к среде, он ускоряет его развитие и созревание. Препарат помогает растениям преодолевать действия нежелательных факторов (неблагоприятные погодные условия, возбудители болезней, техногенные загрязнения) за счет стимуляции деятельности растений и использования скрытых резервов генома.

Эколист моно Медь (70 % Cu, 6 % N, 4 % S) – 0,6 л/га – концентрат с высоким содержанием меди в виде хелата ЭДТА. Содержащаяся в этом препарате медь в легкоусвояемой форме стимулирует образование белка, повышает сопротивляемость растений. Он рекомендуется в основном для листовых подкормок картофеля. Медь активизирует окислительно-восстановительные процессы, увеличивает активность окислительных ферментов, способствует повышению содержания хлорофилла в листьях. Кроме того, внесенная под картофель медь участвует в обмене азота, ускоряет клубнеобразование, повышает устойчивость растений к фитофторе, уменьшает поражаемость картофеля черной ножкой, паршой и железистой пятнистостью.

Объект исследований – поздний сорт белорусской селекции Атлант. Содержание крахмала – 15,0–22,0 %, вкусовые качества хорошие и отличные (разваримость хорошая – тип С). Пригоден для производства сухого картофельного пюре, замороженного картофеля и крахмала. Устойчив к картофельной нематоде и раку картофеля, высокая устойчивость к черной ножке, мокрой гнили, фитофторозу листьев и клубней, вирусным болезням, средняя – к парше обыкновенной и ризоктониозу. Пригоден для выращивания на всех типах почв, эффективно использует естественное плодородие, чувствителен к переувлажнению почвы в первый период вегетации, продолжительность периода физиологического покоя клубней средняя, лежкость хорошая.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенных исследований установлено положительное влияние микроэлемента и регулятора роста, а также жидкого комплексного удобрения на фоне органо-минеральной системы удобрения на урожайность и качество клубней картофеля.

Установлено, что за счет естественного плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в контрольном варианте опыта сформировалось урожайность клубней картофеля от 20,2 (2011 г.) до 25,1 (2012 г.) т/га, в среднем за два года – 22,7 т/га, на фоне 50 т/га органических удобрений – 33,4 т/га (среднее за два года).

Исследуемый сорт картофеля Атлант по-разному реагировал на внесение азотных удобрений на фоне  $P_{80}K_{180}$ . Так, при применении 120 кг/га д.в. азота на фоне органических удобрений в среднем за два года исследований урожайность клубней картофеля составила 35,0 т/га, что на 3,4 т/га выше, чем при дозе – 100 кг/га (31,6 т/га).

Применение биологически активных веществ также оказало влияние на повышение урожайности клубней картофеля. В среднем за два года исследований обработка растений картофеля регулятором роста (эпин) и микроэлементом (эколист моно Cu) на фоне 50 т/га органических удобрений +  $N_{100}P_{80}K_{180}$  способствовала увеличению урожайности клубней до 32,8–33,7 т/га, с прибавкой в 1,2 и 2,1 т/га по отношению к эквивалентной дозе внесения органических и минеральных удобрений (вар. 3 – Фон +  $N_{100}P_{80}K_{180}$ ). Наиболее высокая урожайность у сорта Атлант по двум годам исследований получена в вариантах, где применялись в качестве некорневых подкормок по вегетирующим растениям картофеля жидкие комплексные удобрения с хелатными формами микроэлементов производства ОАО «Гомельский химиче-

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

ский завод» на фоне органо-минеральной системы удобрения с уровнем азотного питания 100 и 120 кг/га д.в. Прибавка урожая при внесении азота 100 кг/га д.в. (вар. 7) составила по сравнению с фоном (вар. 3) 4,3 т/га, соответственно при внесении 120 кг/га д.в. (вар. 8) – 6,7 т/га по отношению к фону (вар. 4, табл.1).

Таблица 1

### Влияние изучаемых факторов на урожайность и качество картофеля (2010–2011 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га			Прибавка, т/га		Содержание в клубнях			
	2010 г.	2011 г.	среднее	к контролю	к фону	сухое вещество, %	крахмал, %	сбор крахмала, т/га	нитраты, мг/кг
1. Контроль	20,2	25,1	22,7	–	–	19,30	17,43	3,92	45,2
2. Навоз 50 т/га – фон	–	33,4	33,4	10,7	–	17,60	17,15	5,90	65,5
3. Фон + N <sub>100</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub>	27,3	35,8	31,6	8,9	–	21,15	19,93	6,21	51,0
4. Фон + N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub>	33,5	36,4	35,0	12,3	1,6	22,09	19,68	6,85	62,7
5. Фон+N <sub>100</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub> +эпин+Cu*	28,1	37,5	32,8	10,1	–	22,00	20,68	6,20	59,2
6. Фон+N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub> +эпин + Cu*	36,3	31,0	33,7	11,0	0,3	22,57	20,63	7,61	58,9
7. N <sub>100</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub> + удобрения жидкие комплексные для картофеля	31,3	40,4	35,9	13,2	2,5	22,78	20,50	7,27	63,6
8. N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub> + удобрения жидкие комплексные для картофеля	38,8	44,5	41,7	19,0	8,3	22,56	20,30	8,37	69,8
НСР <sub>05</sub>	2,10	3,10	0,93			0,56	0,29		2,34

Примечание: Cu – микроэлемент Эколист моно Cu.

Наряду с урожайностью, важным критерием оценки эффективности применяемых удобрений является качество получаемых клубней. Наибольшее значение в формировании качества клубней в наших исследованиях оказывали азотные и калийные удобрения, а также погодные условия в период вегетации картофеля в годы проведения исследований.

Внесение 120 кг/га азота на фоне органических удобрений способствовало повышению содержания сухого вещества на 0,94 % и снижению содержания крахмала на 0,25 % относительно дозы внесения 100 кг/га азота. При увеличении уровня азотного питания по всем вариантам опыта содержание нитратов в клубнях картофеля увеличивалось, но во всех вариантах опыта не превышало предельно допустимого значения (150 мг/кг).

Сорта картофеля, реагирующие незначительным снижением содержания крахмала в клубнях на применение удобрений, практически более ценны, чем сорта, характеризующиеся резким снижением этого показателя. При промышленной пе-

переработке картофеля, что в настоящее время является наиболее перспективным направлением, к важным показателям качества относится содержание в клубнях сухого вещества, которое в значительной мере определяет выход готового продукта. Наиболее пригодными в этом отношении являются сорта с содержанием сухого вещества от 20 до 25 %. Как показывают результаты наших исследований, по этому показателю сорт Атлант пригоден для промышленной переработки.

Наиболее высокое содержание крахмала 20,68 % отмечалось в варианте, где проводилась обработка растений картофеля регулятором роста и микроэлементом на фоне органо-минеральной системы удобрения с уровнем азотного питания 100 кг/га. При этом содержание нитратов составило 59,2 мг/кг. Обработка растений картофеля удобрением жидким комплексным на фоне 100 кг/га азота также способствовала повышению содержания в клубнях сухого вещества (22,78 %) и крахмала (20,50 %). При увеличении дозы азота до 120 кг/га происходило некоторое снижение сухого вещества (22,56 %), крахмала (20,30 %) и повышение содержания нитратов до 69,8 мг/кг.

Однако сбор крахмала с одного гектара зависит не только от содержания его в клубнях, но и от урожайности клубней. Так, максимальный сбор крахмала с единицы площади (8,37 т/га) наблюдался в варианте  $N_{120}P_{80}K_{180}$  с некорневой подкормкой удобрением жидким комплексным. В контрольном варианте выход крахмала составил 3,92 т/га. При внесении органических и минеральных удобрений этот показатель увеличился в 1,5–1,7 раз. Обработка растений картофеля удобрением жидким комплексным на фоне 50 т/га органических удобрений +  $N_{100}P_{80}K_{180}$  увеличила выход крахмала на 1,06 т/га (вар. 7 к вар. 3), а регулятором роста Эпин+эколист моно Си (вар. 6) и удобрением жидким комплексным (вар. 8) по сравнению с 50 т/га органических удобрений +  $N_{120}P_{80}K_{180}$  (вар. 4) – на 0,76 и 1,52 т/га.

## ВЫВОДЫ

В среднем за 2 года исследований установлено, что наиболее высокая урожайность у позднеспелого сорта Атлант (41,7 т/га) с высокими показателями качества клубней (содержание сухого вещества – 22,56 %, крахмала – 20,30 %, сбора крахмала с единицы площади – 8,37 т/га, нитратов – 69,8 мг/кг) получена на фоне органо-минеральной системы удобрения (50 т/га полуперепревшего навоза +  $N_{120}P_{80}K_{180}$ ) с дополнительными некорневыми подкормками по вегетирующим растениям картофеля удобрением жидким комплексным при высоте растений 15–20 см (4 л/га) и в фазу начала бутонизации (4 л/га).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Босак, В.Н. Система удобрения в севооборотах на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах / В.Н. Босак. – Минск: БелНИИПА, 2003. – 176 с.
2. Власенко, Н.Е. Удобрение картофеля / Н.Е. Власенко. – М.: Агропромиздат, 1987. – 218 с.
3. Завалин, А.А. Влияние удобрений на качество картофеля / А.А. Завалин, О.А. Гремицких, А. Нианг // Доклады РАСХН. – 1993. – № 3. – С. 38–43.
4. Карманов, С.Н. Урожай и качество картофеля / С.Н. Карманов, В.П. Кирюхин, А.В. Коршунов. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 167 с.

5. Лимантова, Е.М. Накопление нитратов в картофеле / Е.М. Лимантова, В.В. Лапа, О.Ф. Рыбак // Химизация сельского хозяйства. – 1990. – № 1. – С. 20–22.

6. Рекомендации по определению биологической ценности сельскохозяйственных культур / И.М. Богдевич [и др.]. – Минск: ИПА, 2005. – 14 с.

7. Соломина, И.П. Повышение качества клубней картофеля при интенсивном производстве / И.П. Соломина. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1989. – 45 с.

8. Рациональное применение удобрений / И.Р. Вильдфлуш [и др.]. – Горки: БГСХА, 2002. – 324 с.

9. Рак, М.В. Некорневые подкормки микроудобрениями в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур / М.В. Рак, М.Ф. Дембицкая, Г.М. Сафронюк // Земляробства і ахова раслін. – 2004. – № 2. – С. 25–27.

10. Лапа, В.В. Минеральные удобрения и пути повышения их эффективности / В.В. Лапа, В.Н. Босак. – Минск: Бел НИИПА, 2002. – 184 с.

11. Шевелуха, В.С. Регуляторы роста растений в сельском хозяйстве / В.С. Шевелуха, В.М. Ковалев, Л.Г. Груздев // Вестник с.-х. науки. – 1985. – № 9. – С. 57–65.

12. Жидкие удобрения для внекорневой подкормки сельскохозяйственных культур: рекламный проспект.

13. Босак, В.Н. Качество клубней картофеля при применении различных доз удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / В.Н. Босак // Земляробства і ахова раслін. – 2005. – № 6. – С. 22–23.

14. Завалин, А.А. Влияние удобрений на качество картофеля / А.А. Завалин, О.А. Гремицких, А. Нианг // Доклады РАСХН. – 1993. – № 3. – С. 38–43.

15. Лапа, В.В. Применение удобрений и качество урожая / В.В. Лапа, В.Н. Босак / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 120 с.

### **THE EFFECT OF FERTILIZER, GROWTH REGULATORS AND MICROELEMENTS ON YIELD AND QUALITY OF POTATO TUBERS IN SODDY-PODZOLIC LOAMY SOIL**

**T.F. Persikova, A.V. Tereshonkova**

#### **Summary**

Problem on maintenance of the enterprises which are engaged in potato processing by qualitative technical raw materials is actual, and there is a necessity for working out of technology of cultivation of a potato for processing on products from a potato.

On the basis of the spent researches the data about action of complex fertilizers, regulators of growth and microcells against organo-mineral fertilizer systems on productivity and quality of tubers of a potato of a grade of atlant is presented.

The expediency of processing of plants of a potato in vegetation by liquid complex fertilizer against organo-mineral system of fertilizer that promotes increase in productivity of a potato and increase of its quality is established.

*Поступила 9 августа 2012 г.*

## **ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КАПУСТЫ БЕЛОКОЧАННОЙ РАННЕЙ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ПОСАДКИ**

**А.Р. Аксенюк, Ю.М. Забара, А.В. Якимович, Н.В. Мойсевич**  
*Институт овощеводства, Самохваловичи, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Обеспечение населения Республики Беларусь ранней овощной продукцией в настоящее время является актуальной проблемой. Так, ежегодно в страну импортируется ранней капусты в объеме около 4 тыс. т, стоимостью более 1 млн долл. США. В свою очередь, погодно-климатические условия Беларуси позволяют ежегодно производить ее в открытом грунте с поставкой на рынок уже в третьей декаде мая – первой декаде июня.

Важнейшим направлением исследований, наряду с использованием ультраранних сортов и гибридов капусты и способов выращивания рассады, является улучшение агрофизических свойств почвы, ее температурного режима и системы минерального питания растений. Для возделывания капусты в короткий сжатый срок должен быть разработан комплекс агроприемов, обеспечивающих быстрый рост и развитие растений не только в послепосадочный период, но и также сохранение интенсивного роста и развития в течение всего, весьма короткого вегетационного периода (45-55 дней). Осуществление технологий, гарантирующих получение ультраранней и ранней продукции капусты, требует использования комплекса специализированных машин, обеспечивающих качественную обработку почвы, включая ее фрезерование с одновременным профилированием разных по форме гряд, а также эффективного применения удобрений.

Капуста хорошо отзывается на применение минеральных и органических удобрений. Органические удобрения обеспечивают растения элементами питания по мере их минерализации [1]. В посадках капусты, выращиваемых в интенсивных овощных севооборотах без применения органических удобрений, со временем образуются «пятна» со слаборазвитыми растениями по причине плохой водопроницаемости почвы и недостаточного доступа воздуха к корням, вызывающего у капустных растений ложное азотное голодание. Однако внесение только органического удобрения не может в достаточном количестве обеспечить капусту питательными веществами, так как его разложение в почве и высвобождение из него доступных для растений элементов питания происходит медленнее, чем возрастает потребность в них [2]. Минеральные удобрения не оказывают такого всестороннего действия на почву, как органические, но в их составе питательные элементы находятся в легкодоступной для растений форме. Лучшие результаты получают при совместном применении органических и минеральных удобрений.

Разработка доз внесения минеральных удобрений в сочетании с органическими на основе знаний физиологической роли отдельных элементов питания и использования их с учетом биологических и морфологических особенностей растений может обеспечить значительное повышение урожайности капусты. Ско-

роспелые сорта, как правило, менее урожайны, чем средне- и позднеспелые, вследствие существования обратной корреляционной связи между признаками скороспелости и продуктивности. Причиной их пониженной продуктивности является свойственный скороспелым сортам и гибридам малый объем продуктивной массы и короткий вегетационный период. Небольшая вегетативная масса и малый период роста и развития не обеспечивают накопления достаточного количества пластических веществ для формирования высокой продуктивности растений.

Имеющиеся научные данные по дозам внесения минеральных удобрений под капусту белокачанную весьма неоднозначны. В связи с этим цель наших исследований – установить оптимальные дозы применения высокотехнологичного комплексного азотно-фосфорно-калийного удобрения с учетом биологических особенностей роста и развития первого отечественного ультрараннего гибрида капусты Илария F<sub>1</sub>.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на опытном поле РУП «Институт овощеводства», расположенном в пос. Самохваловичи Минского района в 2010-2011 гг. Почва опытного участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая, развитая на лессовидном среднем суглинке, подстилаемом с глубины 60-80 см мореной. Основные агрохимические показатели пахотного (0-20 см) слоя почвы: гумус (по И.В. Тюрину) – 2,37-2,51 %; рН<sub>KCl</sub> – 6,1-6,5; подвижные формы P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O (по А.Т. Кирсанову) 262-370 и 280-291 мг/кг воздушно-сухой почвы соответственно.

Указанные годы характеризовались контрастными агрометеорологическими условиями по температурному режиму и количеству осадков, что позволило полнее оценить влияние изучаемых агротехнических приемов на урожайность и качество ранней капусты белокачанной. По данным агрометеостанции «Минск» Минского района, среднесуточная температура воздуха за вегетационный период (апрель-июнь) 2010-2011 гг. была выше средних многолетних значений на 3,3–8,4 °С. Осадков в 2010 г. выпало больше на 117 мм, в 2011 г. – на 31 мм по сравнению со средним многолетним показателем (182 мм).

При разработке технологии выращивания ранней капусты изучали три способа формирования поверхности почвы: гряды, сформированные АПК-2,8 (рис. 1), АКП-4 (рис. 2), ровная поверхность (рис. 3).



Рис. 1. Гряды, сформированные активными рабочими органами АПК-2,8



Рис. 2. Гряды, сформированные пассивными рабочими органами АКП-4

Объектом исследования служил включенный в «Государственный реестр сортов и древесно-кустарниковых пород» гибрид капусты белокачанной белорусской



Рис. 3. Ровная поверхность почвы

селекции Илария F<sub>1</sub> ультрараннего срока созревания с периодом вегетации 75-80 дней от массовых всходов до начала технической зрелости.

Рассаду ранней капусты выращивали в пластиковых кассетах, с объемом ячейки – 65 см<sup>3</sup>. Посев семян капусты в кассеты проводили во II декаде марта. В открытый грунт рассаду капусты высаживали во II декаде апреля и сразу укрывали нетканым агро материалом спанбонд для получения более ранней продукции. Снимали спанбонд за 15 дней до уборки продукции.

В опыте по оптимизации минерального питания при выращивании капусты использовали удобрение азотно-фосфорно-калийное комплексное марки-13-12-19-5(Na<sub>2</sub>O)-0,15(B), разработанное в РУП «Институт почвоведения и агрохимии». Дозы внесения рассчитывали по действующему веществу азота в комплексном удобрении. Контролем и фоном служил вариант с применением торфо-навозного компоста (ТНК) в дозе 60 т/га.

Учетная площадь делянки в опыте – 14 м<sup>2</sup>, повторность – четырехкратная, размещение делянок – рендомизированное [3,4]. Твердость почвы определяли твердомером Ревякина с плоским плунжером, рабочая поверхность которого составила 1 см<sup>2</sup>. Повторность измерений – десятикратная [5]. Биометрические измерения растений проводили на всех делянках опыта. Площадь листьев рассчитывали по формуле Н.Ф. Коняева [6]. Уборку урожая ранней капусты проводили по мере созревания кочанов выборочно.

Определение качественных показателей продукции осуществляли в лаборатории агрохимии и качества продукции РУП «Институт овощеводства»: сухое вещество – методом высушивания, содержание сахаров – по Бертрану, аскорбиновой кислоты – по И.К. Мурри, нитратов – количественным ионометрическим методом [7].

Полученные в результате проведения исследований данные подвергали статистической обработке (дисперсионный анализ – согласно методике полевого опыта Б.А. Доспехова [3] с помощью пакета Microsoft).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наличие в почве элементов питания в доступной для растений форме и необходимом количестве – основа получения высоких урожаев. Обеспечение по-

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

требности культур основными элементами минерального питания в период роста и развития оказывает существенное воздействие на продукционные процессы, происходящие в растении [8, 9, 10]. Изучение роста и развития растений капусты позволяет наиболее полно определить процесс формирования урожайности данной культуры.

В результате проведенных нами биометрических измерений растений капусты ранней в опыте по изучению доз комплексного минерального удобрения на различных профилях гряд установлено увеличение площади листьев с повышением дозы внесения удобрения (табл. 1).

Таблица 1

### Биометрические показатели капусты белокочанной ранней в зависимости от способа формирования поверхности почвы и действия доз комплексных минеральных удобрений (2010-2011 гг.)

Способ формирования гряд, название агрегата	Вид и дозы удобрений	Высота растения, см	К-во листьев, шт.	Диаметр розетки, см	Диаметр кочана, см	Площадь листьев, см <sup>2</sup>
Гряды, сформированные активными рабочими органами АПК-2,8	60 т/га ТНК – фон (контроль)	19,1	15,2	52,4	13,3	5130
	фон+N65P60K95	19,6	14,6	54,0	13,9	5475
	фон+N90P83K131	19,8	14,9	55,8	15,5	6148
	фон+N115P106K168	19,6	14,6	55,3	15,0	6093
Гряды, сформированные пассивными рабочими органами АКП-4	60 т/га ТНК – фон (контроль)	19,9	13,8	53,3	14,0	4973
	фон+N65P60K95	20,5	14,0	54,4	14,6	5586
	фон+N90P83K131	19,3	15,6	54,2	15,9	6284
	фон+N115P106K168	20,3	15,0	55,2	15,4	6509
Ровная поверхность почвы	60 т/га ТНК – фон (контроль)	18,2	14,4	51,5	13,8	5367
	фон+N65P60K95	18,6	14,4	53,0	14,8	5727
	фон+N90P83K131	19,3	14,3	55,6	15,2	5869
	фон+N115P106K168	18,7	14,3	55,4	15,2	6060

Выявлено, что наибольшая площадь листьев у капусты гибрида Илария F<sub>1</sub> (6148 см<sup>2</sup>) в условиях укрытия агроматериалом спанбонд образовалась при выращивании на узкопрофильных грядах, сформированных активными рабочими органами АПК-2,8 (фреза) в варианте 60 т/га+N90P83K131. При дальнейшем повышении дозы удобрения до уровня N115P106K168 увеличение площади листьев растений капусты не наблюдалось. На грядах, сформированных пассивными рабочими органами (агрегатом АКП-4), и у растений, высаженных на ровной поверхности почвы, наибольшая площадь листьев (6509 и 6060 см<sup>2</sup> соответственно) отмечена при внесении N115P106K168 на фоне 60 т/га ТНК.

Диаметр кочана был наибольшим при внесении 60 т/га ТНК в сочетании с дозой комплексного минерального удобрения N90P83K131. В данном варианте по отношению к варианту без минеральных удобрений диаметр кочана увеличился на 16,5 % при выращивании капусты на грядах, сформированных активными рабочими органами, на 13,5 % на грядах, сформированных пассивными рабочими органами, на 10,1 % на ровной поверхности почвы.

Важным физико-механическим показателем, который характеризует прочностные свойства почвы по отношению роста корней к работе почвообрабатывающих орудий является твердость почвы [5]. Проведенные исследования по определению влияния способов формирования гряд на твердость почвы показывают, что на момент уборки она изменяется в зависимости от профиля гряд (табл. 2). Твердость почвы в слое 0-25 при выращивании капусты на грядах, сформированных активными рабочими органами, находилась в пределах от 4,5 до 15,2 кг/см<sup>2</sup>, а на грядах, сформированных пассивными рабочими органами, данный показатель был выше и составил 6,5-18,4 кг/см<sup>2</sup>. При выращивании капусты на ровной поверхности показатель твердости почвы был наибольшим и в зависимости от слоя почвы варьировал от 12,7 до 29,3 кг/см<sup>2</sup>.

В среднем по слоям при формировании узкопрофильных гряд агрегатом АПК-2,8 с активными рабочими органами твердость почвы составила 8,1 кг/см<sup>2</sup>. При выращивании капусты на грядах, сформированных пассивными рабочими органами агрегатом АКП-4, она увеличилась на 3,3 кг/см<sup>2</sup>. При посадке рассады капусты на ровной поверхности данный показатель был наибольшим и составил 20,2 кг/см<sup>2</sup>.

Таблица 2

**Твердость почвы в зависимости от способов формирования гряд при возделывании капусты ранней**

Глубина почвы, см	Узкопрофильные гряды, сформированные активными рабочими органами АПК-2,8 (фреза)			Узкопрофильные гряды, сформированные пассивными рабочими органами АКП-4			Ровная поверхность почвы		
	2010 г.	2011 г.	среднее	2010 г.	2011 г.	среднее	2010 г.	2011 г.	среднее
0-5	1,7	7,3	4,5	3,7	9,2	6,5	14,2	11,2	12,7
5-10	3,4	9,2	6,3	5,7	11,8	8,8	20,0	15,8	17,9
10-15	3,8	9,3	6,6	6,8	14,5	10,7	19,8	16,8	18,3
15-20	4,8	10,9	7,9	11,0	14,6	12,8	26,1	19,5	22,8
20-25	11,3	19,0	15,2	17,1	19,6	18,4	31,5	27,1	29,3
среднее по горизонтам	5,0	11,1	8,1	8,9	14,0	11,4	22,3	18,1	20,2

Таким образом, на узкопрофильных грядах, сформированных активными рабочими органами и пассивными рабочими органами, твердость почвы уменьшилась по отношению к ровной поверхности на 59,9 и 43,1 % соответственно, что создает более благоприятные условия для роста и развития растений.

При выращивании ранних сортов капусты требуется высокий азотный фон при умеренном фосфорно-калийном питании. Однако недостаток в почве доступной фосфорной кислоты в первый период роста и развития растений вызывает необратимые физиологические нарушения, которые нельзя устранить последующим внесением даже высоких доз фосфорных удобрений. Так, по данным НИИОХ [11], внесение под ранние сорта и гибриды капусты повышенных доз азота (N120–150) на фоне P60K90 на дерново-подзолистой почве ускоряет созревание капусты, в 2–2,5 раза увеличивает ранний и на 25–30 % общий урожай кочанов.

Несмотря на различия погодно-климатических условий сезона, зависимость урожайности капусты от доз комплексного минерального удобрения и способов формирования профиля поверхности почвы проявилась во все годы наших исследова-

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

дований. В результате исследований установлена количественная зависимость урожайности ультраранней капусты белокочанной гибрида Илария F<sub>1</sub> от доз внесения комплексного минерального удобрения и поверхности почвы (табл. 3).

Таблица 3

### Урожайность капусты белокочанной ранней группы зрелости в зависимости от доз удобрений и способов формирования поверхности почвы

Способ формирования гряд	Дозы удобрений	Урожайность, т/га			Прибавка	
		2010 г.	2011 г.	среднее	т/га	%
Гряды, сформированные активными рабочими органами агрегатом АПК-2,8	60 т/га ТНК – фон (контроль)	45,6	41,9	43,8	–	–
	фон+N65P60K95	56,9	44,7	50,8	7,1	16,1
	фон+N90P83K131	65,7	48,8	57,3	13,5	30,9
	фон+N115P106K168	63,4	47	55,2	11,5	26,2
среднее		57,9	45,6	51,8		
Гряды, сформированные пассивными рабочими органами агрегатом АКП-4	60 т/га ТНК – фон (контроль)	46,6	40,1	43,4	–	–
	фон+N65P60K95	51,7	44,5	48,1	4,8	11,0
	фон+N90P83K131	61,6	47,4	54,5	11,2	25,7
	фон+N115P106K168	61,4	47,6	54,5	11,2	25,7
среднее		55,3	44,9	50,1		
Ровная поверхность почвы	60 т/га ТНК – фон (контроль)	41,8	39,8	40,8	–	–
	фон+N65P60K95	50,4	41,1	45,8	5,0	12,1
	фон+N90P83K131	51	44,2	47,6	6,8	16,7
	фон+N115P106K168	48,4	44,7	46,6	5,8	14,1
среднее		47,9	42,5	45,2		
НСР <sub>05</sub> для факторов: А – способ формирования гряд – 2,9; В – дозы удобрений – 3,3.						

Наибольшая (47,6-57,3 т/га) урожайность капусты ультрараннего гибрида Илария F<sub>1</sub> независимо от способа формирования гряд получена при внесении минеральных удобрений в дозе N90P83K131 на фоне 60 т/га ТНК. Это способствовало повышению урожайности капусты на 13,5 т/га, или 30,9 %, при выращивании на грядах, сформированных активными рабочими органами, на 25,7 % и 16,7 % при формировании гряд пассивными рабочими органами и при выращивании на ровной поверхности соответственно по отношению к варианту без минеральных удобрений. Дальнейшее повышение дозы минеральных удобрений до уровня N115P106K168 не приводило к увеличению урожайности.

При выращивании капусты на ровной поверхности почвы урожайность кочанов в среднем по всем дозам минеральных удобрений составила 45,2 т/га. Применение гряд, сформированных активными рабочими органами, позволило повысить урожайность капусты на 14,6 %, а формирование поверхности почвы пассивными рабочими органами – на 10,8 %.

Многочисленные экспериментальные данные показывают, что внесение умеренных доз удобрений практически не сказывается на качестве продукции, но при усиленном минеральном питании могут происходить существенные сдвиги в качестве урожая капусты [15,16,8]. В ряде исследований [10,12,13,14] отмечено, что химический состав и качество овощной продукции зависят от сортовых особен-

ностей растений, почвенно-климатических условий, агротехники возделывания, вносимых удобрений и других факторов. Однако во многих случаях приводимые ими данные получены в значительно отличающихся условиях.

Применяемые нами дозы удобрения оказывали влияние не только на урожайность капусты, но и на качество продукции. Качественные показатели капусты белокочанной ранней группы зрелости гибрида Илария F<sub>1</sub> по изучаемым дозам минерального удобрения на различной поверхности почвы представлены в таблице 4.

Таблица 4

**Биохимические показатели продукции капусты белокочанной гибрида Илария F<sub>1</sub> в зависимости от доз минеральных удобрений и способов формирования гряд, 2010-2011 гг.**

Способ формирования гряд, название агрегата	Дозы удобрений	Сухое вещество, %	Сахара, %		Аскорбиновая кислота, мг/%	Нитраты, мг/кг
			моно	сумма		
Гряды, сформированные активными рабочими органами агрегатом АПК-2,8	60 т/га ТНК – фон (контроль)	6,0	3,03	3,72	20,9	798
	фон+N65P60K95	6,0	3,08	3,38	22,0	767
	фон+N90P83K131	5,7	3,13	3,67	23,0	826
	фон+N115P106K168	5,9	3,19	3,79	21,5	879
среднее		5,9	3,11	3,64	21,9	817
Гряды, сформированные пассивными рабочими органами агрегатом АКП-4	60 т/га ТНК – фон (контроль)	5,9	2,85	3,76	20,8	938
	фон+N65P60K95	5,8	3,02	3,92	20,5	783
	фон+N90P83K131	5,8	2,90	3,78	21,5	854
	фон+N115P106K168	5,9	3,33	3,67	23,0	857
среднее		5,8	3,03	3,93	21,5	858
Ровная поверхность почвы	60 т/га ТНК – фон (контроль)	5,9	3,45	3,93	22,7	792
	фон+N65P60K95	5,9	3,35	4,48	23,4	773
	фон+N90P83K131	6,1	3,63	4,01	23,3	736
	фон+N115P106K168	5,9	3,78	4,22	22,8	663
среднее		5,9	3,55	4,16	23,1	741

Установлено, что у гибрида Илария F<sub>1</sub> в среднем за годы исследований с увеличением доз внесения комплексного минерального удобрения независимо от способа формирования поверхности почвы на фоне 60 т/га ТНК содержание сухого вещества в кочанах капусты варьировало в пределах 5,7-6,1 %, сахаров – 3,38-4,48 %. Наибольшее количество аскорбиновой кислоты в кочанах капусты при всех способах формирования поверхности почвы (23,0; 21,5; 23,3 мг/%) сохранилось при внесении минеральных удобрений в дозе N90P83K131, однако самое большое ее количество в среднем по всем дозам минеральных удобрений было в продукции капусты, выращенной на ровной поверхности.

В последние годы особенно возросла значимость овощей в диетическом и лечебном питании, что потребовало углубленного исследования качественного состава продукции. Поскольку капуста в основном потребляется в свежем виде, без глубокой технологической обработки, важно, чтобы содержание нитратов в продукции не превышало допустимые уровни, вследствие чего подобные исследования приобретают

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

особую актуальность. Минеральные удобрения являются одним из основных факторов, влияющих на накопление нитратов. Содержание нитратов обычно повышается в дождливые годы, особенно, если на период уборки приходится значительное количество осадков. Так, С.С. Ванеян, А.Ф. Вишнякова [17] отмечают, что именно погодные условия вегетационных периодов оказывают большее влияние на биохимический состав капусты, чем применение орошения и удобрений.

Выявлено, что при выращивании капусты с внесением минеральных удобрений в дозе N65P60K95 и формировании гряд активными рабочими органами отмечалось самое низкое содержание нитратов в продукции, ниже допустимого уровня (для капусты белокочанной ранней (до 1 сентября) допустимый уровень содержания нитратов не более 800 мг/кг [18]) на 33 мг/кг, или 4,1 %. При последующем увеличении доз комплексного минерального удобрения содержание нитратов увеличивалось. При повышении дозы удобрений до уровня N90P83K131 данный показатель возрастал на 7,7 % (59 мг/кг). Наиболее высокое количество нитратов, превысившее допустимый уровень, содержалось в продукции, полученной при внесении максимальной дозы минеральных удобрений N115P106K168.

При выращивании капусты на грядах, сформированных пассивными рабочими органами, и на ровной поверхности наибольшее количество нитратов было отмечено у гибрида Илария F<sub>1</sub> в варианте с внесением ТНК 60 т/га. Внесение комплексного минерального удобрения способствовало снижению их количества в продукции на 16,5 %.

### ВЫВОДЫ

Изучение влияния способов формирования гряд на урожайность и качество капусты белокочанной ранней показало, что наилучший рост и развитие растений обеспечивается на грядах, сформированных активными и пассивными рабочими органами. Прибавка урожайности по отношению к выращиванию капусты на ровной поверхности почвы составила 2,3-7,9 и 5,0-9,7 т/га соответственно в зависимости от дозы вносимого удобрения.

Выявлено, что для ультрараннего гибрида Илария F<sub>1</sub> оптимальным в условиях укрытия растений спанбондом (нетканый агроматериал) является внесение 60 т/га ТНК в сочетании с N90P85K135, что совместно с выращиванием на грядах, сформированных активными рабочими органами, обеспечило получение урожайности 57,3 т/га, при формировании гряд пассивными рабочими органами – 54,5 т/га, при выращивании капусты на ровной поверхности поля – 47,6 т/га. Дальнейшее повышение дозы минеральных удобрений до уровня N115P106K168 не приводило к увеличению урожайности капусты.

Установлено, что различные способы формирования гряд не вызывали заметной разницы в химическом составе кочанов капусты, который в большей степени зависел от погодных условий сезона и доз применяемых комплексных минеральных удобрений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Рациональное применение удобрений под капусту: рекомендации / Гос. агропром. комплекс СССР. – М.: Агропромиздат, 1989. – 22 с.

2. Технология возделывания и хранения новых сортов и гибридов овощных культур: рекомендации / Всерос. науч.-исслед. ин-т овощеводства. – М., 2004. – 44 с.

3. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): уч. для студ. высших с.-х. учеб. завед. по агроном. спец. / Б.А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с

4. Методика полевого опыта в овощеводстве и бахчеводстве / Науч.-исслед. ин-т овощ. хоз-ва, Укр. науч.-исслед. ин-т овощеводства и бахчеводства; под ред. В.Ф. Белика, Г.Л. Бондаренко. – М., 1979. – 211 с.

5. Медведев, В.В. Твердость и твердограммы в исследованиях по обработке почв / В.В. Медведев // Почвоведение. – 2009. – № 3. – С. 325-336.

6. Коняев, Н.Ф. Методы получения высоких и устойчивых урожаев ранней капусты на Среднем Урале / Н.Ф. Коняев; Урал. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва. – Свердловск, 1958. – 143 с.

7. Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.

8. Карова, И. Влияние минеральных удобрений на накопление нитратов / И. Карова, М. Шаваев // Междунар. с.-х. журн. – 2006. – № 2. – С. 52–53.

9. Айтбаев, Т.Е. Продуктивность и качество овощных культур в зависимости от системы применения удобрений / Т.Е. Айтбаев, Н.Н. Тойлыбаева, Л.А. Бурибаева // Современное состояние картофелеводства и овощеводства и их научное обоснование: материалы междунар. науч.-практ. конф., с. Кайнар, 20–21 июля 2006 г. / Науч.-исслед. ин-т картоф. и овощ. хоз-ва. – Алматы, 2006. – С. 521–525.

10. Переднев, В.П. Повышение эффективности удобрений в овощеводстве Республики Беларусь: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / В.П. Переднев; Акад. аграр. наук Респ. Беларусь, Белорус. науч.-исслед. ин-т почвоведения. – М., 1993. – 61 с.

11. Овощеводство открытого грунта / В.И. Алексашин [и др.]; под ред. В.Ф. Белика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1984. – 336 с.

12. Авдонин, Н.С. Влияние свойств почв и удобрений на урожай и качество капусты, томатов и редиса / Н.С. Авдонин, Г.Г. Вендило // Повышение плодородия почв Нечерноземной полосы / под ред. Н.С. Авдонова, А.П. Яковлева. – М., 1961. – Вып. 1. – С.122–142.

13. Степура, М.Ф. Удобрение и орошение овощных культур / М.Ф. Степура. – Минск, 2008. – 239 с.

14. Мухин, Е.Н. Влияние удобрений на урожайность и качество капусты : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Е.Н. Мухин ; Моск. с.-х. акад. им. К.А. Тимирязева. – М., 1955. – 15 с.

15. Аксенюк, А.Р. Особенности приемов возделывания новых сортов и гибридов капусты белокочанной различных групп спелости: автореф. дис. ... канд с.-х. наук: 06.01.06 / А.Р. Аксенюк; НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – Жодино, 2010. – 20 с.

16. Рафулиси Тувунариву Качество и лежкость белокочанной капусты при разных уровнях минерального питания / Рафулиси Тувунариву, В.А. Демин, Д.В. Пацурия // Овощеводство и теплич. хоз-во. – 2006. – № 9. – С. 19–22.

17. Ванеян, С.С. Удобрение и орошение как факторы влияния на урожай белокочанной капусты / С.С. Ванеян, А.Ф. Вишнякова // Гл. агроном. – 2004. – № 9. – С. 30–33.

18. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов»: Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 9 июня 2009 г., № 63.

## **EFFECTS OF COMPLEX MINERAL FERTILIZERS ON YIELD AND QUALITY OF PRODUCTS EARLY CABBAGE FOR VARIOUS PROFILES CULTIVATED THE SOIL SURFACE**

**A.R. Aksenjuk, J.M. Zabara, A.V. Yakimovich, N.M. Moisevich**

### **Summary**

In the article presents the results of studies of the effect of complex fertilizer with a balanced ratio of nutrients on the morphometric parameters, productivity and quality of early cabbage at different profiles of soil surface.

*Поступила 10 декабря 2012 г.*

УДК 631.81.095.337:633:631.445.2

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОУДОБРЕНИЙ МИКРОСИЛ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЗЕРНОВЫХ, ЗЕРНОБОБОВЫХ И ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ**

**М.В. Рак, С.А. Титова, Т.Г. Николаева, Е.Н. Пукалова**  
*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Важнейшим условием высокой эффективности производства является внедрение современных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, при которых роль применения макро- и микроудобрений постоянно возрастает и становится одним из важнейших факторов, обеспечивающих высокий уровень урожайности и стабильности растениеводческой отрасли. При этом научно обоснованное применение удобрений позволяет управлять качеством растениеводческой продукции [1, 2, 3].

При возделывании сельскохозяйственных культур по интенсивным технологиям, при высоком уровне минерального питания возрастает роль микроэлементов и биологически активных веществ в создании оптимального баланса питательных веществ и формировании высокопродуктивных посевов. На почвах с низким содержанием микроэлементов внесение микроудобрений может повысить урожай на 10–15 % и более [4, 5, 6].

В последние годы ведется работа по разработке новых, более экономичных и технологичных видов микроудобрений и рациональных способов их применения. Применение микроэлементов в виде минеральных солей является достаточно

дешевым, но не всегда дает положительные результаты. С этих позиций перспективно более интенсивное использование жидких микроудобрений в хелатных и органоминеральных формах, которые являются более технологичными в применении и обладают высокой биологической активностью, что позволяет обеспечить лучшую доступность микроэлементов для растений. Большое значение имеет использование регуляторов роста природного происхождения (гуматы, экосил и др.) как биологический резерв повышения продуктивности культур.

В лаборатории микроэлементов разработаны новые жидкие микроудобрения с экосилом МикроСил [7]. Это водорастворимые концентраты, приготовленные на основе хелатов металлоэлементов цинка и меди, а также бора в органоминеральной форме с добавлением регулятора роста – экосил. В зависимости от назначения микроудобрения представлены различными марками и отличаются по составу и содержанию микроэлементов.

Цель исследований заключалась в изучении эффективности новых жидких микроудобрений с экосилом МикроСил при применении их в некорневые подкормки сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах.

## МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по изучению эффективности некорневых подкормок новыми жидкими микроудобрениями МикроСил озимой пшеницы Тонация, люпина узколистного Прывабны проводили в СПК «Щемыслица» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы опытных участков: озимая пшеница – рН в KCl – 5,82, гумус – 2,11 %,  $P_2O_5$  – 348,  $K_2O$  – 279, Cu – 1,93,  $Mn_{обм.}$  – 1,88, Zn – 2,0 мг/кг почвы; люпин – рН в KCl – 6,3–6,4, гумус – 1,4–1,6 %,  $P_2O_5$  – 380,  $K_2O$  – 260, CaO – 1250, MgO – 360 мг/кг почвы. Исследования с озимой пшеницей проводили на фоне  $N_{176}P_{70}K_{150}$ , с люпином узколистном – на фоне  $P_{30}K_{60}$ .

В РУП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района на дерново-подзолистой супесчаной почве проведены исследования с ячменем Батька. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы опытного участка: рН в KCl – 5,8–6,0, гумус – 2,4–2,6 %,  $P_2O_5$  – 190–210 мг/кг,  $K_2O$  – 260–285, Cu – 1,6–2,0, Zn – 2,5–2,8, Co – 0,50–0,70,  $Mn_{обм.}$  – 1,0–1,2, B – 0,29–0,33 мг/кг почвы. Исследования с ячменем проводили на фоне  $N_{60}P_{90}K_{150}$ .

Изучение эффективности некорневых подкормок жидкими микроудобрениями МикроСил картофеля Журавинка, сахарной свеклы Авиа и Берни, кукурузы ЕС Поттер проводили в СПК «Городея» Несвижского района на дерново-подзолистой связно-супесчаной почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы опытных участков: сахарная свекла – рН в KCl – 5,94–6,64, гумус – 2,05–2,44 %,  $P_2O_5$  – 265–327,  $K_2O$  – 302–327, Cu – 0,86–1,54, B – 0,61–0,69,  $Mn_{обм.}$  – 0,27, Zn – 1,64–2,17 мг/кг почвы; картофель – рН в KCl – 5,8, гумус – 1,82 %,  $P_2O_5$  – 250,  $K_2O$  – 348, Cu – 0,97,  $Mn_{обм.}$  – 2,11, Zn – 2,3 мг/кг почвы; кукуруза – рН в KCl – 6,5, гумус – 1,9 %,  $P_2O_5$  – 210,  $K_2O$  – 220, B – 0,55, Cu – 1,3, Zn – 3,0 мг/кг почвы. Исследования с сахарной свеклой проводили на фоне 80 т/га навоза и  $N_{150}P_{91}K_{206}$ , 80 т/га навоза и  $N_{176}P_{65}K_{269}$ ; с картофелем – на фоне  $N_{120}P_{75}K_{150}$ ; с кукурузой – на фоне 60 т/га навоза и  $N_{170}P_{65}K_{180}$ .

Технология возделывания исследуемых культур общепринятая для республики. Минеральные удобрения вносили в виде КАС, мочевины, аммофоса и

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

хлористого калия. Во время вегетации культур проводился уход за посевами, применялись средства защиты растений.

В полевых опытах различные микроудобрения МикроСил использовались для некорневой подкормки вегетирующих растений зерновых, зернобобовых и пропашных культур. Химический состав микроудобрений с экосилом МикроСил представлен в таблице 1.

Таблица 1

### Химический состав жидких микроудобрений МикроСил

Марки микроудобрений	Азот	Бор	Цинк	Медь	Экосил, мл/л
	г/л				
МикроСил–Бор	50,0	150,0	–	–	30,0
МикроСил–Цинк,Бор	93,0	30,0	46,0	–	30,0
МикроСил–Бор,Медь	65,0	40,0	–	40,0	30,0
МикроСил–Медь Л	65,0	–	–	80,0	30,0

Рабочий раствор готовится непосредственно перед проведением некорневой подкормки растений путем разведения концентрата удобрения водой. Расход рабочего раствора 200 л/га.

Исследования проводили в соответствии с методическими указаниями по закладке полевых опытов. Статистическая обработка результатов исследований проведена методом дисперсионного анализа. Экономическая эффективность применения новых микроудобрений в некорневые подкормки исследуемых культур рассчитывались по методике, разработанной Институтом почвоведения и агрохимии [8]. Схемы опытов, дозы микроудобрений и фоны минеральных удобрений представлены далее в таблицах.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты полевых исследований с различными микроудобрениями МикроСил в некорневые подкормки показали их положительную эффективность при возделывании сельскохозяйственных культур.

При возделывании озимой пшеницы применение микроудобрения МикроСил–Медь Л в различных дозах в некорневые подкормки способствовало повышению урожайности зерна (табл. 2). В фоновом варианте урожайность зерна составила 49,9 ц/га, а в вариантах с исследуемым микроудобрением – 54,0–54,7 ц/га. Двукратная некорневая подкормка микроудобрением МикроСил–Медь Л в дозе 0,3–1,0 л/га обеспечивала прибавки урожая 4,1–4,8 ц/га, не снижая качеств зерна.

Таблица 2

### Влияние жидкого микроудобрения МикроСил–Медь Л на урожайность и качество зерна озимой пшеницы

Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка к фону, ц/га	Белок, %	Сбор белка, ц/га	Клейковина, %
1. $N_{176}P_{70}K_{150}$ – фон	49,9	–	13,6	5,8	28,8
2. Фон + МикроСил–Медь Л– 0,3 л/га	54,7	4,8	13,2	6,2	27,9
3. Фон + МикроСил–Медь Л – 1,0 л/га	54,0	4,1	13,2	6,1	27,9
НСР <sub>05</sub>		1,7			

В опыте с яровым ячменем некорневая подкормка в фазу выхода в трубку микроудобрением МикроСил–Медь Л способствовала повышению урожайности зерна с 46,4 ц/га до 52,0 ц/га (табл. 3). В сравнении с фоновым вариантом некорневая подкормка исследуемым микроудобрением в зависимости от доз обеспечила прибавки урожая от 3,6 до 5,6 ц/га, повышение в зерне белка на 0,9 % и сбора белка – 0,8–1,0 ц/га.

Таблица 3

**Влияние жидкого микроудобрения МикроСил–Медь Л на урожайность и качество зерна ярового ячменя**

Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка к фону, ц/га	Сырой белок, %	Сбор сырого белка, ц/га
1. N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	46,4	–	10,9	4,3
2. Фон + МикроСил–Медь Л – 0,3 л/га	50,0	3,6	11,8	5,1
3. Фон + МикроСил–Медь Л – 1,0 л/га	52,0	5,6	11,8	5,3
НСР <sub>05</sub>	2,4			

При возделывании люпина узколистного отмечалось повышение урожайности и улучшение качественных показателей зерна от применения жидкого микроудобрения МикроСил–Бор в различных дозах (табл. 4). Некорневая подкормка в фазу начало бутонизации исследуемым микроудобрением в дозе 0,33 и 0,66 л/га в сравнении с фоновым вариантом обеспечила прибавку урожайности зерна соответственно 3,7 и 4,3 ц/га. Применяемое микроудобрение оказывало положительное влияние и на повышение содержания сырого белка в зерне на 0,6–1,2 % и на сбор белка – 1,3 ц/га.

Таблица 4

**Влияние жидкого микроудобрения МикроСил–Бор на урожайность и качество зерна люпина узколистного**

Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка к фону, ц/га	Сырой белок, %	Сбор сырого белка, ц/га
1. P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> – фон	24,1	–	31,9	6,6
2. Фон + МикроСил–Бор – 0,33 л/га	27,8	3,7	33,1	7,9
3. Фон + МикроСил–Бор – 0,66 л/га	28,4	4,3	32,5	7,9
НСР <sub>05</sub>	1,0			

В опыте с сахарной свеклой применение микроудобрений МикроСил в различных дозах на фоне органических и минеральных удобрений способствовало повышению урожайности корнеплодов с 575 ц/га до 617 ц/га (табл. 5). В сравнении с фоновым вариантом величина прибавок зависела от марки и доз вносимых микроудобрений. В среднем за два года двукратная некорневая подкормка сахарной свеклы (в фазу 10–12 листьев и через 1,5 месяца после первой) микроудобрением МикроСил–Бор в дозе 1,5 и 2,0 л/га обеспечила повышение урожая на 23–32 ц/га, МикроСил–Бор,Медь в тех же дозах – 32–42 ц/га. По годам от микроудобрения МикроСил–Бор прибавки колебались от 23 до 37 ц/га, от микроудобрения МикроСил–Бор,Медь – от 30 до 43 ц/га. При этом наибольший эффект был достигнут при применении повышенных доз исследуемых микроудобрений.

**Эффективность некорневых подкормок сахарной свеклы жидкими  
микроудобрениями МикроСил**

Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка к фону, ц/га	Технологические свойства корнеплодов				Расчетный выход сахара, ц/га
			содержание сахара, %	K	Na	$\alpha$ -N	
				м-моль/100 г			
1. Навоз + NPK – фон	575	–	17,4	5,70	0,12	2,05	86,2
2. Фон + МикроСил–Бор – 1,5 л/га	598	23	17,2	4,78	0,15	1,86	90,0
3. Фон + МикроСил–Бор – 2,0 л/га	607	32	17,7	5,08	0,13	1,79	93,4
4. Фон + МикроСил–Бор, Медь – 1,5 л/га	607	32	17,4	5,65	0,14	1,94	92,0
5. Фон + МикроСил–Бор, Медь – 2,0 л/га	617	42	17,5	5,89	0,13	2,23	93,1
НСР <sub>05</sub>	22						

Наряду с урожайностью, большое значение имеют показатели качества корнеплодов. Внесение различных микроудобрений МикроСил в некорневые подкормки сахарной свеклы способствует повышению технологических свойств корнеплодов. Улучшение технологических свойств корнеплодов происходит, главным образом, за счет повышения сахаристости и снижения содержания альфа-аминного азота корнеплодов. По годам исследуемые микроудобрения в зависимости от марок и доз повышали содержание сахара на 0,4–0,6 %. Комплексным показателем влияния исследуемых микроудобрений на урожайность и качество корнеплодов является выход сахара. Применение микроудобрения МикроСил–Бор в различных дозах способствовало повышению расчетного выхода сахара на 3,8–7,2 ц/га, а микроудобрения МикроСил–Бор, Медь – на 5,8–6,9 ц/га в сравнении с фоновым вариантом.

При возделывании картофеля некорневая подкормка в фазу начало бутонизации микроудобрениями МикроСил различными дозами на фоне минеральных удобрений способствовала повышению урожайности клубней картофеля (табл. 6). При урожайности картофеля в фоновом варианте 400 ц/га прибавки урожайности клубней от микроудобрения МикроСил–Бор (в дозе 0,66 и 1,0 л/га) составили 20–39 ц/га, от микроудобрения МикроСил–Бор, Медь (в дозе 1,0 и 2,0 л/га) – 31–35 ц/га. Применяемые микроудобрения МикроСил не оказали существенного влияния на содержание крахмала в клубнях картофеля. Однако сбор крахмала с гектара был выше на 1,7–2,9 ц/га в сравнении с фоновым вариантом.

При возделывании кукурузы некорневая подкормка в фазу 6–8 листьев микроудобрением МикроСил–Цинк, Бор в дозах 1,5 и 3,0 л/га на фоне органических и минеральных удобрений способствовала повышению урожайности зеленой массы и зерна (табл. 7). В сравнении с фоновым вариантом прибавки урожайности зеленой массы от возрастающих доз составили 37–43 ц/га, зерна – 6,7–11,6 ц/га. При этом содержание нитратов в зеленой массе кукурузы было на уровне 352–354 мг/кг сырой массы, что не превышало установленную предельно допустимую концентрацию (ПДК – 500 мг/кг). От применения исследуемого микроудобрения содержание сырого протеина в зерне было выше на 0,7 % в сравнении с фоновым вариантом.

Таблица 6

**Влияние жидких микроудобрений МикроСил на урожайность  
и содержание крахмала в клубнях картофеля**

Варианты	Урожай- ность, ц/га	Прибавка к фону, ц/га	Крахмал	
			%	сбор с урожа- ем, ц/га
1. N <sub>120</sub> P <sub>75</sub> K <sub>150</sub> – фон	400	–	16,8	67,2
2. Фон + МикроСил–Бор – 0,66 л/га	420	20	16,7	70,1
3. Фон + МикроСил–Бор – 1,0 л/га	439	39	15,7	68,9
4. Фон + МикроСил–Бор, Медь – 1,0 л/га	431	31	15,5	66,8
5. Фон + МикроСил–Бор, Медь – 2,0 л/га	435	35	16,0	69,6
НСР <sub>05</sub>	16			

Таблица 7

**Влияние жидкого микроудобрения МикроСил–Цинк, Бор на урожайность  
зеленой массы и зерна кукурузы**

Варианты	Зеленая масса		Содержание нитратов, мг/кг сырой массы	Зерно		Содержа- ние сырого протеина, %
	урожай- ность, ц/га	при- бавка, ц/га		урожай- ность, ц/га	при- бавка, ц/га	
1. Навоз 60 т/га + N <sub>170</sub> P <sub>65</sub> K <sub>180</sub> – фон	471	–	340	66,8	–	10,6
2. Фон + МикроСил– Цинк, Бор – 1,5 л/га	508	37	352	73,5	6,7	11,3
3. Фон + МикроСил– Цинк, Бор – 3,0 л/га	514	43	354	78,4	11,6	11,3
НСР <sub>05</sub>	13			4,6		

Проведенные расчеты экономической эффективности применения новых жидких микроудобрений МикроСил показали, что их использование в некорневые подкормки было экономически оправданным приемом. Рентабельность некорневых подкормок исследуемыми микроудобрениями озимой пшеницы на зерно составила 116–199 %, ячменя – 135–143 %, люпина – 198–212 %, кукурузы – 64 %, сахарной свеклы – 101–134 % и картофеля – 166–190 %.

## ВЫВОДЫ

1. Некорневые подкормки озимой пшеницы микроудобрением МикроСил–Медь Л в различных дозах способствуют повышению урожайности зерна на 4,1–4,8 ц/га и ярового ячменя на 3,6–5,6 ц/га при рентабельности 116–199 % и 135–143 % соответственно.

2. На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве некорневая подкормка люпина узколистного в фазу начало бутонизации жидким микроудобрением МикроСил–Бор повышала урожайность зерна на 3,7–4,3 ц/га и увеличивала содержание сырого белка на 0,6–1,2 %.

3. На дерново-подзолистой связносупесчаной почве двукратная некорневая подкормка сахарной свеклы жидкими микроудобрениями МикроСил–Бор и МикроСил–Бор, Медь в различных дозах на фоне органических и минеральных

удобрений повышала урожайность корнеплодов на 23–42 ц/га, выход сахара – на 3,8–7,2 ц/га.

4. Некорневая подкормка картофеля в фазу бутонизации жидким микроудобрением МикроСил–Бор обеспечила прибавку урожая клубней 20–39 ц/га, МикроСил–Бор, Медь – 31–35 ц/га. Микроудобрения не оказали существенного влияния на содержание крахмала в клубнях картофеля.

5. Некорневая подкормка кукурузы в фазу 6–8 листьев жидким микроудобрением МикроСил–Цинк, Бор в возрастающих дозах на фоне органических и минеральных удобрений способствовала повышению урожайности зеленой массы на 37–43 ц/га, зерна – на 6,7–11,6 ц/га. Микроудобрение не оказывало влияние на содержание нитратов в зеленой массе кукурузы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лапа, В.В. Вопросы рационального использования удобрений в земледелии Беларуси / В.В. Лапа // Почва, удобрение, плодородие. – Минск, 2000. – С. 47–56.

2. Иванов, И.А. Оптимизация минерального питания культур на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах и сохранение их плодородия / И.А. Иванов, А.И. Иванов // Бюллетень ВИАУ. – 2001. – № 114. – С. 95.

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

4. Анспок, П.И. Микроудобрения. – Л: Агропромиздат, 1990. – 272 с.

5. Рациональное применение удобрений: пособие / И.Р. Вильдфлуш [и др.]; под общ. ред. И.Р. Вильдфлуша. – Горки: БГСХА, 2002. – 324 с.

6. Система применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 28 с.

7. Микроудобрения с экосилом «МикроСил»: ТУ ВУ 100079183.007–2008. – Введ. 06.11.08. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 14 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.

### EFFECTIVENESS OF MICRO FERTILIZERS MICROSIL IN GRAIN, GRAIN LEGUMINOUS AND ROOT CROP CULTIVATION ON SOD-PODZOLIC SOILS

M.V. Rak, S.A. Titova, T.G. Nikolaeva, E.N. Pukalova

#### Summaru

The effectiveness of the different species and doses of liquid micro fertilizer ecosil MicroSil in field experiments on sod-podzolic soils with grain, grain-leguminous and root crops has studied.

*Поступила 10 декабря 2012 г.*

## ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ИНКРУСТАЦИИ СЕМЯН ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Ф.И. Привалов

Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию,  
г. Жодино, Беларусь

### ВВЕДЕНИЕ

Получение урожайности озимых зерновых культур на уровне 40 ц/га и более сопровождается большим выносом микроэлементов из почвы, в связи с чем включение их в систему агроприемов интенсивной технологии является актуальным и экономически обоснованным [1–3].

Микроэлементы могут вноситься: непосредственно в почву перед посевом, в виде некорневых подкормок, совместно с другими средствами интенсификации. Один из наиболее экономически оправданных способов – использование их в инкрустационных составах для обработки семян [4].

Наиболее эффективной является хелатная форма микроэлементов. Ценность комплексонов для растениеводства определяется рядом их свойств: они являются биологически активными веществами, обладают высокой устойчивостью в широком диапазоне значений pH, достаточно растворимы в воде, практически не токсичны, хорошо сочетаются с пестицидами и не обладают коррозионной активностью.

Сельхозпроизводителям предлагается большой ассортимент различных микроудобрений:

- ▶ **АДОБ Cu, АДОБ Zn, АДОБ Mn** (Польша). Выпускаются как в форме моноудобрений, так и в форме комплекса макро- и микроэлементов – **Басфолиар 34**;
- ▶ **Гусинар-М** – полиэлектролитный гидрогель, содержащий микроэлементы в хелатной форме (**Cu, Zn, B**);
- ▶ **Хелком П4** – комплекс микроэлементов в хелатной форме (**Cu, Mn, Zn, B**) и мочевино-формальдегидная смола в качестве полимера;
- ▶ **Сейбит ПЗ** – минеральное жидкое удобрение, включают в себя полимерный пленкообразователь и ряд других препаратов.

Таким образом, на рынке Беларуси накопился широкий ассортимент препаратов, содержащих микроэлементы, в связи с чем возникла необходимость сравнительного изучения эффективности их применения в составе защитно-стимулирующих смесей.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования – рожь (сорт Спадчына), тритикале (сорт Михась) и пшеница (сорт Саната).

Защитно-стимулирующие смеси были составлены на основе протравителя кинто дуо, ТК (2,0 л/т). Эталонном служило протравливание этим же фунгицидом в норме расхода 2,0 л/т семян. Нормы расхода удобрений АДОБ и Басфолиар 34 – 1,5 л/т, Сейбит и Хелком – 0,68 л/т. Расход рабочей жидкости – 10 л/т семян.

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Исследования проводили на э/б «Устье» Оршанского района Витебской области. Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая, развивающаяся на лессовидном суглинке, подстилаемая с глубины 1 м моренным суглинком. Пахотный горизонт характеризуется следующими агрохимическими показателями: рН – 6,2, гумус – 2,3 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 243, K<sub>2</sub>O – 235 мг на 1 кг почвы.

Уборку проводили комбайном «Сампо–500», учет урожайности – поделяночно. Учетная площадь деланки – 25 м<sup>2</sup>.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фитозэкспертиза семенного материала перед закладкой полевых опытов показала средний уровень исходной инфекции (49–60 %), кроме того, фузариозная инфекция на семенах была примерно равной и в зависимости от культуры практически не отличалась (табл. 1). Альтернариозной инфекции было меньше на семенах озимой пшеницы, а более всего – на семенах озимой ржи.

Таблица 1

#### Инфицированность семян озимых культур семенной фузариозной и альтернариозной инфекцией, %

Культура	Фузариозная инфекция		Альтернариозная инфекция	
	2007 г.	2008 г.	2007 г.	2008 г.
Пшеница	23	24	37	25
Тритикале	23	13	57	42
Рожь	21	13	55	56

Протравитель кинто дуо, ТК в норме расхода 2,0 л/т показал высокую биологическую эффективность против семенной инфекции – 91–96 %. Введение в защитный состав микроэлементов не снижало эффективность протравливания, а в отдельных случаях и увеличивало биологическую эффективность защитно-стимулирующих составов.

Анализ полевой всхожести семян озимых зерновых культур показал, что изменчивость данного показателя по вариантам была незначительной и носила случайный характер (табл. 2).

Таблица 2

#### Полевая всхожесть семян и перезимовка растений, %

Вариант	Полевая всхожесть семян			Полевая перезимовка		
	пшеница	тритикале	рожь	пшеница	тритикале	рожь
Контроль	79,1	76,2	71,1	82,9	89,2	92,2
Кинто дуо	81,8	74,4	74,7	84,2	97,9	95,0
Кинто дуо + АДОБ <i>Zn</i>	82,7	83,6	75,5	93,4	91,2	95,6
Кинто дуо + АДОБ <i>Cu</i>	82,2	86,2	76,0	90,5	90,2	98,3
Кинто дуо + АДОБ <i>Mn</i>	83,6	84,4	73,8	84,6	88,9	97,3
Кинто дуо + Басфолиар 34	82,2	83,6	73,1	91,9	95,5	98,8
Кинто дуо + Хелком П2	84,2	78,2	78,2	79,2	91,7	98,5
Кинто дуо + Сейбит П3	83,1	86,2	77,3	85,3	88,3	95,4
Кинто дуо + Гисинар–М	84,0	86,2	74,0	87,0	88,9	96,4

Условия для перезимовки озимых были благоприятными: короткий период залегания неглубокого снежного покрова и отсутствие критических минимальных температур. Поэтому перезимовка была выше 80 % и отклонения ее по вариантам были незначительными. В связи с этим влияния микроэлементов, включенных в защитно–стимулирующую смесь, на полевую всхожесть семян и перезимовку растений не установлено.

Анализ изменения количественных значений элементов структуры урожая под влиянием микроэлементов в защитно–стимулирующей смеси сложен из–за наличия компенсаторных связей между ними и сильной зависимости от погодных условий во время вегетации. Так, например, в варианте защитно–стимулирующей смеси кинто дуо + АДОБ **Zn** число колосьев на квадратном метре колебалось от 428 до 637, число зерен в колосе – от 34,8 до 49,5 штук, а масса 1000 зерен – от 39 до 45 г (табл. 3).

Таблица 3

**Изменчивость элементов структуры урожая озимой пшеницы  
в зависимости от состава защитно-стимулирующей смеси и условий года**

Вариант	Колосья, шт./м <sup>2</sup>		Зерна в колосе, шт.		Масса 1000 зерен, г	
	2007 г.	2008 г.	2007 г.	2008 г.	2007 г.	2008 г.
Контроль	516	425	38,3	46,7	41,2	44,9
Кинто дуо	469	506	41,8	41,3	44,6	44,6
Кинто дуо + АДОБ <b>Zn</b>	637	428	34,8	49,5	39,0	45,0
Кинто дуо + АДОБ <b>Cu</b>	600	428	36,4	50,5	40,2	44,8
Кинто дуо + АДОБ <b>Mn</b>	590	344	36,9	58,4	40,0	47,7
Кинто дуо + Басфолиар 34	580	405	35,9	49,7	41,7	48,2
Кинто дуо + Хелком П2	470	480	43,2	43,7	43,9	45,2
Кинто дуо + Сейбит П3	503	417	41,8	46,9	41,6	48,7
Кинто дуо + Гисинар–М	406	424	47,2	47,1	45,6	49,0

При примерно одинаковых погодных условиях вегетации в 2007 г. и 2008 г. число зерен в колосе с вероятностью 94,6 % определялось числом колосьев на единице площади. Следовательно, суммарное влияние погодных условий, состава защитно–стимулирующей смеси и неучтенных в опыте факторов не превышало 5,4 % общей изменчивости.

Данная зависимость числа зерен в колосе от плотности продуктивного стеблестоя в диапазоне 340–640 колосьев на квадратном метре посева математически описывалась уравнением параболы второго порядка:

$$y = 132,17 - 0,2925x + 0,0002x^2,$$

где **y** – число зерен в колосе, шт.; **x** – число колосьев на м<sup>2</sup> посева.

В большой степени число колосьев влияло и на массу 1000 зерен (коэффициент детерминации равен 0,794). Математически эта связь описана уравнением параболы первого порядка:

$$y = 60,533 - 0,034x,$$

где условные обозначения те же, что и в предыдущей формуле.

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Достоверная связь между элементами продуктивности подтверждается полученной урожайностью. Протравливание семян препаратом кинто дуо в среднем за два года статистически достоверно повысило урожайность озимой пшеницы на 3,7 ц/га, тритикале – на 3,9 ц/га, ржи – на 4,2 ц/га (табл. 4).

Включение в защитно-стимулирующую смесь микроэлементов обеспечивало повышение урожайности всех озимых зерновых культур в сравнении с протравливанием семян препаратом кинто дуо. Самая большая прибавка урожайности получена от включения в ЗСС Гисинара М (пшеница – 4,5, тритикале – 4,8, рожь – 2,4 ц/га), АДОБ **Cu** (4,3; 4,1; 3,8 ц/га), Хелком П4 (3,7; 4,0; 2,4 ц/га соответственно).

По отношению к протравливанию семян препаратом кинто дуо самую малую и статистически недостоверную прибавку урожайности дало микроудобрение АДОБ **Zn** (пшеница – +2,3, тритикале – +1,7, рожь – -1,2 ц/га).

Эффективность включения в защитно-стимулирующую смесь моно- или комплексных составов микроэлементов зависела от вида зерновой культуры. Так, при обработке семян озимой пшеницы стабильную и статистически достоверную прибавку урожайности обеспечили Гисинар-М, Хелком П4, АДОБ **Cu** и АДОБ **Mn**.

При обработке семян озимого тритикале стабильную и статистически достоверную прибавку урожайности показали только комплексные микроудобрения Гисинар-М, Хелком П4 и Сейбит ПЗ.

Микроудобрения АДОБ **Cu** и АДОБ **Mn** только в 2008 г. достоверно повысили урожайность.

Таблица 4

### Урожайность зерна озимых зерновых культур в зависимости от включения в защитно-стимулирующую смесь моно- или комплексных микроудобрений

Вариант	Урожайность зерна, ц/га								
	Озимая пшеница			Озимое тритикале			Озимая рожь		
	2007 г.	2008 г.	сред- нее	2007 г.	2008 г.	Сред- нее	2007 г.	2008 г.	сред- нее
Контроль	80,5	85,1	<b>82,8</b>	78,6	80,8	<b>79,7</b>	38,0	68,8	<b>53,4</b>
Кинто дуо	84,2	88,8	<b>86,5</b>	82,6	84,6	<b>83,6</b>	44,2	71,1	<b>57,6</b>
Кинто дуо + АДОБ <b>Zn</b>	85,8	91,9*	<b>88,8</b>	83,3	87,3	<b>85,3</b>	39,9	72,9	<b>56,4</b>
Кинто дуо + АДОБ <b>Cu</b>	87,6*	93,9*	<b>90,8</b>	85,3	90,1*	<b>87,7</b>	46,4	76,4*	<b>61,4</b>
Кинто дуо + АДОБ <b>Mn</b>	87,5*	92,8*	<b>90,2</b>	85,3	88,3*	<b>86,8</b>	42,4	74,7	<b>58,6</b>
Кинто дуо + Басфоли- ар 34	85,9	93,7*	<b>89,8</b>	84,0	87,6	<b>85,8</b>	42,0	74,3	<b>58,2</b>
Кинто дуо + Хелком П4	88,4*	92,1*	<b>90,2</b>	86,4*	88,7*	<b>87,6</b>	45,2	74,7	<b>60,0</b>
Кинто дуо + Сейбит ПЗ	87,2	92,3*	<b>89,8</b>	86,6*	88,6*	<b>87,6</b>	43,9	75,5	<b>59,7</b>
Кинто дуо + Гисинар-М	87,7*	94,4*	<b>91,0</b>	86,0*	90,7*	<b>88,4</b>	42,3	77,7*	<b>60,0</b>
НСР <sub>05</sub>	3,01	2,87		2,96	3,13		2,52	4,51	

Полученная в опытах расчетная прибыль от включения в защитно-стимулирующую смесь микроэлементов колебалась от 5,8 до 82,6 доллара на гектаре посева и зависела от препарата, обрабатываемой культуры и уровня формирующейся урожайности. Так, в среднем за два года на посевах озимой ржи включение в защитно-стимулирующую смесь микроудобрения АДОБ **Zn** не обеспечило положительного эффекта, а максимальная прибыль 47,5 доллара получена от АДОБ **Cu**.

На посевах озимых пшеницы и тритикале также минимальную прибыль обеспечивало микроудобрение АДОБ **Zn**. Значительно более эффективными из микроудобрений были АДОБ **Cu** и АДОБ **Mn**.

Из комплексных микроудобрений самую высокую прибыль в опытах на всех культурах, в том числе гарантированную, обеспечивал препарат Гисинар-М. Хелком и Сейбит по гарантированной прибыли в 2 и более раза уступали препарату Гисинар-М и практически не имели преимущества перед микроудобрением АДОБ **Cu**, особенно на посевах ржи и пшеницы.

Самый высокий эффект от включения микроэлементов в защитно-стимулирующую смесь получен на посевах озимой пшеницы, несколько ниже – на посевах озимого тритикале. Менее эффективным было включение микроэлементов для обработки семян озимой ржи.

## ВЫВОДЫ

1. Предпосевная обработка семян озимых зерновых культур микроудобрениями является эффективным приемом повышения урожайности зерна и получения прибыли.

2. Наиболее отзывчивой культурой на обработку семян микроэлементами является озимая пшеница. Менее эффективным было включение микроэлементов в защитно-стимулирующую смеси при инкрустации семян озимой ржи.

3. Среди микроудобрений наибольший эффект по всем культурам выявлен при включении в защитно-стимулирующую смесь АДОБ **Cu** и АДОБ **Mn**.

4. Гисинар-М обеспечил самую высокую эффективность при включении в защитно-стимулирующую смесь в сравнении с удобрениями Сейбит ПЗ, Хелком П4 и Басфолиар 34.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анспок, П.И. Микроудобрения: справочник / П.И. Анспок. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат, 1990. – 272 с.

2. Верещак, М.В. Микроудобрения при интенсивных технологиях / М.В. Верещак // Химизация сельского хозяйства. – 1988. – № 8. – С. 73–75.

3. Цыганов, А.Р. Микроэлементы и микроудобрения: учебное пособие / А.Р. Цыганов, Т.Ф. Персикова, С.Ф. Реуцкая. – Минск, 1998. – 122 с.

4. Рак, М.В. Применение микроудобрений с биостимулятором для предпосевной инкрустации семян зерновых культур / М.В. Рак [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 2(41). – С. 193–200.

## MICROFERTILIZERS IN PROTECTIVE-STIMULATING MIXTURES

F.I. Privalov

### Summary

The results on the study of the effect of mono- and complex microfertilizers, included in protective-stimulating compositions on yield elements and yield of winter cereal crops are presented in the article. It has been revealed that the use of complex compositions is more preferable.

*Поступила 13 сентября 2012 г.*

## СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУРАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

**А.Н. Кутовая**

*Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии  
имени А.Н. Соколовского», г. Харьков, Украина*

### ВВЕДЕНИЕ

Микроэлементный состав сельскохозяйственных растений является важным показателем их биологической ценности. Отклонение содержания элементов в основной продукции от оптимального уровня в сторону увеличения или уменьшения имеет прямое отношение к проблеме здоровья человека и животных. Как дефицитное, так и избыточное содержание элементов в продуктах питания может проявляться в форме заболеваний – микроэлементозов, вызванных нарушением баланса микроэлементов в организме [1].

Содержание микроэлементов в кормовых растениях имеет большое значение для роста и развития животных, особенно в молодом и продуктивном возрасте. Под действием кобальта увеличивается гемоглобин в крови, в органах и тканях животных – количество витамина А, Е, С и железа, также усиливается синтез витамина В<sub>12</sub>. Присутствие в рационе животных микроэлементов Со, Zn и Cu дает повышение живого веса поросят на 23–30 %, цыплят в 45–дневном возрасте – на 48 %. Добавление кобальта в корм молочным коровам повышало в молоке содержание белка и жиров, цинка – увеличивало жирность молока на 13 % [2]. Поедая корма бедные микроэлементами (Со, Cu, Zn), животные заболевают и снижают свою продуктивность.

По мнению исследователей [3], важным резервом регулирования элементного состава сельскохозяйственных культур является применение макро- и микроудобрений. Ученые пришли к выводу, что варьирование содержания микроэлементов в растениях зависит от количества последних, внесенных с удобрениями. В связи с этим особенно актуально изучение экологических последствий применения микроэлементов на почвах с их достаточным количеством [4], что позволяет оценить степень их накопления основной продукцией сельскохозяйственных культур.

Наши исследования были направлены на изучение содержания микроэлементов в зерне озимой пшеницы и зеленой массе кукурузы в зависимости от применения макро- и микроудобрений.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые исследования проводились в длительном стационарном опыте ННЦ «ИГА имени А.Н. Соколовского», заложенном в 1989 г. Почва опытного поля – чернозем оподзоленный среднегумусный тяжелосуглинистый. Действие хелатных микроудобрений Реаком изучалось на полевых культурах: в севообороте № 1 – на

озимой пшенице (Харьковская–96), в севообороте № 2 – на кукурузе на зеленую массу (Днепровский–310МВ) на двух агрохимических фонах.

Первый фон: за четыре ротации в первом севообороте было внесено 100 т/га навоза и  $N_{1020}P_{1035}K_{1055}$ , непосредственно под озимую пшеницу –  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ; во втором севообороте – 140 т/га навоза,  $N_{1075}P_{1040}K_{1060}$ , непосредственно под кукурузу на зеленую массу –  $N_{60}P_{30}K_{30}$ ;

Второй фон: дозы минеральных удобрений уменьшены на 30–50 %, за четыре ротации в первом севообороте было внесено 100 т/га навоза, 15 т/га сидеральной массы и  $N_{485}P_{505}K_{455}$ , непосредственно под озимую пшеницу –  $N_{30}P_{30}K_{30}$ ; во втором севообороте – 110 т/га навоза, 3 т/га ботвы сахарной свеклы, 2 т/га соломы овса,  $N_{580}P_{530}K_{480}$ , непосредственно под кукурузу на зеленую массу –  $N_{40}P_{30}K_{30}$ .

В опыте использовали аммиачную селитру (34,6 % N), суперфосфат гранулированный (19,5 %  $P_2O_5$ ), хлористый калий (40 %  $K_2O$ ) и хелатные микроудобрения Реаком–зерно (Zn – 18, Cu – 25, Co – 0,04 г/л), Реаком–кукуруза (Zn – 25, Cu – 6, Co – 0,04 г/л). Внекорневую подкормку озимой пшеницы микроудобрениями (в дозе 6 л/га, или 300 л рабочего раствора) проводили дважды за вегетацию в фазу кущения и в начале колошения. Семена кукурузы обрабатывали рабочей смесью (1,5 Реаком:1 воды), внекорневые подкормки проводили в фазу трех и восьми листочков из расчета 400 л рабочего раствора на 1 га (8 л/га Реаком).

Общая площадь посевных участков – 72 м<sup>2</sup>, учетных – 40 м<sup>2</sup>, повторность – трехкратная, размещение участков рендомизировано. Микроэлементный состав зерна озимой пшеницы определяли в фазу полной спелости, зеленой массы кукурузы – в фазу выбрасывания метелки.

Пробы почвы отбирали в фазу колошения озимой пшеницы и в фазу выбрасывания метелки кукурузы из слоя 0–20 см в трехкратной повторности. Отбор проб и их подготовку к анализу проводили согласно требованиям ДСТУ 4287:2007 [5], кислотность почвы  $pH_{\text{сол.}}$  – ДСТУ ISO 10390–2001 [6], содержание нитратов и обменного аммония – ДСТУ 4729:2007 [7], подвижного фосфора и калия – по Чирикову [8], подвижные формы микроэлементов (Cu, Co, Zn) определяли в буферной аммонийно-ацетатной вытяжке с pH 4,8 по М.К. Крупскому и Г.М. Александровой атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Сатурн–4 [9].

В растительных образцах содержание микроэлементов (Zn, Cu, Co) определяли после сжигания и растворения в солянокислой вытяжке (10 % HCl) атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Сатурн–4 [10].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Чернозем оподзоленный характеризуется оптимальным содержанием минерального азота, подвижного фосфора, калия, цинка и кобальта и пониженным содержанием подвижной меди (табл. 1). Внесение минеральных удобрений изменяет содержание подвижных форм микроэлементов в почве и, соответственно, их доступность для сельскохозяйственных культур.

Обменная кислотность почвы под влиянием физиологически и химически кислых минеральных удобрений (аммиачная селитра, суперфосфат гранулированный) несколько повысилась, что в свою очередь способствовало повышению подвижности цинка и меди.

Фосфор – главный антагонистический элемент многих микроэлементов, в частности, повышение содержания растворимых фосфатов в почве под растения-

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

ми кукурузы (13–15 мг на 100 г почвы) приводит к связыванию катионов цинка анионами фосфора ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) с образованием труднорастворимого ортофосфата цинка [11], фосфаты кобальта также малодоступны для растений. При применении удобрений развивается мощная корневая система, что приводит к более интенсивному поглощению микроэлементов растениями по сравнению с вариантом без удобрений.

Таблица 1

### Агрохимическая характеристика чернозема оподзоленного (0–20 см)

Вариант	pH <sub>сop.</sub>	мг на 100 г почвы			мг/кг почвы		
		N <sub>мин</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Co	Cu	Zn
Озимая пшеница							
Без удобрений (контроль)	5,4	2,1	7,6	9,3	0,91	0,20	1,02
Первый фон (N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> )	5,2	2,4	9,5	9,5	0,75	0,26	1,11
Второй фон (N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> )	5,3	2,2	9,1	9,4	0,79	0,17	1,88
НIP <sub>05</sub>	0,11	0,12	1,86	1,14	0,22	0,08	0,85
Кукуруза на зеленую массу							
Без удобрений (контроль)	5,2	1,3	9,1	9,3	0,27	0,14	1,05
Первый фон (N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> )	4,9	2,2	15,4	9,6	0,33	0,17	0,81
Второй фон (N <sub>40</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> )	4,8	1,9	13,2	9,4	0,34	0,15	0,55
НIP <sub>05</sub>	0,09	0,11	1,45	1,16	0,13	0,05	0,30

Озимая пшеница и кукуруза – растения невысокого выноса и сравнительно высокой способности усваивать микроэлементы. По данным [12], содержание кобальта в зерне озимой пшеницы не должно превышать 1,0, меди – 30,0, цинка – 50,0 мг/кг.

В наших исследованиях установлено, что содержание микроэлементов в зерне озимой пшеницы зависит от доз минеральных удобрений и обработки растений микроудобрениями (рис. 1). На вариантах с внесением минеральных удобрений содержание кобальта в зерне повысилось в среднем на 50 %. Обработка растений дважды за вегетацию микроудобрением Реаком–зерно способствовало повышению содержания кобальта в зерне на 20 % по сравнению с контролем и на 13 % по сравнению с первым агрохимическим фоном.

Внесение минеральных удобрений снижало содержание меди в зерне на 12–19 %, обработка растений Реаком–зерно повысила содержание меди в зерне до уровня контроля. Отмечается почти одинаковое содержание цинка в зерне озимой пшеницы на всех вариантах опыта. Исходя из вышеприведенных данных, можно сделать вывод, что внекорневая подкормка растений озимой пшеницы микроудобрением Реаком–зерно дважды за вегетацию на абсолютном контроле и на агрохимических фонах не приводит к превышению установленной концентрации микроэлементов в зерне, предназначенном для производственных целей.

Данные по содержанию микроэлементов в зеленой массе кукурузы по вариантам полевого опыта показывают (рис. 2, 3), что снижение количества поглощенного кобальта в растениях на 20 – 40 % обусловлено, как мы отмечали выше, снижением доступности микроэлемента на фоне повышенного содержания растворимых фосфатов. Обработка семян и внекорневая подкормка растений кукурузы микроудобрением Реаком–кукуруза (содержащим в своем составе все исследуемые элементы) на

минеральном фоне влияли на изменения микроэлементного состава зеленой массы. В частности, достоверное повышение содержания цинка (на 67 %) в зеленой массе кукурузы было отмечено на вариантах с объединением обработки семян и внекорневой подкормки растений на втором агрохимическом фоне. Колебания содержания кобальта в растениях кукурузы в сторону увеличения или уменьшения на вариантах с применением микроудобрений, очевидно, связано с биологическим разбавлением.

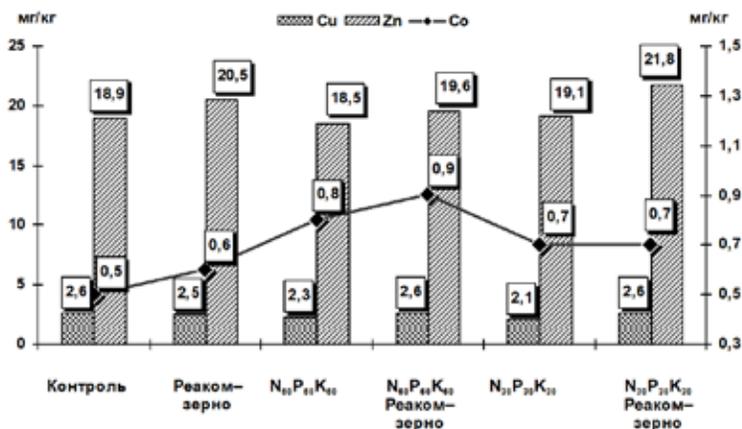


Рис. 1. Содержание микроэлементов в зерне озимой пшеницы (2007–2009 гг.), мг/кг сухого вещества

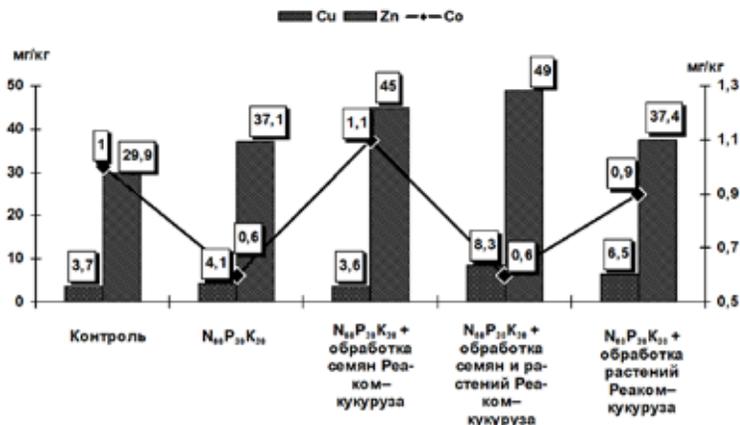


Рис. 2. Содержание микроэлементов в зеленой массе кукурузы (2008–2009 гг.), мг/кг сухого вещества

Содержание меди в зеленой массе кукурузы изменялось в зависимости от применения макро- и микроудобрений. На первом агрохимическом фоне содержание меди в зеленой массе увеличилось на 11 % по сравнению с контролем, а на втором фоне – на 65 % (рис. 2, 3). За счет обработки семян и внекорневой подкормки кукурузы микроудобрением содержание меди в зеленой массе повысилось в два раза по сравнению с первым агрохимическим фоном. По вариантам опыта, обработка семян и внекорневая подкормка растений микроудобрением Реаком-кукуруза повышала содержание меди в зеленой массе на 26–59 %.

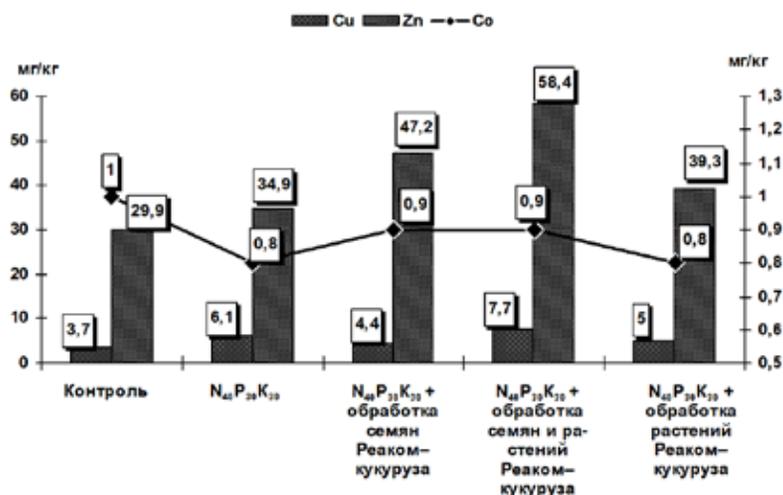


Рис. 3. Содержание микроэлементов в зеленой массе кукурузы (2008 – 2009 гг.), мг/кг сухого вещества

Согласно данным [13–15], среднее содержание кобальта в кормовых растениях составляет 0,3, цинка – 20,0, меди – 6,4 мг/кг, а нормой для животных является содержание кобальта 0,25 – 1,0, цинка – 20,0 – 60,0, меди – 5,0 – 12,0 мг/кг. Обработка семян и внекорневая подкормка растений кукурузы микроудобрением Реаком-кукуруза на минеральных фонах увеличивает содержание микроэлементов в зеленой массе, не превышая норму, установленную для животных.

## ВЫВОДЫ

Накопление микроэлементов в сельскохозяйственной продукции в значительной степени определяется регулированием питания растений. Применение минеральных удобрений снижает содержание меди в зерне озимой пшеницы и кобальта в зеленой массе кукурузы.

Внекорневая подкормка озимой пшеницы микроудобрением Реаком-зерно дважды за вегетацию повышает содержание цинка и меди в основной продукции до оптимального уровня.

Обработка семян и внекорневая подкормка растений кукурузы микроудобрением Реаком-кукуруза на фоне минеральных удобрений существенно повышает содержание меди и цинка в зеленой массе, что имеет большое значение для полноценного питания сельскохозяйственных животных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология / А.П. Авцын [и др.]. – М.: Медицина, 1991. – 496 с.
2. Пейве, Я.В. Краткий обзор результатов исследований по проблеме «микроэлементы в растениеводстве и животноводстве» за 1972 г. / Я.В. Пейве, И.П. Айзупиет // Микроэлементы в СССР: методические материалы / Я.В. Пейве. – Рига, 1974. – С. 23–32.

3. Роль микроэлементов в сельском хозяйстве: труды 2-го Межвузовского совещания по микроэлементам / под ред. Н.С. Авдониной и Н.П. Ремезова. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1961. – 306 с.

4. Самохвалова, В.Л. Порогові рівні токсичності важких металів для сільськогосподарських культур / В.Л. Самохвалова, М.М. Мірошніченко, А.І. Фатеев // Вісник аграрної науки. – 2001. – № 11. – С. 61–65.

5. Якість ґрунту. Відбирання проб: ДСТУ 4287:2007. – Чинний від 2004–30–04. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 9 с.

6. Якість ґрунту. Визначення рН (ISO 10390:1994, IDT) : ДСТУ ISO 10390–2001. – Чинний від 2002–01–04. – К.: Держспоживстандарт України 2003. – 11 с.

7. Якість ґрунту. Визначення нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського: ДСТУ 4729:2007. – Чинний від 2006–30–04. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 14 с.

8. ДСТУ 4115–2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирікова. – Чинний від 2002–27–06, зі скасуванням ГОСТ 26204–91. – К.: Держкомітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. – 6 с.

9. Балюк, С.А. Методики визначення складу та властивостей ґрунтів / С.А. Балюк, В.О. Барахтян, М.Є. Лазебна. – Харків: Друкарня № 13, 2004. – Кн. 1. – 312 с.

10. Методи аналізів ґрунтів і рослин: методичний посібник / за ред. С.Ю. Булигіна [та ін.] – Харків, 1999. – Кн. 1. – 160 с.

11. Фатеев, А.И. Основы применения микроудобрений / А.И. Фатеев, М.А. Захарова. – Харьков: Типография № 13, 2005. – 134 с.

12. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. – М.: Госагропром СССР, ГУ ветеринарии, 1987. – 4 с.

13. Катылов, М.В. Микроэлементы и их роль в повышении урожайности / М.В. Катылов. – М.: Госхимиздат, 1960. – 78 с.

14. Рак, М.В. Параметры потребления микроэлементов зерновыми культурами из дерново-подзолистой супесчаной почвы и микроудобрений / М.В. Рак, Г.М. Сафроновская // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 1(36). – С. 181–187.

15. Минеев, В.Г. Агрохимия и биосфера / В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1984. – 245 с.

## **CONTENTS OF MICROELEMENTS IN CROPS DEPENDING ON THE APPLICATION MACRO- AND MICROELEMENTS**

**A.N. Kutovaya**

### **Summary**

There are given the results of research chernozem podzolized agrochemical parameters changes under the influence of long-term application of fertilizers and contents of microelements in winter wheat grain and green mass of maize.

*Поступила 3 декабря 2012 г.*

## ВЛИЯНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ НА ДИНАМИКУ НАКОПЛЕНИЯ БИОМАССЫ ВАЛЕРИАНЫ ЛЕКАРСТВЕННОЙ

Г.М. Милоста

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

### ВВЕДЕНИЕ

Анализ состояния производства валерианы лекарственной в Республике Беларусь показывает, что получаемое ее количество не обеспечивает потребностей страны в этом сырье. Почвенно-климатические условия нашей страны соответствуют биологическим особенностям валерианы лекарственной. Повышение продуктивности и качества урожая является необходимым условием при ее возделывании [2, 4]. Большую роль в повышении продуктивности валерианы играет научно обоснованная оптимизация ее минерального питания, в том числе и применение микроудобрений, которые являются важнейшим фактором повышения ее урожайности и качества. Потребность в микроудобрениях растёт в связи с расширением применения высококонцентрированных макроудобрений, которые почти не содержат примесей микроэлементов. Кроме того, внесение повышенных доз азота, фосфора и калия сдвигает ионное равновесие почвенного раствора часто в сторону, неблагоприятную для поглощения растениями микроэлементов [1, 3, 5].

Микроудобрения выполняют важнейшие функции в процессах жизнедеятельности растений и являются необходимым компонентом системы удобрения для сбалансированного питания сельскохозяйственных культур, в частности, и валерианы лекарственной. Недостаточное содержание их подвижных форм в почве – фактор, лимитирующий формирование урожая и качество продукции валерианы [4, 6, 7].

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования проводились в 2011–2012 гг. в КСУП «Совхоз «Большое Можейково» Щучинского района Гродненской области на дерново-подзолистой супесчаной почве, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,5–0,6 м моренным суглинком. Высадка рассады проводилась в 3 декаде апреля в гребни с шириной междурядий 70 см. Схема посадки – 70х15 см. Норма посадки – 95 тыс. растений на 1 гектар.

Агрохимические показатели пахотного горизонта почвы:  $pH_{KCl}$  – 6,2–6,4, гумус – 1,7–1,9 %, содержание подвижных форм  $P_2O_5$  – 180–203,  $K_2O$  – 162–195 мг/кг почвы. По содержанию подвижных форм бора, меди и цинка почва относится к II (средней) группе обеспеченности. Микроудобрения вносились в форме Адоб бора, Адоб меди и Адоб цинка по вегетирующим растениям путем трехкратной некорневой подкормки в 3 декаде июня, в 3 декаде июля и 3 декаде августа (варианты 7–19) и непосредственно в почву перед посадкой рассады (варианты 3–6).

Основные приемы ухода за растениями состояли из междурядных обработок, а также прополки от сорняков. В период вегетации валерианы лекарственной

проводились фенологические наблюдения и отбор растительных образцов по основным фазам роста и развития. Наступление фенологических фаз проходило практически одновременно по годам (в пределах одной декады месяца): 3–4 настоящих листа – 3 декада июня; 5–6 настоящих листьев – 3 декада июля; 10–12 настоящих листьев – 3 декада августа; полная прикорневая розетка листьев – 3 декада сентября; окончание вегетации и уборка – 2–3 декада октября.

Уборка полевого опыта проводилась во 2–3 декаде октября поделяночно сплошным способом. После уборки корни и корневища валерианы отмывались и высушивались до влажности 15 %.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика накопления органического вещества является важным критерием продукционного процесса сельскохозяйственных культур, в частности, и валерианы лекарственной. Исследования показали, что накопление общей биомассы растений валерианы происходило неравномерно в течение всего периода вегетации. Установлено, что от высадки рассады (3 декада апреля) до прекращения вегетации (октябрь) темпы накопления общей биомассы растения возрастали, но неравномерно. Наиболее низкие темпы накопления органического вещества отмечены в период от 3–4 до 5–6 настоящих листьев, когда накопление биомассы составило всего лишь 10,0–13,1 % от ее максимального количества в фазу прекращения вегетации. Однако наиболее существенное увеличение органической биомассы отмечено в период от 5–6 (3 декада июля) до 10–12 настоящих листьев (3 декада августа). За этот период на фоне органических и минеральных удобрений общая биомасса возросла на 132,5–198,8 % и ее количество составило 29,1–30,0 % от ее максимального количества в фазу прекращения вегетации. В период от фазы 10–12 настоящих листьев до формирования прикорневой розетки (3 декада августа–3 декада сентября) темпы накопления общей биомассы снизились, она возросла на 102,9–112,3 %, а ее количество в фазу прикорневой розетки составило 60,6–61,7 % от ее максимального количества. В последующем, в период от фазы прикорневой розетки до прекращения вегетации валерианы во 2 декаде октября темпы накопления общей биомассы снизились (в относительных величинах), она возросла всего на 62,1–64,3 % (табл. 1).

Таблица 1

**Динамика накопления общей биомассы (листовая масса, корни и корневища), ц/га (2011–2012 гг.)**

Варианты	Фаза 3–4 настоящих листьев	Фаза 5–6 настоящих листьев	Фаза 10–12 настоящих листьев	Фаза прикорневой розетки листьев	Прекращение вегетации
1. Контроль (без удобрений)	4,4	5,5	11,2	18,1	26,4
2. Фон (60 т/га навоза +N <sub>135</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> )	4,9	7,7	17,9	38,0	61,6
3. Фон + B <sub>1,5</sub> *	4,9	7,7	19,9	40,8	66,9
4. Фон + Cu <sub>3,0</sub>	4,9	7,7	19,3	39,6	64,1
5. Фон + Zn <sub>3,0</sub>	4,9	7,8	19,9	40,8	66,2

Варианты	Фаза 3–4 настоящих листьев	Фаза 5–6 настоящих листьев	Фаза 10–12 настоящих листьев	Фаза прикор- невой розет- ки листьев	Прекращение вегетации
6. Фон + В <sub>1,5</sub> Cu <sub>3,0</sub> Zn <sub>3,0</sub>	5,1	8,1	19,9	40,8	66,5
7. Фон + В <sub>(0,05+0,05+0,05)</sub>	4,9	7,9	19,8	39,4	64,9
8. Фон + В <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	4,9	8,1	20,2	40,7	67,2
9. Фон + В <sub>(0,15+0,15+0,15)</sub>	4,9	8,1	20,6	40,8	68,7
10. Фон + Cu <sub>(0,05+0,05+0,05)</sub>	4,9	8,8	18,8	38,5	62,8
11. Фон + Cu <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	4,9	8,8	19,2	39,4	64,9
12. Фон + Cu <sub>(0,15+0,15+0,15)</sub>	4,9	8,8	19,7	40,3	66,5
13. Фон + Zn <sub>(0,05+0,05+0,05)</sub>	4,9	8,8	20,0	41,4	67,0
14. Фон + Zn <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	4,9	8,0	20,4	42,4	69,5
15. Фон + Zn <sub>(0,15+0,15+0,15)</sub>	4,9	8,2	20,7	43,2	70,5
16. Фон + В <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Cu <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	4,9	8,2	23,9	48,3	79,2
17. Фон + В <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Zn <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	4,9	8,0	23,9	48,5	80,0
18. Фон + Cu <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Zn <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	4,9	8,8	21,2	43,3	71,8
19. Фон + В <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Cu <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Zn <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	4,9	8,0	22,6	46,0	76,5
НСР <sub>05</sub>	0,24	0,41	1,03	2,05	3,05

Примечание: дозы микроудобрений указаны в кг/га по д.в.

Таким образом, образование органического вещества (общей биомассы) в растениях валерианы протекало неравномерно. Установлено, что до фазы 10–12 настоящих листьев темпы накопления биомассы возрастали, особенно в период от фазы 5–6 (3 декада июля) до 10–12 настоящих листьев (3 декада августа). В последующие периоды темпы накопления общей биомассы снижались.

Следует отметить, что наиболее высокие темпы накопления биомассы отмечены в вариантах с применением некорневой подкормки микроудобрениями, особенно при внесении цинка с бором (Фон + В<sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Zn<sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>) по сравнению с фоном (рис. 1).

Установлено антагонистическое взаимодействие меди и цинка при их совместном внесении на накопление общей биомассы валерианы по сравнению с сочетаниями микроэлементов: В и Cu, В и Zn, В, Cu и Zn.

Полную оценку особенностей накопления биомассы с производственных позиций может дать анализ динамики ее накопления в подземных (корни и корневища) и надземных (листовая масса) органах валерианы лекарственной. Результаты исследований показали, что накопление органического вещества в различных органах растений валерианы происходило неодинаковыми темпами (табл. 2).

Анализ динамики накопления надземной и подземной биомассы показал, что микроудобрения оказывают значительное влияние на ход этих процессов. В первую очередь, наибольшей интенсивностью накопления подземной биомассы характеризуются варианты с применением некорневых подкормок цинком (Фон + Zn<sub>(0,15+0,15+0,15)</sub>) и, особенно, совместным применением цинка с бором (Фон

+  $B_{(0,1+0,1+0,1)}$   $Zn_{(0,1+0,1+0,1)}$ ). При совместном внесении цинка и бора накопление подземной биомассы по сравнению с вариантом без микроудобрений (вар. 2) к концу вегетации возросло в 1,3 раза, или на 29,9 %. Анализ динамики накопления подземной биомассы показал, что наиболее активное ее формирование происходило в период от фазы 5–6 (3 декада июля) до 10–12 настоящих листьев (3 декада августа). При этом подземная биомасса в варианте 17, где получена максимальная урожайность корней и корневищ (Фон +  $B_{(0,1+0,1+0,1)}$   $Zn_{(0,1+0,1+0,1)}$ ), увеличилась на 191,3 % (рис. 2).



Фазы роста и развития:

- 1 фаза – 3–4 настоящих листьев (3 декада июня);
- 2 фаза – 5–6 настоящих листьев (3 декада июля);
- 3 фаза – 10–12 настоящих листьев (3 декада августа);
- 4 фаза – полная прикорневая розетка листьев (3 декада сентября);
- 5 фаза – окончание вегетации и уборка (2–3 декада октября).

Рис. 1. Динамика накопления общей биомассы в вариантах 2 (Фон – 60 т/га навоза +  $N_{135} P_{60} K_{120}$  и 17 (Фон +  $B_{(0,1+0,1+0,1)}$   $Zn_{(0,1+0,1+0,1)}$ )

Таблица 2

**Динамика накопления надземной (листовой) и подземной (корни и корневища) Биомассы растениями валерианы лекарственной, ц/га (2011–2012 гг.)**

Варианты	Фаза 3–4 настоящих листьев	Фаза 5–6 настоящих листьев	Фаза 10–12 настоящих листьев	Фаза прикорневой розетки листьев	Прекрытие вегетации
1. Контроль (без удобрений)	1,8/2,6	2,3/3,2	4,7/6,5	7,3/10,8	10,4/16,0
2. Фон (60 т/га навоза + $N_{135} P_{60} K_{120}$ )	2,0/2,9	3,3/4,4	7,6/10,3	15,8/22,2	23,8/37,8
3. Фон + $B_{1,5}$	2,0/2,9	3,3/4,4	8,6/11,3	17,2/23,6	26,7/40,2
4. Фон + $Cu_{3,0}$	2,0/2,9	3,3/4,4	8,4/10,9	16,4/23,2	25,3/38,8
5. Фон + $Zn_{3,0}$	2,0/2,9	3,3/4,5	8,5/11,4	16,7/24,1	25,8/40,4
6. Фон + $B_{1,5} Cu_{3,0} Zn_{3,0}$	2,1/3,0	3,5/4,6	8,6/11,3	16,9/23,9	26,1/40,4
7. Фон + $B_{(0,05+0,05+0,05)}$	2,0/2,9	3,4/4,5	8,5/11,3	16,3/23,1	25,5/39,4
8. Фон + $B_{(0,1+0,1+0,1)}$	2,0/2,9	3,5/4,6	8,7/11,5	17,0/23,7	26,2/40,7

Варианты	Фаза 3–4 настоящих листьев	Фаза 5–6 настоящих листьев	Фаза 10–12 настоящих листьев	Фаза прикор- невой розет- ки листьев	Прекра- щение вегетации
9. Фон + В <sub>(0,15+0,15+0,15)</sub>	2,0/2,9	3,5/4,6	9,0/11,6	17,1/23,7	27,4/41,3
10. Фон + Cu <sub>(0,05+0,05+0,05)</sub>	2,0/2,9	3,3/4,5	8,1/10,7	16,0/22,5	24,7/38,1
11. Фон + Cu <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	2,0/2,9	3,3/4,5	8,2/11,0	16,4/23,0	25,6/39,3
12. Фон + Cu <sub>(0,15+0,15+0,15)</sub>	2,0/2,9	3,3/4,5	8,5/11,2	16,9/23,4	26,5/40,0
13. Фон + Zn <sub>(0,05+0,05+0,05)</sub>	2,0/2,9	3,3/4,5	8,6/11,4	17,2/24,2	25,9/41,1
14. Фон + Zn <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	2,0/2,9	3,4/4,6	8,8/11,6	17,5/24,9	26,5/43,0
15. Фон + Zn <sub>(0,15+0,15+0,15)</sub>	2,0/2,9	3,5/4,7	8,8/11,9	17,6/25,6	26,8/43,7
16. Фон + В <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Cu <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	2,0/2,9	3,5/4,7	10,5/13,4	20,6/27,7	31,7/47,5
17. Фон + В <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Zn <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	2,0/2,9	3,4/4,6	10,5/13,4	20,6/27,9	30,8/49,2
18. Фон + Cu <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Zn <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	2,0/2,9	3,3/4,5	9,1/12,1	18,1/25,2	27,8/44,0
19. Фон + В <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Cu <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Zn <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	2,0/2,9	3,4/4,6	9,8/12,8	19,4/26,6	30,2/46,3
НСР <sub>05</sub>	0,11/0,15	0,17/0,23	0,44/0,58	0,85/1,21	1,33/1,73

Примечание: в числителе приведена надземная сухая масса, в знаменателе – подземная.

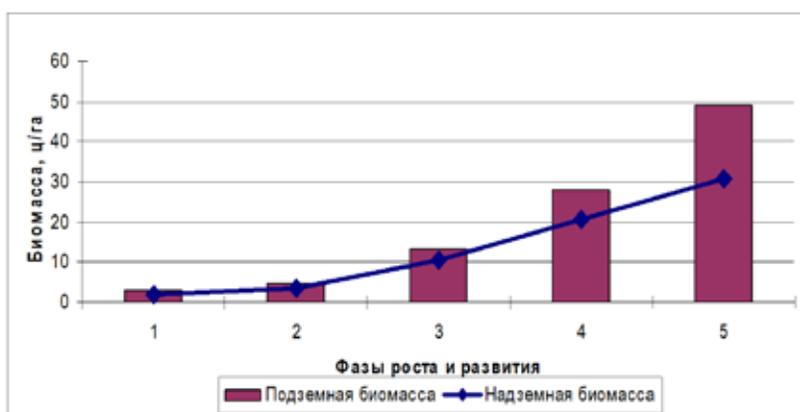
В последующий период роста и развития темпы формирования надземной и подземной частей растения снижались, но накопление подземной биомассы происходило более интенсивно, чем надземной. Так, если в период от 2 до 3 фазы (рис. 2) подземная биомасса возросла на 8,8 ц/га, то надземная – на 7,1 ц/га. В последующем, в период от 3 до 4 фазы эти показатели составили 14,5 и 10,1 ц/га, а в период от 4 фазы до прекращения вегетации – 21,3 и 10,2 ц/га соответственно. Такое интенсивное формирование подземной биомассы во второй половине вегетации связано с биологией данной культуры, которая в начале вегетации, как и многие растения этой группы, более активно формирует свою надземную часть, которая в последующем является основой для формирования корней и корневищ.

В последующем темпы накопления биомассы корней и корневищ в относительных показателях снижались. Так, в период от фазы 10–12 настоящих листьев до фазы прикорневой розетки этот показатель увеличился на 108,2 %, а от фазы прикорневой розетки до прекращения вегетации – всего на 73,3 %. С другой стороны, абсолютные показатели увеличения биомассы корней и корневищ за данные периоды возросли. Так, от фазы 5–6 до 10–12 настоящих листьев подземная биомасса (в абсолютных величинах) возросла на 8,8 ц/га. От 3 до 4 фазы (рис. 2) этот показатель увеличился на 14,5 ц/га, а от 4 до 5 фазы – на 21,3 ц/га.

Следует обратить внимание на процессы формирования надземной, или листовой биомассы, которая является основой для формирования подземной части растения – корней и корневищ как основного вида хозяйственной продукции. Для сравнения: надземная биомасса в этом варианте (Фон + В<sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Zn<sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>) развивалась более интенсивно в период от фазы 5–6 до 10–12 настоящих листьев и возросла в относительных величинах на 200 %. В последующем отмечалось

снижение темпов накопления надземной биомассы в относительных показателях, но увеличение – в абсолютных.

Одной из задач наших исследований являлось установление зависимости урожайности корней и корневищ валерианы лекарственной от особенностей формирования ее листовой массы. Объективную оценку интенсивности накопления биомассы в надземной и подземной частях растения показывает рассчитанное нами соотношение этих частей растения. Динамичное изменение соотношения листовой (надземной) массы к массе корней и корневищ (подземной) характеризует направление физиологических процессов, отражающих преимущественное накопление органических веществ в надземной или подземной частях растения. Увеличение этого показателя (соотношения листовой биомассы к подземной) отражает преимущественное развитие надземной части, а уменьшение – показывает преимущественное накопление биомассы в корнях и корневищах валерианы.



Фазы роста и развития:

- 1 фаза – 3–4 настоящих листьев (3 декада июня);
- 2 фаза – 5–6 настоящих листьев (3 декада июля);
- 3 фаза – 10–12 настоящих листьев (3 декада августа);
- 4 фаза – полная прикорневая розетка листьев (3 декада сентября);
- 5 фаза – окончание вегетации и уборка (2–3 декада октября).

Рис. 2. Динамика накопления подземной и надземной биомассы (вариант 17 – Фон +  $V_{(0,1+0,1+0,1)}$   $Zn_{(0,1+0,1+0,1)}$ )

Образование надземной листовой биомассы валерианы лекарственной и биомассы корней и корневищ протекало в течение всего периода вегетации вплоть до ее прекращения – в октябре. Анализ данных таблицы 3 показал, что в период от фазы 3–4 до фазы 10–12 настоящих листьев включительно более высокие темпы накопления биомассы характерны для надземной листовой части (особенно в период от 3 декады июля до 3 декады августа). Максимальные значения показателя соотношения надземной и подземной частей растения получены в вариантах с применением борных микроудобрений. В этих вариантах установлено преимущественное формирование листовой массы, что подтверждается более высокими показателями соотношения надземная/подземная масса (0,75–0,78). Однако, наиболее высокие показатели этого соотношения (0,78) получены в варианте с совместным применением бора и цинка (Фон +  $V_{(0,1+0,1+0,1)}$   $Zn_{(0,1+0,1+0,1)}$ ).

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Анализ данных показал, что в последующий период, после фазы 10–12 листьев до конца вегетации (с 3 декады августа до прекращения вегетации во 2–3 декадах октября), темпы накопления биомассы корней и корневищ валерианы заметно возросли по сравнению с надземной массой, что отображается снижением показателя соотношения надземной к подземной биомассе. Следует отметить, что преимущественное развитие подземной биомассы происходило (в сентябре – октябре) в фазу образования прикорневой розетки листьев и до прекращения вегетации. При этом отмечено значительное увеличение массы корней и корневищ, чем листовой массы. Это подтверждается снижением показателя соотношения листовой биомассы к подземной с 0,68–0,74 до 0,61–0,67 (табл. 3).

Установленное изменение процессов накопления биомассы объясняется биологическими особенностями валерианы, которая в первой половине вегетации более активно формировала надземную (листовую) часть, в последующем служащую основой для формирования подземной массы (корни и корневища). При возделывании валерианы следует учитывать эту особенность ее роста и развития в период от 3–4 до 10–12 настоящих листьев и создавать условия для активного формирования листовой массы за счет совершенствования элементов ее интенсивной технологии и проведения подкормок азотом.

Таблица 3

### Динамика соотношения листовой биомассы к подземной (корни и корневища) валерианы лекарственной в течение вегетации, ед. (2011–2012 гг.)

Варианты	Фаза 3–4 настоящих листьев	Фаза 5–6 настоящих листьев	Фаза 10–12 настоящих листьев	Фаза прикорневой розетки листьев	Прекращение вегетации
1. Контроль (без удобрений)	0,69	0,72	0,72	0,68	0,65
2. Фон (60 т/га навоза +N <sub>135</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> )	0,69	0,75	0,74	0,71	0,63
3. Фон + B <sub>1,5</sub>	0,69	0,75	0,76	0,73	0,66
4. Фон + Cu <sub>3,0</sub>	0,69	0,75	0,77	0,71	0,65
5. Фон + Zn <sub>3,0</sub>	0,69	0,75	0,75	0,69	0,64
6. Фон + B <sub>1,5</sub> Cu <sub>3,0</sub> Zn <sub>3,0</sub>	0,69	0,76	0,76	0,71	0,65
7. Фон + B <sub>(0,05+0,05+0,05)</sub>	0,69	0,76	0,75	0,71	0,65
8. Фон + B <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	0,69	0,76	0,76	0,72	0,65
9. Фон + B <sub>(0,15+0,15+0,15)</sub>	0,69	0,76	0,78	0,72	0,66
10. Фон + Cu <sub>(0,05+0,05+0,05)</sub>	0,69	0,73	0,76	0,71	0,65
11. Фон + Cu <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	0,69	0,73	0,75	0,71	0,65
12. Фон + Cu <sub>(0,15+0,15+0,15)</sub>	0,69	0,73	0,76	0,72	0,66
13. Фон + Zn <sub>(0,05+0,05+0,05)</sub>	0,69	0,73	0,75	0,71	0,63
14. Фон + Zn <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	0,69	0,74	0,76	0,70	0,62
15. Фон + Zn <sub>(0,15+0,15+0,15)</sub>	0,69	0,74	0,74	0,69	0,61
16. Фон + B <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Cu <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	0,69	0,74	0,78	0,74	0,67
17. Фон + B <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Zn <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	0,69	0,74	0,78	0,74	0,63
18. Фон + Cu <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Zn <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	0,69	0,73	0,75	0,72	0,63
19. Фон + B <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Cu <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Zn <sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>	0,69	0,74	0,77	0,73	0,65

На более поздних этапах роста и развития (август–октябрь) количество органического вещества в корнях и корневищах начинает расти более быстрыми темпами, чем в надземной массе. При этом часть органических веществ оттекает с листьев в корневища и корни валерианы.

Известно, что физиологические процессы образования органического вещества сельскохозяйственными культурами и особенности формирования урожая во многом определяются ассимиляционной поверхностью растений или площадью листьев. Листовому аппарату принадлежит основная роль в образовании органического вещества растений. При этом важнейшим критерием оценки фотосинтетической деятельности растений валерианы является площадь листьев, отображающая размеры фотосинтетического аппарата валерианы, что может выражаться индексом листовой поверхности (ИЛП) – отношением общей площади листьев растений к площади, на которой размещаются эти растения.

Нашими исследованиями установлено, что формирование ассимиляционной поверхности растений валерианы лекарственной динамично возрастало на протяжении всего периода роста и развития растений. В начале вегетации на первых этапах роста и развития растений в фазу 3–4 настоящих листьев (июнь) листовая пластинка валерианы недостаточно развита. В этом случае в начале вегетации (3–4 настоящих листа) ИЛП был минимальным. Начиная с фазы 5–6 настоящих листьев, этот показатель заметно возрастал и общая листовая площадь достигала 3000–5000 м<sup>2</sup>/га (ИЛП – 0,3–0,5), а в фазу 10–12 настоящих листьев – 11000–17000 м<sup>2</sup>/га (ИЛП – 1,1–1,7) (табл. 4).

Значительное увеличение листовой площади валерианы лекарственной в абсолютных показателях установлено во второй половине вегетации в период от фазы 10–12 настоящих листьев до фазы формирования прикорневой розетки листьев. В этом случае в среднем на фоне органических и минеральных удобрений индекс листовой поверхности за данный период увеличился на 1,5–1,7 единиц. К периоду прекращения вегетации (октябрь) прирост ассимилирующей поверхности листьев возрастал. За период от фазы формирования прикорневой розетки листьев до прекращения вегетации ИЛП увеличивался на 1,6–2,1 единиц.

Следует отметить, что рост листовой поверхности валерианы во многом обуславливается уровнем обеспеченности растений элементами минерального питания, которые непосредственно участвуют в биосинтезе органических веществ, идущих на формирование ассимиляционной поверхности. Для такого биосинтеза необходимы как макро–, так и микроэлементы, применяемые в наших опытах.

Микроудобрения оказали заметное влияние на увеличение листовой площади, в первую очередь – борное и медное. При комплексном внесении микроудобрений следует выделить синергетическое взаимодействие бора и меди и антагонистическое – меди и цинка. Максимальная площадь листьев (ИЛП – 5,5) получена при совместном внесении бора и меди (Фон + В<sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Cu<sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>) некорневым способом (вар. 17).

Высокая эффективность цинка отмечалась при комплексном внесении его с бором (проявление синергизма). Существенное увеличение биомассы получено при совместном внесении бора с медью (Фон + В<sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Cu<sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>). Также отмечалось значительное увеличение биомассы корней и корневищ, но гораздо меньшее, чем при совместном внесении бора и цинка. В этом варианте получены наиболее высокие показатели формирования листовой биомассы и ее площади.

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

С другой стороны, взаимодействие некоторых элементов может носить антагонистический характер, снижая накопление биомассы корней и корневищ. Примером такого взаимодействия является совместное внесение меди и цинка в варианте 18 (Фон +  $Cu_{(0,1+0,1+0,1)}$   $Zn_{(0,1+0,1+0,1)}$ ).

Таблица 4

### Динамика индекса листовой поверхности растений валерианы лекарственной в течение вегетации, ед. (2011–2012 гг.)

Варианты	Фаза 3–4 настоящих листьев	Фаза 5–6 настоящих листьев	Фаза 10–12 настоящих листьев	Фаза при-корневой розетки листьев	Пре-кращение вегетации
1. Контроль (без удобрений)	0,2	0,3	1,1	2,0	3,2
2. Фон (60 т/га навоза + $N_{135} P_{60} K_{120}$ )	0,2	0,3	1,1	2,6	4,2
3. Фон + $B_{1,5}$	0,2	0,4	1,3	2,8	4,6
4. Фон + $Cu_{3,0}$	0,2	0,3	1,2	2,7	4,4
5. Фон + $Zn_{3,0}$	0,2	0,3	1,1	2,7	4,5
6. Фон + $B_{1,5} Cu_{3,0} Zn_{3,0}$	0,2	0,4	1,3	2,9	4,5
7. Фон + $B_{(0,05+0,05+0,05)}$	0,2	0,4	1,4	3,3	4,6
8. Фон + $B_{(0,1+0,1+0,1)}$	0,2	0,4	1,5	3,3	4,8
9. Фон + $B_{(0,15+0,15+0,15)}$	0,2	0,5	1,6	3,4	5,0
10. Фон + $Cu_{(0,05+0,05+0,05)}$	0,2	0,4	1,4	3,1	4,5
11. Фон + $Cu_{(0,1+0,1+0,1)}$	0,2	0,4	1,5	3,1	4,6
12. Фон + $Cu_{(0,15+0,15+0,15)}$	0,2	0,5	1,5	3,2	4,8
13. Фон + $Zn_{(0,05+0,05+0,05)}$	0,2	0,4	1,4	2,8	4,5
14. Фон + $Zn_{(0,1+0,1+0,1)}$	0,2	0,4	1,4	2,8	4,5
15. Фон + $Zn_{(0,15+0,15+0,15)}$	0,2	0,4	1,5	3,0	4,6
16. Фон + $B_{(0,1+0,1+0,1)} Cu_{(0,1+0,1+0,1)}$	0,2	0,6	1,7	3,4	5,5
17. Фон + $B_{(0,1+0,1+0,1)} Zn_{(0,1+0,1+0,1)}$	0,2	0,5	1,7	3,2	5,1
18. Фон + $Cu_{(0,1+0,1+0,1)} Zn_{(0,1+0,1+0,1)}$	0,2	0,4	1,5	3,1	5,1
19. Фон + $B_{(0,1+0,1+0,1)} Cu_{(0,1+0,1+0,1)} Zn_{(0,1+0,1+0,1)}$	0,2	0,5	1,6	3,2	5,2
НСР <sub>05</sub>		0,02	0,07	0,15	0,24

Необходимо отметить, что наибольшее увеличение биомассы корней и корневищ обеспечило применение микроудобрений в некорневую подкормку. Микроэлементы по эффективности их влияния на формирование биомассы корней и корневищ валерианы как при почвенном, так и при некорневом внесении можно расположить в следующем порядке убывания:  $Zn > B > Cu$ .

## ВЫВОДЫ

1. Наиболее существенное увеличение общей биомассы валерианы отмечено в период от 5–6 (3 декада июля) до 10–12 настоящих листьев (3 декада августа). После фазы 10–12 листьев до конца вегетации темпы накопления подземной биомассы заметно возросли по сравнению с надземной. Преимущественное развитие подземной биомассы происходило в период от фазы образования прикорневой розетки листьев

до прекращения вегетации (октябрь), что подтверждается снижением показателей соотношения листовой биомассы к подземной с 0,68–0,74 до 0,61–0,67.

2. Наибольшей интенсивностью накопления общей и подземной биомассы характеризуются варианты с применением некорневых подкормок цинком (Фон +  $Zn_{(0,15+0,15+0,15)}$ ), преимущественно при совместном применении цинка с бором (Фон +  $B_{(0,1+0,1+0,1)}$   $Zn_{(0,1+0,1+0,1)}$ ) на фоне органических и минеральных удобрений (60 т/га навоза +  $N_{135} P_{60} K_{120}$ ). Совместное внесение цинка и бора повышало накопление подземной биомассы к концу вегетации по сравнению с вариантом без микроудобрений в 1,3 раза, или на 29,9 %. Микроэлементы по эффективности их влияния на формирование биомассы корней и корневищ валерианы как при почвенном, так и при некорневом внесении можно расположить в следующем порядке убывания:  $Zn > B > Cu$ .

3. Максимальное увеличение листовой площади валерианы в абсолютных показателях установлено во второй половине вегетации в период от 10–12 настоящих листьев до прекращения вегетации, когда индекс листовой площади увеличился на 3,1–3,8 единиц.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анспок, П.И. Микроудобрения / П.И. Анспок. – Л.: Агропромиздат, 1990. – 272 с.
2. Брилева, С.В. Потребление основных элементов минерального питания растениями валерианы в течение вегетации // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. тр. / Гроднен. гос. аграр. ун-т. – Гродно, 2005. – Т. 4, Ч. 1. – С. 15–18.
3. Каталымов, Н.В. Микроэлементы и микроудобрения / Н.В. Каталымов. – Л.: Химия, 1965. – 330 с.
4. Асаблівасці мінеральнага абмену лекавых культур ва ўмовах Беларусі. Валяр'ян лекавы / Ж.А. Рупасова [и др.] // Весці Нац. акад. навук Беларусі. – 1994. – № 3. – С. 6–11.
5. Валериана лекарственная / И.Д. Семенихин [и др.] // Возделывание лекарственных культур: сб. науч. тр. / ВНИИЛР. – М., 1987. – Т. 1, ч. 1. – С. 10–21.
6. Терехин, А.А. Технология возделывания лекарственных растений: учеб. пособие / А.А. Терехин. – М.: РУДН, 2008. – 201 с.
7. Poradnik plantatora ziol / pod red. Antoniny Ruminskiej. – Poznan, 1991. – S. 200–208.

## THE INFLUENCE OF MICROFERTILIZERS ON DYNAMICS OF ACCUMULATION OF MEDICINAL VALERIAN BIOMASS

G.M. Milosta

### Summary

In the researches conducted on sod-podzolic sandy-loam soil laid by the exterminated loam, it was set that application of microfertilizers: boric, zinc, copper – on a background of organic and mineral fertilizers (60 т/ha of manure +  $N_{135} P_{60} K_{120}$ ) influences on forming of biomass of medicinal valerian. Microelements by the efficiency of their influence on forming of biomass of roots and rhizomes of valerian both at the soil and

and unroot bringing are possible to be disposed in the next order of decrease:  $Zn > B > Cu$ . Variants with the use of the unroot additional fertilizing by zinc (Background +  $Zn_{(0,15+0,15+0,15)}$ ) and especially with joint application of zinc and bor (Background +  $B_{(0,1+0,1+0,1)} Zn_{(0,1+0,1+0,1)}$ ) have the most intensity of accumulation of general and underground biomass.

*Поступила 16 ноября 2012 г.*

УДК 631.461.5:631.559:633.22

### **ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ**

**В.В. Лапа, Н.А. Михайловская, М.М. Ломонос,  
М.С. Лопух, О.В. Василевская, Т.В. Погирницкая**  
*Институт почвоведения и агрохимии, Минск, Беларусь*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Наряду с актуальными задачами по достижению высокой и стабильной урожайности, качественной и конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции, необходимо своевременно решать сопряженные экологические задачи по контролю влияния интенсификации растениеводства на состояние почвенного плодородия [1–5]. Одним из основных критериев оценки изменений плодородия почв, вызываемых антропогенной деятельностью, является биологическое состояние почвы [3–5]. В современных условиях воспроизводство и сохранение плодородия почв, используемых в сельскохозяйственном производстве, являются приоритетными задачами. Поэтому все больше внимания уделяется изучению биологических свойств почв и биологических процессов, определяющих их плодородие.

Системы удобрения сельскохозяйственных культур являются одним из основных факторов, оказывающих существенное влияние на агрохимические, агрофизические и биологические свойства почвы, которые определяют ее плодородие, режим питания и урожайность сельскохозяйственных культур [5–7]. Оценка биологического состояния почв позволяет получить информацию о направленности и скорости протекания процессов трансформации органического вещества почвы и определить экологически обоснованные системы удобрения, обеспечивающие высокую и устойчивую урожайность сельскохозяйственных культур при сберегающем уровне биологической активности для сохранения плодородия почвы.

Для оценки биологического состояния почв в настоящее время используется широкий спектр показателей, что обусловлено многообразием функций почвенных микроорганизмов. Для диагностических целей наибольший интерес представляют показатели активности, или интенсивности, ключевых микробиологических процессов формирования плодородия. Такую возможность дает проведение почвенных биохимических исследований. В основе микробного метаболизма лежит работа ферментов, которые катализируют все биохимические реакции и являются интеграль-

ной частью круговорота элементов питания в почве. Почвенные ферменты имеют преимущественно микробное происхождение [8], доля ферментов растительного и животного происхождения значительно меньше [9]. Ферменты накапливаются в почве и образуют пул (запас), который рассматривается как результат ежегодного развития микроорганизмов в почве. Ферментативная активность является чувствительным индикатором биохимической деятельности микробных сообществ почвы.

Аргументами в пользу ферментативной диагностики являются относительная простота измерения и быстрый отклик на антропогенное воздействие. По сравнению с другими показателями изменения ферментативной активности, вызванные антропогенными факторами, регистрируются на более ранних этапах, что позволяет использовать эти показатели для ранней диагностики нежелательных экологических тенденций [10].

Преимуществом ферментативной диагностики является более высокая стабильность ферментативных параметров по сравнению с другими показателями биологической активности [5]. Внеклеточные ферменты, составляющие значительную часть ферментного пула почвы, находятся в стабилизированном состоянии за счет прочных связей с ее минеральными и органическими компонентами [11, 12]. Стабилизированные внеклеточные ферменты устойчивы к протеолизу, защищены от инактивации, длительно сохраняют активность и функционируют при неблагоприятных условиях дефицита влаги и элементов питания, то есть в тех условиях, когда микробная деятельность обычно подавлена.

Несмотря на экологическую значимость ферментативной диагностики, влияние систем удобрения на ключевые биохимические процессы, формирующие плодородие, слабо исследовано. Актуальность таких исследований обусловлена недостатком информации по этой проблеме и необходимостью оценки систем удобрения с биологических позиций. Ферментативная диагностика нужна для своевременного предупреждения развития негативных экологических процессов.

Цель исследований – установить влияние систем удобрения сельскохозяйственных культур на активность ключевых биохимических процессов, связанных с циклами углерода и азота (аммонификации, минерализации углеводов, гумификации), в дерново-подзолистой, легкосуглинистой почве и определить экологически наиболее обоснованную систему удобрения, обеспечивающую сберегающий уровень биологической активности.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Биохимические исследования проведены на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощном лессовидном суглинке, в длительном стационарном опыте по оценке эффективности различных систем удобрения сельскохозяйственных культур (СПК «Щемяслица», Минский р-н).

Схема стационарного опыта предусматривала внесение трех доз азота на разных уровнях фосфорно-калийного питания –  $N_{18-54}$  без внесения РК (за счет использования их почвенных запасов), в расчете на дефицитный ( $N_{18-54} P_{30} K_{66}$ ) и поддерживающий ( $N_{18-54} P_{60} K_{132}$ ) балансы фосфора и калия в почве. Органические удобрения вносят общим фоном – 8 т/га севооборотной площади.

Исследования проводились в зерно-травяном севообороте: пелюшко-овсяная смесь – озимая тритикале с подсевом клевера – клевер луговой 1-ого г.п. – клевер

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

луговой 2-ого г.п. – яровая пшеница. Схема опыта содержит 17 вариантов удобрений в 4-кратной повторности. Общий размер делянки – 69 м<sup>2</sup> (11,5 м x 6 м). Учетная площадь делянки – 43 м<sup>2</sup> (9,55 м x 4,5 м).

### Схема полевого опыта и среднегодовые дозы удобрений

Вариант	Ø на 1 га
Без удобрений	–
Навоз – фон 1	8 т
Фон 1 + N <sub>1</sub>	N <sub>18</sub>
Фон 1 + N <sub>2</sub>	N <sub>36</sub>
Фон 1 + N <sub>3</sub>	N <sub>54</sub>
Фон 1 + N <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	N <sub>36</sub> P <sub>30</sub>
Фон 1 + N <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	N <sub>36</sub> K <sub>66</sub>
Навоз+P <sub>1</sub> K <sub>1</sub> – фон 2	P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>
Фон 2 + N <sub>1</sub>	N <sub>18</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>
Фон 2 + N <sub>2</sub>	N <sub>36</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>
Фон 2 + N <sub>3</sub>	N <sub>54</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>
Навоз+P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> – фон 3	P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>
Фон 3 + N <sub>1</sub>	N <sub>18</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>
Фон 3 + N <sub>2</sub>	N <sub>36</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>
Фон 3 + N <sub>3</sub>	N <sub>54</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>
Фон 3+N <sub>3</sub> (дробно)	N <sub>54</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>
Фон 3+N <sub>4</sub> (дробно)	N <sub>72</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>

Ферментативная диагностика почвы в полевом опыте проведена по гидролитическим (инвертаза и уреазы) и окислительным (полифенолоксидаза и пероксидаза) ферментам в соответствии с разработанной в лаборатории микробиологии и биохимии почв системой биодиагностики почвенного плодородия. Ферментативную активность определяли в воздушно-сухих почвенных образцах. Активность инвертазы определяли колориметрическим методом, предложенным Т.А. Щербаковой, с использованием сахарозы в качестве ферментного субстрата; для определения количества редуцирующих сахаров, образующихся в результате ферментативной реакции, использована динитросалициловая кислота [13]. Для оценки уреазной активности почвы использован метод Т.А. Щербаковой, в котором ферментным субстратом служит мочевины, а для количественного определения аммония применяется реактив Несслера [14]. Для определения активности почвенных оксидаз, полифенолоксидазы и пероксидазы использован колориметрический метод, разработанный Л.А. Карягиной, Н.А. Михайловской с применением гидрохинона в качестве ферментного субстрата, где активность ферментов устанавливается по количеству бензохинона, образовавшегося в результате ферментативной реакции [15].

В 2011 г. анализировали почвенные образцы, отобранные на поле 1, в 2012 г. биохимические исследования проведены в почвенных образцах поля 2 (СПК «Щемыслица»).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате длительного применения разных систем удобрения сельскохозяйственных культур на поле 1 сформированы разные уровни насыщенности пахотного

слоя дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы Р и К на разных блоках опыта. Диапазоны содержания подвижного фосфора в почве составляют 250–409 мг/кг  $P_2O_5$ , подвижного калия – 99–309 мг/кг  $K_2O$ . Различия по содержанию гумуса в почве – в пределах 1,73–1,98 %, по уровню кислотности почвы – 5,8–6,0 (табл. 1).

Пахотный слой почвы поля 2 характеризовался близкими агрохимическими свойствами: различия по уровням насыщенности подвижными формами фосфора и калия составили 250–410 мг/кг  $P_2O_5$  и 86–295 мг/кг  $K_2O$  соответственно, по содержанию гумуса в почве – 1,79–2,03 %, по уровню кислотности – 5,9–6,0 (табл. 2).

Наиболее высокие показатели продуктивности зерно-травяного севооборота, 126,2 и 124,5 ц к.ед./га, получены на блоке опыта с поддержанием баланса фосфора и калия в почве при дробном внесении азотных удобрений  $N_{54}P_{60}K_{132}$  и  $N_{72}P_{60}K_{132}$  (табл. 1). Высокие показатели продуктивности, в пределах 123,8–126,2 ц к.ед./га, отмечены также при внесении полных доз азота  $N_{18}$ ,  $N_{36}$  и  $N_{54}$  на фонах  $P_{60}K_{132}$ . При использовании остаточных количеств фосфора и калия в почве ( $N_{18-54}$ ) и при их дефицитном балансе в почве ( $N_{18-54}P_{30}K_{66}$ ) продуктивность сельскохозяйственных культур была ниже и составила 113,6–116,3 и 120,1–123,4 ц к.ед./га соответственно (табл. 1).

Таблица 1

**Агрохимическая характеристика пахотного слоя дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и продуктивность зерно-травяного севооборота (СПК «Щемыслица», поле 1)**

№	Вариант $\emptyset$ на 1 га	pH	Гумус, %	$P_2O_5$ , мг/кг (0,2н HCl)	$K_2O$ , мг/кг (0,2н HCl)	Продуктив- ность, ц к.ед./га
1	Без удобрений	6,0	1,73	250	99	93,4
2	Навоз, 8 т/га – фон	6,0	1,87	254	127	103,9
3	$N_{18}$	6,0	1,87	271	144	113,6
4	$N_{36}$	6,0	1,90	282	148	116,3
5	$N_{54}$	5,9	1,83	293	156	115,0
6	$N_{36}P_{30}$	6,0	1,91	333	154	119,1
7	$N_{36}K_{66}$	5,9	1,85	300	223	120,7
8	$P_{30}K_{66}$	5,9	1,79	367	236	113,0
9	$N_{18}P_{30}K_{66}$	5,8	1,89	366	230	120,1
10	$N_{36}P_{30}K_{66}$	5,8	1,83	373	213	123,4
11	$N_{54}P_{30}K_{66}$	5,9	1,98	361	217	121,7
12	$P_{60}K_{132}$	5,9	1,93	398	312	118,1
13	$N_{18}P_{60}K_{132}$	5,9	1,91	398	309	123,8
14	$N_{36}P_{60}K_{132}$	5,9	1,84	403	308	126,2
15	$N_{54}P_{60}K_{132}$	5,8	1,89	409	306	123,8
16	* $N_{54}P_{60}K_{132}$	5,8	1,92	402	305	126,2
17	* $N_{72}P_{60}K_{132}$	5,8	1,85	397	301	124,5

Примечание: N – дробное внесение.

Ключевыми экологическими функциями почвы являются синтез и минерализация органических веществ [16]. При интенсивной антропогенной нагрузке важно контролировать способность почвы сохранять и поддерживать эти функции. Так как все

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

процессы синтеза и минерализации органических веществ в почве катализируются ферментами и являются биохимическими по природе, то ферментативная диагностика почв становится удобным инструментом для осуществления такого контроля.

Таблица 2

### Агрохимическая характеристика пахотного слоя дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (СПК «Щемяслица», поле 2)

№	Вариант $\sigma$ на 1 га	pH	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг (0,2н HCl)	K <sub>2</sub> O, мг/кг (0,2н HCl)
1	Без удобрений	6,1	1,79	250	86
2	Навоз, 8 т/га – фон	6,1	1,87	251	121
3	N <sub>18</sub>	6,1	1,92	272	145
4	N <sub>36</sub>	6,1	1,93	286	143
5	N <sub>54</sub>	6,1	1,95	284	153
6	N <sub>36</sub> P <sub>30</sub>	6,1	1,99	322	154
7	N <sub>36</sub> K <sub>66</sub>	6,1	1,98	282	213
8	P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>	6,0	1,90	357	223
9	N <sub>18</sub> P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>	6,1	1,95	357	222
10	N <sub>36</sub> P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>	5,9	1,92	360	205
11	N <sub>54</sub> P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>	6,0	1,96	354	199
12	P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	6,0	2,03	401	297
13	N <sub>18</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	6,0	1,98	410	295
14	N <sub>36</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	6,0	1,97	406	289
15	N <sub>54</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	5,9	1,96	409	285
16	*N <sub>54</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	6,0	1,96	402	275
17	*N <sub>72</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	6,0	1,95	393	273

Примечание: N – дробное внесение.

Для диагностических целей наиболее целесообразно использовать энзиматические показатели, тесно связанные с циклами основных биогенных элементов, в особенности углерода и азота. В наших исследованиях по оценке систем удобрения сельскохозяйственных культур использованы показатели активности гидролитических ферментов – инвертазы (цикл углерода) и уреазы (цикл азота), а также окислительные ферменты – полифенолоксидаза и пероксидаза, участвующие в цикле углерода в почве.

Инвертаза осуществляет катализ гидролитического разложения сахарозы и играет критическую роль в высвобождении низкомолекулярных сахаров, глюкозы и фруктозы, которые служат источником энергии для микроорганизмов [17]. Таким образом, инвертазная активность почвы в значительной степени определяет общий уровень биогенности почвы и ее обогащенность микробной биомассой.

Уреазная активность почвы служит диагностическим показателем способности почвы накапливать минеральный азот. Уреаза является также гидролитическим ферментом, она катализирует разложение мочевины на угольную кислоту и аммоний. Значимость этого фермента, действующего на завершающих стадиях процессов аммонификации, обусловлена его критической ролью в высвобождении неорганического азота в форме аммония, который в дальнейшем непосредственно ассимилируется как растениями, так и почвенными микроорганизмами [18].

Важнейшими составляющими цикла углерода в почве считаются микробные оксидазы – полифенолоксидазы и пероксидазы [19, 20, 21]. Эти ферменты играют определяющую роль в биохимических процессах гумификации поступающих в почву растительных остатков, содержащих в своем составе лигнины. Микробные оксидазы катализируют окисление ароматических соединений до хинонов, которые способны вступать в реакции конденсации с аминокислотами и пептидами с образованием гуминовых кислот [19, 22]. Для оценки интенсивности биохимических процессов гумификации при разных системах удобрения использовали показатели полифенолоксидазной и пероксидазной активности почвы.

Дифференциация по агрохимическим свойствам в результате длительного применения разных систем удобрения оказала значительное влияние на изученные биохимические показатели дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. В таблицах 2 и 3 представлены результаты ферментативной диагностики дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Установлены четкие различия по интенсивности процессов аммонификации (уреаза), минерализации углеводов (инвертаза), а также по активности процессов гумификации растительных остатков (полифенолоксидазы и пероксидазы) на блоках опыта с разными системами удобрения сельскохозяйственных культур.

При системе удобрения, рассчитанной на использование остаточных количеств P и K в почве с внесением трех доз азотных удобрений –  $N_{18}$ ,  $N_{36}$  и  $N_{54}$ , отмечены минимальные по опыту уровень ферментативной активности и продуктивность зерно-травяного севооборота. Диапазоны варьирования показателей инвертазной активности составили 1589–1917 мг глюкозы/кг, уреазной – 135–169 мг  $N-NH_4^+$ /кг, полифенолоксидазной – 36,2–40,3 мг хинона/кг, пероксидазной – 35,3–42,3 мг хинона/кг (табл. 3, 4). Содержание гумуса в почве – 1,83–1,95 %, подвижного фосфора – 271–293 мг/кг, калия – 143–156 мг/кг почвы. Продуктивность культур при этом находилась в пределах 113,6–116,3 ц к.ед./га (табл. 1, 2).

Применение системы удобрения, рассчитанной на дефицит фосфора и калия в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве ( $N_{18-54}P_{30}K_{66}$ ), привело к повышению ее ферментативной активности. Диапазоны варьирования показателей инвертазной активности почвы составили 1848–2087 мг глюкозы/кг, уреазной – 167–185 мг  $N-NH_4^+$ /кг, полифенолоксидазной – 41,8–46,5 мг хинона/кг, пероксидазной – 35,8–49,1 мг хинона/кг (табл. 3, 4). Активизация биохимических процессов связана с повышением содержания гумуса до 1,83–1,98 %, подвижного фосфора – до 361–373 мг/кг, калия – до 199–230 мг/кг. Продуктивность культур севооборота также возросла до 120,1–123,4 ц к.ед./га (табл. 1, 2).

При поддерживающей системе удобрения сельскохозяйственных культур ( $N_{18-54}P_{60}K_{132}$ ) содержание гумуса в почве достигло 1,84–1,98 %, подвижного фосфора – 398–410 мг/кг, калия – 285–309 мг/кг (табл. 1, 2). В этих условиях установлено наиболее значимое в опыте усиление гидролитической трансформации углеводов и азотсодержащих органических соединений с высвобождением доступных моносахаридов и аммония. Диапазоны варьирования показателей активности инвертазы в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве составили 2275–2933 мг глюкозы/кг, уреазы – 188–210 мг  $N-NH_4^+$ /кг. Одновременно с ростом минерализующей способности почвы отмечено повышение скорости биохимических процессов гумификации лигнинов растительных остатков. Диапазоны варьирования показателей полифенолоксидазной активности составили 44,7–50,5 мг хинона/кг,

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

пероксидазной – 40,0–54,9 мг хинона/кг почвы (табл. 3, 4). Продуктивность сельскохозяйственных культур повысилась до 123,8–126,2 ц к.ед./га (табл. 1).

Применение поддерживающей системы удобрения с дробным внесением азотных удобрений –  $N_{54}$  и  $N_{72}$  на фонах  $P_{60}K_{132}$ , которая обеспечивала наиболее высокую продуктивность севооборота, 126,2 и 124,5 ц к.ед./га (табл. 1), способствовало поддержанию более умеренных (сберегающих) показателей активности гидролитических ферментов в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Установленные диапазоны варьирования параметров инвертазной активности составили 1993–2294 мг глюкозы/кг, уреазной – 185–193 мг  $N-NH_4^+$ /кг, полифенолоксидазной – 42,8–53,0 мг хинона/кг, пероксидазной – 36,6–54,6 мг хинона/кг (табл. 3, 4). Содержание гумуса в почве находилось в пределах 1,85–1,96 %, подвижного фосфора – 393–402 мг/кг, калия – 273–305 мг/кг (табл. 1, 2).

Результаты ферментативной диагностики показали значимость системы удобрения сельскохозяйственных культур и обеспеченности почвы элементами минерального питания для активности протекания основных биохимических процессов, формирующих плодородие почвы – аммонификации, минерализации поли- и олигосахаридов, гумификации растительных лигнинов.

Таблица 3

### Ферментативная активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в зависимости от системы удобрения (поле 1, 2011 г.)

Варианты опыта	Уреаза, мг $N-NH_4^+$ /кг	Инвертаза, мг глюкозы/кг	ПФО, мг хинона/кг	ПО, мг хинона/кг
Без удобрений	149,1	1279	34,0	32,4
Навоз, 8 т/га – фон	158,9	1504	35,2	32,4
$N_{18}$	165,2	1589	36,7	35,3
$N_{36}$	168,0	1842	37,4	36,2
$N_{54}$	169,4	1917	40,3	37,2
$N_{36}P_{30}$	168,0	2218	38,9	36,7
$N_{36}K_{66}$	176,4	2087	40,9	40,0
$P_{30}K_{66}$	165,2	1993	40,7	36,2
$N_{18}P_{30}K_{66}$	169,4	1974	41,8	35,8
$N_{36}P_{30}K_{66}$	178,5	2068	41,9	38,6
$N_{54}P_{30}K_{66}$	173,6	2087	44,0	39,6
$P_{60}K_{132}$	182,0	2294	43,3	36,7
$N_{18}P_{60}K_{132}$	193,2	2331	44,7	40,0
$N_{36}P_{60}K_{132}$	199,5	2745	47,2	41,0
$N_{54}P_{60}K_{132}$	210,0	2933	47,8	42,0
* $N_{54}P_{60}K_{132}$	193,2	1993	43,8	36,6
* $N_{72}P_{60}K_{132}$	191,0	2294	42,8	38,6
НСР <sub>05</sub>	18,5	283,4	2,9	4,6

Примечание: N – дробное внесение.

Исследованы четыре показателя энзиматической активности почвы, для определения которых используются специфичные ферментативные субстраты [13–15].

Активность изученных ферментов выражена в разных единицах и представлена количеством превращенного субстрата за единицу времени (табл. 3, 4). В биологических науках для анализа и сравнения подобных экспериментальных данных нередко используется метод Дж. Ацци [23], который позволяет выразить изучаемые характеристики в относительных единицах (%) по отношению к контролю.

Таблица 4

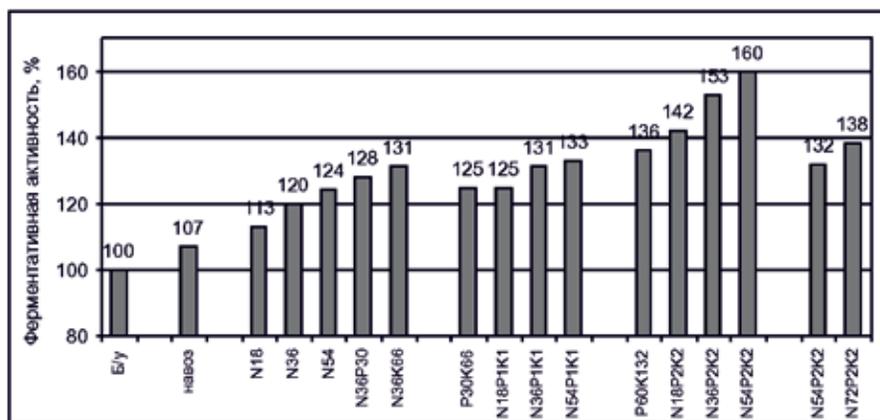
**Ферментативная активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в зависимости от системы удобрения (поле 2, 2012 г.)**

Варианты опыта	Уреаза, мг N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /кг	Инвертаза, мг глюкозы/кг	ПФО, мг хинона/кг	ПО, мг хинона/кг
Без удобрений	112,2	1415	32,7	35,8
Навоз, 8 т/га – фон	128,1	1616	36,4	41,4
N <sub>18</sub>	135,0	1634	36,2	40,2
N <sub>36</sub>	140,3	1712	37,3	40,8
N <sub>54</sub>	146,3	1778	38,9	42,3
N <sub>36</sub> P <sub>30</sub>	158,2	1693	40,1	40,1
N <sub>36</sub> K <sub>66</sub>	164,6	1730	38,5	40,0
P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>	155,5	1802	44,0	42,7
N <sub>18</sub> P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>	167,2	1848	45,4	46,7
N <sub>36</sub> P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>	177,2	1959	46,1	47,4
N <sub>54</sub> P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>	185,1	1981	46,5	49,1
P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	169,2	2128	47,2	53,2
N <sub>18</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	187,5	2275	48,5	53,7
N <sub>36</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	194,7	2463	49,3	54,6
N <sub>54</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	205,4	2543	50,5	54,9
*N <sub>54</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	184,6	2043	52,2	54,6
*N <sub>72</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	193,1	2141	53,0	54,6
НСР <sub>05</sub>	16,2	161,3	2,7	4,3

Примечание: N – дробное внесение.

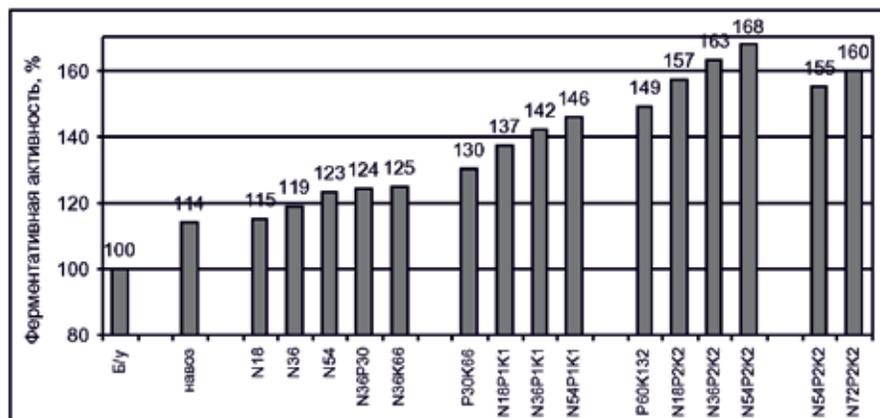
Сравнительный анализ показал, что при системе удобрения, ориентированной на использование остаточных количеств фосфора и калия в почве (N<sub>18-54</sub>), общий уровень ферментативной активности оценивается как 113–124 % (в 2011 г. – 113–124 %, в 2012 г. – 115–123 %). При применении системы удобрения, рассчитанной на дефицит фосфора и калия в почве (N<sub>18-54</sub>P<sub>30</sub>K<sub>66</sub>), общая ферментативная активность варьирует в пределах 125–146 % (в 2011 г. – 125–133 %, в 2012 г. – 137–146 %). При поддерживающей системе удобрения сельскохозяйственных культур (N<sub>18-54</sub>P<sub>60</sub>K<sub>132</sub>) происходит значимое усиление ферментативной активности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы до 142–168 % (в 2011 г. – 142–160 %, в 2012 г. – 157–168 %). Наиболее обоснованный, сберегающий, уровень ферментативной активности 132–160 % (в 2011 г. – 132–138 %, в 2012 г. – 155–160 %) отмечается при поддерживающей системе удобрения сельскохозяйственных культур, предусматривающей дробное внесение N<sub>54</sub> и N<sub>72</sub> на фонах P<sub>60</sub>K<sub>132</sub> и обеспечивающей наиболее высокую продуктивность севооборота (табл. 1, рис. 1, 2).

## 2. Плодородие почв и применение удобрений



$P_{1K_1} - P_{30K_{66}}; P_{2K_2} - P_{60K_{132}}$

Рис. 1. Ферментативная активность (%) дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в зависимости от системы удобрения (поле 1, 2011 г.)



$P_{1K_1} - P_{30K_{66}}; P_{2K_2} - P_{60K_{132}}$

Рис. 2. Ферментативная активность (%) дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в зависимости от системы удобрения (поле 2, 2012 г.)

Как было отмечено выше, в расчетный показатель общей ферментативной активности почвы были включены все четыре исследованных энзиматических теста. Представляло интерес дать оценку интенсивности более специфических биохимических процессов, связанных с минерализацией органических веществ в почве [17–18]. Для этого энзиматические показатели группировали по направленности действия ферментов и рассчитали общую интенсивность минерализации (%) по активности гидролитических ферментов инвертазы и уреазы, также используя метод Дж. Ацци [23]. Общую активность гидролитических ферментов рассматривали как характеристику минерализующей способности почвы. Установлено, что самый высокий уровень минерализационных процессов в течение двух лет исследований был отмечен на вариантах  $N_{36}P_{60}K_{132}$  и  $N_{54}P_{60}K_{132}$  – 175 и 185 % в 2011 г., 174 и 182 % в 2012 г. При дробном внесении азотных удобрений ( $N_{54}$  и  $N_{72}$  на фонах  $P_{60}K_{132}$ )

установлено существенное снижение скорости минерализации органических веществ до 143 и 154 % в 2011 г., а также до 155 и 162 % в 2012 г. (табл. 5).

Таблица 5

**Показатели активности минерализации и гумификации в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (поле 1, 2011 г.)**

Варианты	Минерализация, %			Гумификация, %		
	уреаза	инвертаза	среднее	ПФО	ПО	среднее
Без удобрений	100	100	100	100	100	100
Навоз, 8 т/га – фон	107	118	113	104	100	102
N <sub>18</sub>	111	124	118	108	109	109
N <sub>36</sub>	113	144	129	110	112	111
N <sub>54</sub>	114	150	132	119	115	117
N <sub>36</sub> P <sub>30</sub>	113	173	143	114	113	114
N <sub>36</sub> K <sub>66</sub>	118	163	141	120	123	122
P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>	111	156	134	120	112	116
N <sub>18</sub> P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>	114	154	134	123	110	117
N <sub>36</sub> P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>	120	162	141	123	119	121
N <sub>54</sub> P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>	116	163	140	129	122	126
P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	122	179	151	127	113	120
N <sub>18</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	130	182	156	131	123	127
N <sub>36</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	134	215	175	139	127	133
N <sub>54</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	141	229	185	141	130	136
*N <sub>54</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	130	156	143	129	113	121
*N <sub>72</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	128	179	154	126	119	123

Примечание: N – дробное внесение.

Аналогичным образом можно дать оценку интенсивности ферментативных процессов, связанных с гумификацией органических веществ в почве. С этой целью рассчитали общую активность окислительных ферментов (полифенолоксидазы и пероксидазы), учитывая их ключевую роль в процессах гумификации растительных лигнинов [19–21]. Общую активность оксидаз (%) рассматривали как характеристику гумифицирующей способности почвы. Следует отметить, что полученные данные отличались по годам исследований. В 2011 г. наиболее высокие показатели скорости гумификации отмечены на вариантах N<sub>36</sub>P<sub>60</sub>K<sub>132</sub> и N<sub>54</sub>P<sub>60</sub>K<sub>132</sub> – 133 и 136 %, а при дробном внесении азотных удобрений (N<sub>54</sub> и N<sub>72</sub> на фонах P<sub>60</sub>K<sub>132</sub>) установлено снижение скорости гумификации до 121 и 123 %. В 2012 г. отмечали обратную тенденцию: на вариантах с дробным внесением азота скорость гумификации составляла 157 и 158 % по сравнению с 152 и 154 % на вариантах N<sub>36</sub>P<sub>60</sub>K<sub>132</sub> и N<sub>54</sub>P<sub>60</sub>K<sub>132</sub> (табл. 6).

При изучении влияния систем удобрения сельскохозяйственных культур на биологический статус почвы оценка скорости минерализации и гумификации органических веществ по соответствующим группам ферментативных параметров позволяет выделить системы удобрения, оказывающие экологически оптимальное воздействие на почву. Особенно важны контроль и оценка интенсивности

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

минерализационных процессов, чтобы выявить предпочтительные системы удобрения, обеспечивающие сберегающий уровень минерализации органического вещества почвы.

Таблица 6

### Показатели активности минерализации и гумификации в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (поле 2, 2012 г.)

Варианты	Минерализация, %			Гумификация, %		
	уреаза	инвертаза	среднее	ПФО	ПО	среднее
Без удобрений	100	100	100	100	100	100
Навоз, 8 т/га – фон	114	114	114	111	116	114
N <sub>18</sub>	120	115	118	111	112	112
N <sub>36</sub>	125	121	123	114	114	114
N <sub>54</sub>	130	126	128	119	118	119
N <sub>36</sub> P <sub>30</sub>	141	120	131	123	112	118
N <sub>36</sub> K <sub>66</sub>	147	122	135	118	112	115
P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>	139	127	133	135	119	127
N <sub>18</sub> P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>	149	131	140	139	130	135
N <sub>36</sub> P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>	158	138	148	141	132	137
N <sub>54</sub> P <sub>30</sub> K <sub>66</sub>	165	140	153	142	137	140
P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	151	150	151	144	149	147
N <sub>18</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	167	161	164	148	150	149
N <sub>36</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	174	174	174	151	153	152
N <sub>54</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	183	180	182	154	153	154
*N <sub>54</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	165	144	155	160	153	157
*N <sub>72</sub> P <sub>60</sub> K <sub>132</sub>	172	151	162	162	153	158

Примечание: N – дробное внесение.

В настоящее время в развитых странах основной целью применения удобрений является обеспечение стабильной урожайности на достаточно высоком уровне и устойчивости земледелия, предусматривающее поддержание и сохранение плодородия почв, используемых в сельскохозяйственном производстве. Интенсивное антропогенное воздействие может оказывать негативное влияние на ключевые биохимические процессы в почвах, в особенности на скорость и направленность биохимической трансформации органического вещества [3, 4, 5]. При возрастающем уровне антропогенной нагрузки может отмечаться ускорение всех этапов малого биологического круговорота веществ и энергии и повышение биологической активности почв, которое может сопровождаться ускоренной минерализацией органического вещества и приводить к развитию процессов деградации плодородия [3, 10]. В связи с этим очевидна целесообразность исследований по биологической или ферментативной диагностике, чтобы контролировать влияние интенсификации растениеводства на почвенное плодородие [4, 10].

Проведение ферментативной диагностики способствует определению приемов экологически оптимального воздействия на почву. В нашем случае ферментативная диагностика позволила установить экологически наиболее обоснованные системы удобрения, обеспечивающие высокую продуктивность сельскохозяйственных культур при сохранении сберегающего уровня ферментативной активности

почвы. Умеренный уровень активности гидролитических ферментов способствует сохранности органического вещества почвы.

Таким образом, проведена биохимическая диагностика по инвертазной, уреазной, полифенолоксидазной и пероксидазной активности почвы с целью экологической оценки разных систем удобрения сельскохозяйственных культур. В результате исследований получены новые количественные данные по их влиянию на ферментативную активность, интенсивность биохимических процессов минерализации и гумификации органических веществ в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Установлена экологически наиболее обоснованная система удобрения.

Предложенные биохимические показатели активности минерализации и гумификации органических веществ могут использоваться для обоснования приемов экологически оптимального воздействия на почву, биологического нормирования антропогенной нагрузки, оценки биологического статуса, качества и здоровья почвы.

## ВЫВОДЫ

С целью экологической оценки разных систем удобрения сельскохозяйственных культур проведена ферментативная диагностика дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы по параметрам, характеризующим интенсивность биохимических процессов аммонификации, минерализации углеводов и гумификации лигнинов растительных остатков, которые играют значимую роль в формировании и поддержании почвенного плодородия.

Сравнительный анализ данных ферментативной диагностики, продуктивности севооборота и агрохимических свойств показал, что на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве наиболее обоснованной является система удобрения, ориентированная на поддержание баланса фосфора и калия в почве с дробным внесением азотных удобрений  $N_{54}$  и  $N_{72}$  на фонах  $P_{60}K_{132}$ , которая обеспечивала наиболее высокую продуктивность зерно-травяного севооборота (126,2 и 124,5 ц к.ед./га) при сберегающем уровне ферментативной активности почвы (132–160 %) и минерализации органических веществ (143–162 %).

Более высокие показатели общего уровня ферментативной активности почвы были отмечены при поддерживающей системе удобрения ( $N_{18-54}P_{60}K_{132}$ ) – 142–168 %, при этом регистрировали повышенную инвертазную (2275–2933 мг глюкозы/кг) и уреазную (187,5–210,0 мг  $N-NH_4^+$ /кг) активность и, следовательно, усиление минерализации углерод- и азотсодержащих органических соединений почвы, которая составила 156–185 %. При системах удобрения, ориентированных на использование остаточных количеств P и K в почве ( $N_{18-54}$ ), а также при дефиците фосфора и калия ( $N_{18-54}P_{30}K_{66}$ ) общий уровень ферментативной активности (113–124 % и 125–146 % соответственно) и минерализации органических веществ (118–132 % и 134–153 % соответственно) был понижен, продуктивность севооборота составила 113,6–115,0 и 120,1–123,4 ц к.ед./га соответственно.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кудеяров, В.Н. Оценка современного вклада удобрений в агрогеохимический цикл азота, фосфора и калия / В.Н. Кудеяров, В.М. Семенов // Почвоведение. – 2004. – № 12. – С. 1440–1446.

2. Богдевич, И.М. Концепция повышения плодородия почв Республики Беларусь / И.М. Богдевич, Н.И. Смяян, В.В. Лапа // Ахова раслін. – 2002. – № 1. – С. 8–11.
3. Туев, Н.А. Экологические проблемы интенсивного земледелия / Н.А. Туев // Вестн. с.-х. науки. – 1988. – № 6. – С. 91–95.
4. Dick, R.P. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. / R.P. Dick // *Agr. Ecosys. Environ.* – 1992. – № 40. – P. 25–36.
5. Звягинцев, Д.Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.Л. Бабьева, Г.М. Зенова. – МГУ, 2005. – 445 с.
6. Лапа, В.В. Продуктивность зерно-травяного севооборота и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / В.В. Лапа, М.М. Ломонос // *Почвоведение и агрохимия.* – 2010. – № 1(44). – С. 73–79.
7. Лапа, В.В. Параметры изменения агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от севооборотов и систем удобрения / В.В. Лапа, Н.Н. Ивахненко // *Почвоведение и агрохимия.* – 2009. – № 2(43). – С. 7–22.
8. Ladd, J.N. Origin and range of enzymes in soil / J.N. Ladd // *Soil Enzymes* / Ed. R.G. Burns. – London, 1978. – P. 51–96.
9. Tabatabai, M.A. Enzymes / M.A. Tabatabai // *Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties* / Eds. R.W. Weaver [et al.]. – Soil Science Society of America, Madison, 1994. – P. 775–833.
10. Dick, R.P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality / R.P. Dick // *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* / Eds. J.W. Doran [et al.]. – Soil Science Society of America, Madison, 1994. – P. 107–124.
11. Щербакова, Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества / Т.А. Щербакова. – Минск: Наука и техника, 1983. – 221 с.
12. Boyd, S.A. Enzyme interactions with clays and clay-organic matter complexes / S.A. Boyd, M.M. Mortland // *Soil Biochemistry.* – New York: Marcel Dekker, 1990. – P. 1–28.
13. Щербакова, Т.А. К методике определения активности инвертазы и амилазы в почве / Т.А. Щербакова // *Сборник докладов по ферментам почвы.* – Минск, 1968. – С. 453–455.
14. Хазиев, Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. – М.: Наука, 1990. – 189 с.
15. Карагіна, Л.А. Вызначэнне актыўнасці поліфенолаксідазы і пераксідазы ў глебе / Л.А. Карагіна, Н.А. Міхайлоўская // *Весці АН БССР. Сер. с/г навук.* – 1986. – № 2. – С. 40–41.
16. IFOAM (International Federation of organic agricultural movements). Basic standards for organic production and processing. – Belgium: European communities, 1998.
17. Speir, T.W. Hydrolytic Enzyme Activities to Assess Soil Degradation and Recovery / T.W. Speir, D.J. Ross // *Enzymes in the environments: activity, ecology and applications* / Eds. R.G. Burns, R.P. Dick. – 2002. – P. 407–431.
18. Fractionation of humus-urease complexes / B. Ceccanti [et al.] // *Soil Biol. Biochem.* – 1978. – № 10. – P. 39–45.
19. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – С. 122–133.

20. Martin, J.P. Comparison of the use of phenolase and peroxidase for the synthesis of model humic acid type polymers / J.P. Martin, K.A. Haider // Soil Sci. Soc. Amer. J. – 1980. – Vol. 44, № 5. – P. 983–988.

21. Kirk, T.K. Enzymatic “combustion”: the microbial degradation of lignin / T.K. Kirk, R.L. Ferrell // Annu. Rev. Microbiol. – 1987. – V. 41. – P. 465–505.

22. Туев, Н.А. Микробиологические процессы гумусообразования / Н.А. Туев. – Москва: Агропромиздат. – 1989. – 237 с.

23. Ацци, Ж. Сельскохозяйственная экология / Ж. Ацци. – М., 1959. – 479 с.

## **EFFECT OF FERTILIZER SYSTEM ON ENZYMATIC ACTIVITY OF LUVISOL LOAMY SAND SOIL**

**V.V. Lapa, N.A. Mikhailouskaya, M.M. Lomonos,  
M.S. Lopukh, O.V. Vasilevskaya, T.V. Poghirnitskaya**

### **Summary**

Basing on the data of enzymatic tests, activity of soil organic substances mineralization (hydrolytic enzymes) as well as agrochemical properties and crop productivity we found that split application of  $N_{54}$  and  $N_{72}$  at backgrounds of  $P_{60}K_{132}$  were environmentally acceptable on Luvisol loamy sand soil.

*Поступила 1 ноября 2012 г.*

УДК 633.18:631.452

## **ДИНАМИКА АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ РИСА**

**О.А. Гуторова, А.Х. Шеуджен**

*Всероссийский научно-исследовательский институт риса,  
г. Краснодар, Российская Федерация*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Специфические условия возделывания риса обуславливают многие особенности пищевого и гумусового режима почв, вызванные тем, что после затопления исчезает свободный кислород и в них преобладают сильно выраженные восстановительные процессы. Это сказывается на условиях питания растений и приводит к большой подвижности гумуса. Практически полностью исчезают из корнеобитаемого слоя почвы такие важные источники минерального питания растений, как нитраты и сульфаты. Затопление рисового поля сопровождается понижением в почве окислительно-восстановительного потенциала, увеличением активности водородных ионов, накоплением закисных форм железа и восстановленных продуктов, повышением степени дисперсности почвы, мобилизацией минеральных элементов питания [1–4].

Преобладание в почве анаэробных процессов приводит к уменьшению количества гумуса в связи с возрастанием его подвижности, изменению качествен-

ного состава гумуса, образованию водорастворимых органических соединений и их миграции в составе оросительных вод [4–5]. Снижение содержания гумуса обусловлено многими причинами. В первую очередь, это связано с сокращением поступления в почву растительных остатков, поскольку значительная часть органического вещества в анаэробных условиях используется микроорганизмами как энергетический материал, а также с выносом водорастворимых органических соединений, образующихся в условиях восстановительного режима, вниз по профилю, с последующим закреплением их в нижних горизонтах почвы [6].

Целью представленной работы являлось изучение пищевого и гумусового режимов почвы при возделывании риса.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены на стационарном участке бессменного посева риса (с 1937 г.) в ЭСП «Красное» Красноармейского района Краснодарского края. Схема опыта следующая:

- I. Без удобрений (контроль);
- II.  $N_{180}P_{120}K_{60}$ ;
- III. Сидераты;
- IV. Сидераты +  $N_{150}P_{90}K_{60}$ .

В качестве зеленого удобрения использовали надземную растительную массу озимой пшеницы в фазу начала выхода в трубку, азотного – мочевины, фосфорного – суперфосфат двойной гранулированный, калийного – 40 % калийную соль.

Почвенные образцы отбирали по фазам вегетации риса, в которых определяли: рН – потенциометрическим методом, сумму восстановленных продуктов – по Старжис-Неунылову в модификации Бутова, обменный аммоний – феноловым методом в модификации Кудеярова, подвижный фосфор и калий – по Чирикову. Содержание водорастворимых органических веществ оценивали по перманганатной (по Кубелю-Тиману) и бихроматной (по Тюрину) окисляемости водных вытяжек при равном 1:5 соотношении почва:вода.

Объект исследования – рисовая аллювиальная луговая слабовыщелоченная слабогумусная мощная тяжелосуглинистая почва, сформированная на аллювиальных средних суглинках под лугово-степной растительностью. Стационарный участок бессменного посева риса характеризуется невысоким почвенным плодородием. Физико-химические показатели пахотного горизонта следующие: содержание гумуса – 2,88 %, физической глины и ила – 54,0 и 28,9 % соответственно от абсолютно сухой почвы, запасы гумуса – 95,6 т/га,  $pH_{H_2O}$  – 6,55 ед., сумма поглощенных оснований – 28,06 мг–экв/100 г [7].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что после затопления почвы наблюдалось развитие восстановительных процессов. Об этом свидетельствовало изменение реакции почвенного раствора в сторону увеличения на 0,7 ед. и суммы восстановленных продуктов на 70 %. Причем с увеличением глубины пахотного слоя восстановительные процессы снижались.

Сумма восстановленных продуктов не является величиной постоянной, и с продолжительностью периода вегетации их содержание в почве постепенно повыша-

лось. Максимальное накопление наблюдалось в фазу трубкования растений, при этом их содержание в слое 0–10 см составило 101–124 мг  $O_2/100$  г, а уже в слое 10–20 см не превышало 22–30 мг  $O_2/100$  г в зависимости от варианта.

Немаловажное значение для культуры риса имеет реакция почвенного раствора. Рис более чувствителен к отклонению рН в сторону щелочности, чем кислотности почвы, поскольку при затоплении активная кислотность снижается [1–2]. Как показали исследования, затопление рисового чека не привело к сильному подщелачиванию почвы. В течение всего вегетационного периода реакция почвенной среды сильно не изменялась. В зависимости от варианта опыта рН составило от 6,46–6,66 в фазу всходов до 6,30–6,36 ед. в фазу выметывание-цветение риса. После сброса воды с чека в связи с развитием окислительных процессов наблюдалось уменьшение суммы восстановленных продуктов в 2 раза, особенно в слое 0–10 см, и значений рН на 1,48 ед.

Пополнение почвы свежим органическим веществом привело к более интенсивному развитию восстановительных процессов. Заделка в почву зеленой массы озимой пшеницы и совместное ее сочетание с минеральным удобрением увеличивало содержание восстановленных продуктов в среднем на 16 % и несколько уменьшало значения рН по сравнению с другими вариантами, где органические удобрения не вносились.

Своеобразный окислительно-восстановительный режим рисового поля отражается на динамике содержания в почве элементов минерального питания растений. Исследования показали, что содержание доступных для растений риса питательных элементов было значительно больше в верхнем корнеобитаемом слое почвы 0–10 см, где наиболее интенсивно протекают восстановительные микробиологические процессы (рис. 1–3).

После затопления почвы аммонийный азот является основной формой азотного питания риса. Исследования показали, что в период вегетации наибольшее содержание обменного аммония наблюдалось в фазу всходов и постепенно снижалось до фазы трубкования (рис. 1). В цветение риса количество аммонийной формы азота увеличивалось в основном в слое 0–10 см, так как в этот период корневая система теряет свою окислительную способность [2].

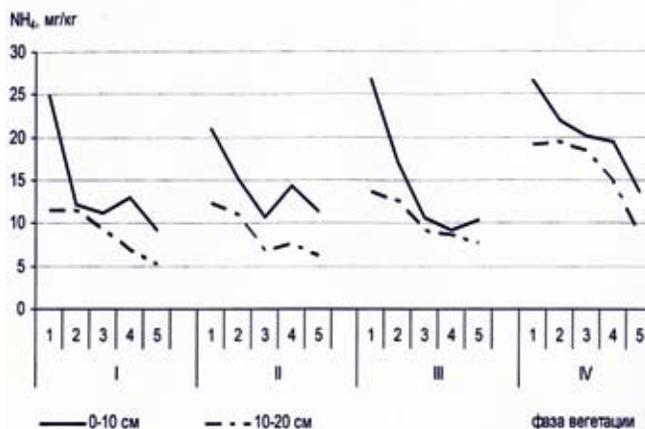


Рис. 1. Динамика содержания обменного аммония в почве: 1 – всходы, 2 – кущение, 3 – трубкование, 4 – выметывание-цветение, 5 – полная спелость; I, II, III, IV – варианты опыта.

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Динамика содержания подвижного фосфора имеет свои особенности, зависящие от специфических условий, создающихся в затопленной почве, от потребления его растениями (рис. 2). Результаты исследования показали, что на фоне общего увеличения фосфора отмечалось его уменьшение в фазу трубкавания, особенно в слое 0–10 см. Известно, что в период кущения риса происходит формирование корневой системы и поглощение фосфора растениями идет достаточно активно [2–3].

При сбросе воды с рисового поля почвенные процессы смещаются в сторону окисления, вследствие чего содержание в почве аммонийного азота и подвижного фосфора уменьшилось (рис. 1–2).

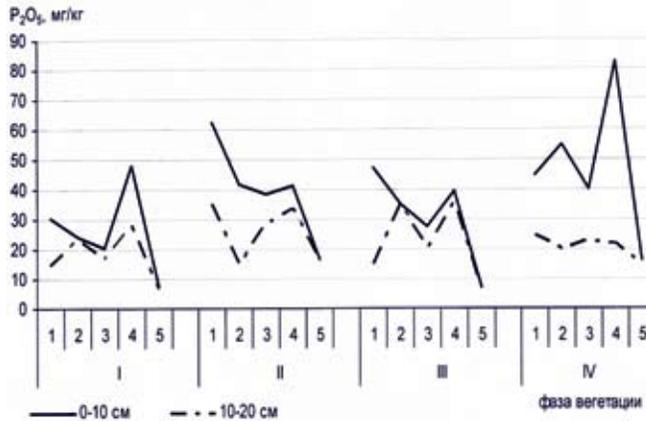


Рис. 2. Динамика содержания подвижного фосфора в почве

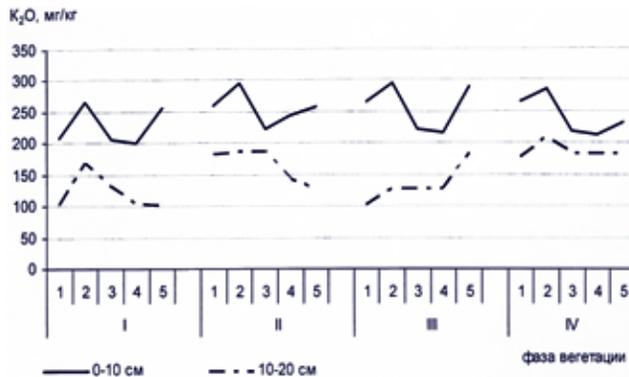


Рис. 3. Динамика содержания подвижного калия в почве

Динамика содержания подвижного калия в почве зависела как от внесения удобрений, так и от поглощения его рисом. Наибольшее его содержание отмечено в период кущения. К концу вегетации риса количество подвижного калия в почве увеличивалось, так как его потребление растениями почти полностью прекращается (рис. 3).

Наиболее благоприятный азотный режим почвы в течение всего вегетационного периода был отмечен на вариантах с заделкой зеленой массы озимой пшеницы и совместным ее использованием с N<sub>150</sub>P<sub>90</sub>K<sub>60</sub>. Содержание обменного аммония было выше на 13 и 36 % соответственно, чем на других вариантах опыта.

Фосфатный и калийный режимы почвы лучше складывались на вариантах с внесением минеральных удобрений, сидератов и совместного их применения по отношению к контролю. В среднем содержание подвижного фосфора в почве на этих вариантах было выше на 33, 18 и 35 %, а подвижного калия – на 17, 11 и 19 % соответственно.

Восстановительные процессы, создающиеся при затоплении рисового поля, оказывают большое влияние на интенсивность и направленность микробиологических процессов разложения органического материала и определяют образование водорастворимых органических веществ (ВОВ) – продуктов разложения растительных остатков и органических удобрений.

Исследования показали, что с изменением окислительно-восстановительных условий связана подвижность легко- и трудноокисляемых ВОВ в пахотном слое почвы (рис. 4–5). Наибольшее содержание легкоокисляемых ВОВ отмечено в фазы кущение и трубкование, а наименьшее – в выметывание-цветение риса. К полной спелости зерна их содержание повышалось за счет корневых выделений органических компонентов в почвенный раствор [8]. По динамике трудноокисляемых ВОВ отмечено увеличение их содержания в фазы трубкования и выметывания-цветения риса и уменьшение – в фазу всходов.

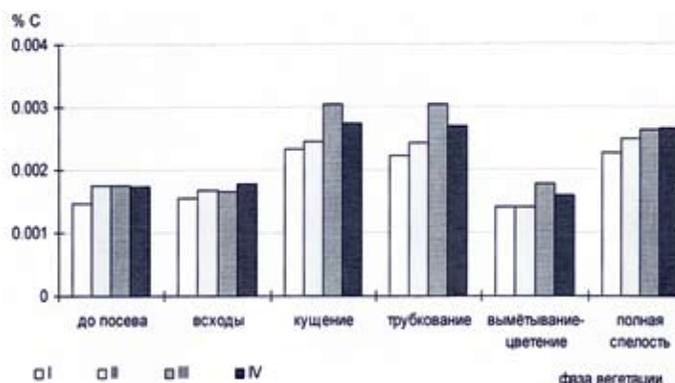


Рис. 4. Динамика содержания легкоокисляемых водорастворимых органических веществ в почве (0–20 см)

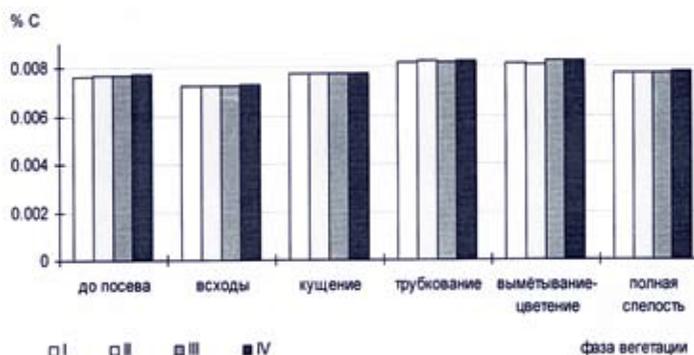


Рис. 5. Динамика содержания трудноокисляемых водорастворимых органических веществ в почве (0–20 см)

В ранее опубликованной работе было показано [9], что легкоокисляемые ВОВ, в отличие от трудноокисляемых, характеризуются наибольшей динамичностью, им принадлежит важная роль в формировании агрохимических свойств и режимов почвы. Результаты исследований показали, что содержание легкоокисляемых ВОВ в почве зависело от внесения удобрений (рис. 4).

На рисунке 4 показано, что внесение сидератов как в сочетании с минеральными удобрениями, так и без них способствовало увеличению содержания легкоокисляемых ВОВ в почве. В среднем за вегетацию риса их содержание в почве увеличилось на 15–19 % по сравнению с контролем. Внесение минеральных удобрений способствовало повышению этого показателя, однако сильных различий по сравнению с контролем не наблюдалось.

Проведенными исследованиями не было установлено влияние удобрений на количественные изменения трудноокисляемых ВОВ в почве (рис. 5). Они слабее вовлекаются в процессы минерализации, и поэтому их содержание в почве на 73 % больше, чем легкоокисляемых ВОВ.

Агрономическая роль содержания в почве легкоокисляемых ВОВ весьма очевидна, однако нельзя недооценивать роль трудноокисляемых ВОВ в почвенной системе. С ними связана устойчивость почвы к различным антропогенным факторам, а также буферность, потенциальные запасы элементов питания, емкость поглощения, водно-физические характеристики. Они в малой степени участвуют в питании растений, но создают для них благоприятные условия [5, 9].

### ВЫВОДЫ

1. Специфика возделывания риса, обусловленная созданием слоя воды на поверхности почвы, способствовала развитию восстановительных процессов, повышению подвижности элементов минерального питания и водорастворимых органических веществ.

2. В фазах кущения и трубкования риса отмечалось увеличение содержания легко- и трудноокисляемых ВОВ, что благоприятно влияло на доступность питательных элементов растениям в почве.

3. Заделка озимой пшеницы как источника органических веществ увеличивала восстановительные свойства почвы, содержание элементов питания и легкоокисляемых ВОВ. Внесение сидератов как совместно с минеральными удобрениями, так и без них способствовало повышению содержания в почве суммы восстановленных продуктов на 16 %, обменного аммония – на 13–36 %, подвижного фосфора – на 18–35 %, подвижного калия – на 11–19 % и легкоокисляемых ВОВ – на 15–19 %.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шеуджен, А.Х. Питание и удобрение зерновых культур. Рис / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – 24 с.

2. Шеуджен, А.Х. Агрохимия и физиология питания риса / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: Адыгея, 2005. – 1012 с.

3. Николаева, С.А. Динамика питательных элементов в черноземных почвах, используемых под культуру риса / С.А. Николаева, Г.М. Майнашева // Химия почв рисовых полей. – М.: Наука, 1976. – С. 75–89.

4. Кауричев, И.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв / И.С. Кауричев, Д.С. Орлов. – М.: Колос, 1982. – 247 с.

5. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах / В.И. Кирюшин [и др.]. – М.: МСХА, 1993. – 99 с.

6. Гуторова, О.А. Влияние возделывания риса на содержание органического вещества в почве / О.А. Гуторова, А.Х. Шеуджен // Проблемы агрохимии и экологии. – 2012. – № 1. – С. 22–24.

7. Гуторова, О.А. Подвижность водорастворимого органического вещества аллювиальной луговой почвы древней дельты р. Кубань: автореф. дис. ...канд. биол. наук / О.А. Гуторова. – Ростов-на-Дону, 2006. – 24 с.

8. Гуторова, О.А. Подвижность водорастворимого органического вещества почвы при возделывании риса / О.А. Гуторова, А.Х. Шеуджен, А.Г. Ладатко // Доклады Россельхозакадемии. – 2012. – №1. – С. 28–30.

9. Dynamics of dissolved organic carbon and methane emissions in a flooded rice soil / Lu Yahai [et al.] // Soil Sci. Soc. Amer. J. – 2000. – 64. – № 6. – P. 2011–2017.

## **DYNAMICS OF SOIL PROCESSES DURING RICE CULTIVATION**

**O.A. Gutorova, A.Kh. Sheudzhen**

### **Summary**

At stationary lot of rice self-perpetuating cultivation (since 1937) during plants vegetation stage changes of soil environment reactions, of sums of reduced materials, of mobility of fertilizers elements and water-soluble organic substances were observed. It was discovered that application of mineral and green fertilizers and their joint use conduced development of reducing process and influenced positively on nutrient and humus soil status.

*Поступила 2 июля 2012 г.*

УДК 633.2/.3:631.8:631.559:631.445.24

## **ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ НА НАКОПЛЕНИЕ КОРНЕВЫХ И ПОЖНИВНЫХ ОСТАТКОВ МНОГОЛЕТНИМИ ТРАВСМЕСЯМИ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ РЫХЛОСУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ**

**В.И. Сороко, Г.В. Пироговская**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Травосеяние является элементом экологического земледелия, так как способствует стабилизации гумусного состояния почв. Известно, что увеличение в структуре севооборотов доли многолетних трав позволяет повысить почвенное плодородие и продуктивность сельскохозяйственных культур [1, 2].

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

В Республике Беларусь в последние годы количество органических удобрений, внесенных на 1 га севооборотной площади, снизилось с 14,4 т/га (1986–1990 гг.) до 6,3–6,5 (2001–2006 гг.) и лишь к 2008–2010 гг. возросло до 8,1–9,1, в 2011 г. составило 10,3 т/га. Соотношение площадей под многолетними травами и пропашными культурами сдвинулось в еще более неблагоприятную сторону – от 0,80 (2010 г.) до 0,62 (2011 г.). Оптимальным соотношением для воспроизводства гумуса является соотношение 1,5 и более. По данным П.И. Никончика, в опытах на дерново-подзолистой супесчаной почве южной зоны Беларуси клевер и кукуруза имели одинаковую продуктивность. В среднем за 21 год клевер обеспечил 470,0 ц/га зеленой массы и 94,0 ц/га к.ед., кукуруза – 446,0 и 97,1 ц/га к.ед. соответственно. По сбору переваримого протеина преимущество было за клевером (12,2 и 5,3 ц/га). В ближайшей перспективе, по ряду причин, значительного увеличения объемов внесения органических удобрений не прогнозируется и их дефицит будет особенно ощутим на почвах легкого гранулометрического состава [1, 2].

Увеличение посевов многолетних трав на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных и песчаных почвах сдерживается их низкой продуктивностью в производстве [2]. Исследованиями Гомельской ОСХОС установлено, что травосмеси с участием клевера лугового сорта Долголетний на супесчаных почвах с pH 5,6, с содержанием подвижных форм  $P_2O_5$  и  $K_2O$  280–220 мг/кг почвы, гумуса – 2,2 % обеспечили урожайность сухого вещества 121–139 ц/га (среднее за три года), а на почвах с pH 6,5, с содержанием подвижных форм  $P_2O_5$  и  $K_2O$  320–330 мг/кг, гумуса – 2,4 % урожайность сухого вещества злаковых травостоев составила 106–130 ц/га, бобово-злаковых – 223 ц/га [3, 4]. Увеличение доли бобовых в бобово-злаковых травосмесях многолетних трав улучшает плодородие почвы и повышает качество кормов [1]. При введении бобового компонента также снижается потребность в азотных удобрениях, что уменьшает энергетические затраты на возделывание многолетних трав.

Известно, что один гектар посева многолетних бобовых и бобово-злаковых травосмесей за два года пользования способен накапливать в почве такое количество органического вещества, которое эквивалентно 15–25 т подстильного навоза [1–2].

Многолетние бобовые травы по накоплению корневых и пожнивных остатков превосходят однолетние бобовые культуры. Известно, что в зависимости от урожайности пелюшка может накапливать на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве до 13–18 ц/га сухой массы, бобы кормовые – 18–34, люпин желтый кормовой – 30–57 ц/га [5], клевер луговой однолетний – 22, люцерна – 76 ц/га [1]. Есть мнение, что за счет растительных остатков на связных почвах восстанавливается около 50 %, на легких – около 40 % потерь гумуса, остальное количество должно быть восполнено за счет органических удобрений [6].

С остатками трав в почву поступает большое количество элементов питания, особенно азота. Общее содержание азота в растительных остатках различное: например, у многолетних трав 1 года пользования оно находится в пределах от 2,44 до 2,48 % [7], у клевера – 2,0–2,5 %, при этом количество азота, высвобождающееся при минерализации остатков, составляло 80–100 кг/га, у люцерны – 2,3–2,8 % и 100–150 кг/га, у зерновых – 0,4–0,8 % и 20–40 кг/га. Отношение углерода к азоту в остатках клевера и люцерны более благоприятное по сравнению с зерновыми культурами [1]. Есть сведения, что злаковые и бобово-злаковые

долгосрочные луговые травостои (семь лет пользования) в равной степени повышали содержание азота в рыхлосупесчаных почвах, но количество гумуса возросло в большей степени под бобово-злаковыми травостоями (от 1,76–1,86 до 2,18–2,44 %) [8].

Большое значение имеет срок заправки трав в севообороте. Считается, что уровень урожая многолетних трав, начиная с третьего года пользования, снижается из-за вырождения травостоя. Вследствие этого в настоящее время рекомендуется возделывать многолетние травы в течение двух лет пользования. По данным П.Ф. Тиво и др. [7], растительные остатки первого года пользования (клевер + тимофеевка) накапливали до 46,7 ц/га сухого вещества, а корневые остатки долголетних сенокосов – 73,0 ц/га.

Существуют различные мнения по влиянию удобрений на накопление корневых остатков при возделывании сельскохозяйственных культур. Одни исследователи считают, что удобрения не влияют на накопление корневых остатков [9], по мнению других, оно зависит от внесения удобрений и уровня урожайности культур [5]. Например, последовательное увеличение доз азота на фоне РК под озимую пшеницу до оптимального обеспечивало максимальное накопление массы корневых остатков (3,1 т/га), что было в 1,97–2,4 раза выше, чем на фоне низких доз азота и РК [10]. Величина соотношения корневых и пожнивных остатков к урожаю зависит от вида сельскохозяйственных культур. С увеличением веса продуктивной части кормовых бобов и пелюшки количество остатков на единицу урожая несколько снижалось, а у люпина – возрастало [5].

В настоящее время данных по влиянию различных уровней минерального питания на накопление корневых и пожнивных остатков злаковыми и бобово-злаковыми травосмесями на почвах легкого гранулометрического состава недостаточно, что и определило задачи наших исследований.

Цель исследований – изучить влияние систем удобрения на накопление корневых и пожнивных остатков при возделывании злаковых и бобово-злаковых травосмесей второго и третьего года пользования на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве.

## МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение влияния систем удобрения на накопление пожнивных и корневых остатков многолетних злаковых и бобово-злаковых травосмесей второго и третьего года пользования проводилось на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,35 м рыхлым песком почве в КСПУП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района Минской области.

Схема опыта на злаковой травосмеси включала варианты: 1. Контроль без удобрений; 2.  $N_{7,25}P_{25}K_{70}$  под 1-й укос +  $K_{70}$  под 2-й укос (фон 1); 3.  $N_{13,50}P_{50}K_{70+70}$  – фон 2; 4. Фон 1 +  $N_{45}$  под 1-й укос +  $N_{45}$  под 2-й укос; 5. Фон 1 +  $N_{120(60+60)}$ ; 6. Фон 2 +  $N_{90(45+45)}$ ; 7. Фон 1 + 30 т/га органических удобрений (ОУ) +  $N_{90(45+45)}$ ; 8.  $N_{45}P_{25}K_{70}$  (под 1-й укос) комплексное с микроэлементами +  $N_{45}K_{70}$  (под 2-й укос); 9.  $N_{60}P_{50}K_{90}$  (под 1-й укос) комплексное с микроэлементами +  $N_{60}K_{50}$  (под 2-й укос).

Соответственно, на бобово-злаковой травосмеси: 1. Контроль без удобрений; 2.  $N_{8,30}P_{30}K_{80+80}$  – фон 1; 3.  $N_{16,60}P_{60}K_{80+80}$  – фон 2; 4. Фон 1 +  $N_{40(20+20)}$ ; 5. Фон 1 +  $N_{60(30+30)}$ ;

6. Фон 2 +  $N_{40(20+20)}$ ; 7. Фон 1 + 30 т/га органических удобрений (ОУ) +  $N_{40(20+20)}$ ;  
8.  $N_{20}P_{30}K_{80}$  (под 1-й укос) комплексное с микроэлементами +  $N_{20}K_{80}$  (под 2-й укос);  
9.  $N_{30}P_{60}K_{100}$  (под 1-й укос) комплексное с микроэлементами +  $N_{30}K_{60}$  (под 2-й укос).

Агрохимические показатели пахотного горизонта перед закладкой опыта были следующие: рН в КСI – 5,19, содержание подвижных форм  $P_2O_5$  – 195 и  $K_2O$  – 266 мг/кг почвы, гумуса – 2,51 %.

Исследования проводили в звене кормового севооборота с чередованием культур: многолетние травы первого года жизни (2004 г.) – первого года пользования (2005 г.) – второго года пользования (2006 г.) – третьего года пользования (2007 г.).

Состав травосмесей был следующий:

▶ бобово-злаковая травосмесь: тимофеевка луговая – 4,7 кг/га, овсяница луговая – 7 кг/га, люцерна рогатая – 8 кг/га, клевер луговой – 3 кг (22,7 кг/га, или 16 млн. семян);

▶ злаковая травосмесь: тимофеевка луговая – 8 кг/га, овсяница луговая – 12 кг/га (20 кг/га, или 17 млн. семян).

Площадь делянок – 32 (8x4) м<sup>2</sup> (кормовой севооборот). Повторность вариантов – 4-кратная.

В качестве минеральных удобрений в опытах применяли: азотные – карбамид (под первый укос), сульфат аммония (второй укос), фосфорные – аммонизированный суперфосфат, калийные – хлористый калий; в качестве органических – торфонавозные компосты.

В почвенных образцах определяли: рН в КСI – потенциметрическим методом (ГОСТ 26483–85); подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207–91); общий гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213–91). В растительных образцах азот, фосфор и калий определяли из одной навески после мокрого озоления серной кислотой, азот – методом Къельдаля (ГОСТ 13496.4–93), фосфор – на фотоэлектрокалориметре (ГОСТ 26657–85), калий – на пламенном фотометре (ГОСТ 30504–97), кальций и магний – на атомно-адсорбционном спектрофотометре (ГОСТ 26570–95, ГОСТ 305–97).

Температура воздуха и осадки в годы исследований приведены по данным наблюдений в КСПУП «Экспериментальная база им. Суворова». Гидротермический коэффициент (ГТК) по месяцам и за вегетационный период рассчитывался по Г.Т. Селянинову.

Определение массы корневых и пожнивных остатков проводили по методу М.З. Станкова [9], после уборки трав второго и третьего года пользования.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что злаковые и бобово-злаковые травосмеси второго года пользования накапливали примерно равное количество сухого вещества корневых и пожнивных остатков, величина которого в большей степени зависела от системы удобрения и доз азотных и фосфорных удобрений. Например, злаковые травосмеси на контроле и фоне РК накапливали 33,6–46,3 ц/га сухого вещества корневых и пожнивных остатков, бобово-злаковые – 39,2–49,7 ц/га, что на 1,6–5,6 ц/га больше, чем злаковые. При внесении азотных удобрений ( $N_{90-120}$  и  $N_{40-60}$ ), наоборот, наблюдалось увеличение, в большей степени, количества

растительных остатков злаковых травостоев – до 52,7–60,1 ц/га, что на 4,4–8,4 ц/га превышало их накопление бобово–злаковыми травосмесями (48,3–51,7 ц/га) (вар. 4–5). В вариантах с внесением повышенной дозы фосфора ( $P_{50-60}$ ), а также на фоне последствия органических удобрений (вар. 6–7) накопление растительных остатков было примерно одинаковым, с небольшим преимуществом (0,5–1,1 ц/га) бобово-злаковых травосмесей (табл.1): на злаковой травосмеси – 52,4–64,6, на бобово-злаковой – 53,5–65,1 ц/га.

Учет массы корневых остатков третьего года пользования показал, что на контрольном варианте произошло их некоторое снижение по сравнению со вторым годом пользования: на злаковых от 33,6 до 30,0 ц/га, на бобово-злаковых – от 39,2 до 36,1 ц/га, В удобренных вариантах (в среднем по вар. 2–7) наблюдалось увеличение количества остатков на бобово-злаковых травосмесях – от 52,7 до 61,3 ц/га и осталось без изменения на злаковых – 53,4 и 53,2 ц/га (табл. 2).

Бобово-злаковые травосмеси третьего года пользования, аналогично второму году пользования, на контроле и фоне РК аккумулировали больше остатков в почве по сравнению со злаковыми (на 6,1–13,7 ц/га). Внесение азотных удобрений привело к дальнейшему накоплению остатков как злаковых, так и бобово-злаковых травосмесей. В варианте с последствием органических удобрений на фоне NPK масса послеуборочных остатков стабилизировалась на уровне второго года пользования на бобово-злаковых травосмесях – 65,3, с незначительным увеличением на злаковых – до 68,5 ц/га (табл. 1, 2).

Масса корневых и пожнивных остатков злаковых травосмесей третьего года пользования в удобренных вариантах составила 41,6–68,5 ц/га (сухое вещество), или 99 % от массы корневых остатков второго года пользования. Масса корневых и пожнивных остатков бобово-злаковых травосмесей – 53,1–70,4 ц/га, или 117 % к уровню второго года пользования.

Таблица 1

**Влияние минеральных и органических удобрений на урожайность и накопление корневых и пожнивных остатков (сухое вещество) травосмесями второго года пользования, ц/га**

Вариант	Виды травосмесей					
	злаковая			бобово-злаковая		
	урожайность, ц/га (сухое вещество)	масса растительных остатков, ц/га	отношение остатков к урожаю	урожайность, ц/га (сухое вещество)	масса растительных остатков, ц/га	отношение остатков к урожаю
1. Контроль без удобрений;	41,5	33,6	0,81	51,6	39,2	0,76
2. $N_7P_{25}K_{70}$ под 1 укос + $K_{70}$ под 2 укос (фон 1)*	47,0	44,2	0,94	59,9	49,7	0,83
3. $N_{13}P_{50}K_{70+70}$ – фон 2*	58,6	46,3	0,79	62,2	47,9	0,77
4. Фон 1 + $N_{45}$ под 1 укос + $N_{45}$ под 2 укос*	86,4	52,7	0,61	66,2	48,3	0,73
5. Фон 1 + $N_{120(60+60)}$ *	92,5	60,1	0,65	71,8	51,7	0,72
6. Фон 2 + $N_{90(45+45)}$ *	90,3	52,4	0,58	76,4	53,5	0,70

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Окончание табл. 1

Вариант	Виды травосмесей					
	злаковая			бобово-злаковая		
	урожай- ность, ц/га (сухое вещество)	масса рас- тительных остатков, ц/га	отно- шение остатков к урожаю	урожай- ность, ц/га (сухое вещество)	масса рас- тительных остатков, ц/га	отно- шение остатков к урожаю
7. Фон 1 + 30 т/ га органических удобрений (ОУ) + N <sub>90(45+45)*</sub>	97,9	64,6	0,66	84,5	65,1	0,77
Среднее по NPK вариантам	78,8	53,4	0,7	70,2	52,7	0,8
НСР <sub>05</sub>	3,6	3,1	–	3,56	3,8	–

Примечание: \* – дозы удобрений под многолетние злаковые травосмеси; дозы под бобово-злаковые травосмеси следующие: 1. контроль без удобрений; 2. N<sub>8</sub>P<sub>30</sub>K<sub>80+80</sub> – фон 1; 3. N<sub>16</sub>P<sub>60</sub>K<sub>80+80</sub> – фон 2; 4. Фон 1 + N<sub>40(20+20)</sub>; 5. Фон 1 + N<sub>60(30+30)</sub>; 6. Фон 2 + N<sub>40(20+20)</sub>; 7. Фон 1 + 30 т/га органических удобрений (ОУ)+N<sub>40(20+20)\*</sub>

Изучение корреляционной связи урожая надземной массы (по сухому веществу) многолетних трав с накоплением ими корневых и пожнивных остатков показало, что коэффициент корреляции у злаковых трав второго года пользования составил  $r = 0,95$ , третьего года пользования –  $r = 0,88$ , у бобово-злаковых травосмесей – 0,88 и 0,85 соответственно. Это связано, очевидно, с тем, что злаковые травы более отзывчивы на внесение азотных удобрений.

Таблица 2

### Влияние минеральных и органических удобрений на урожайность и накопление корневых и пожнивных остатков (сухое вещество) травосмесями третьего года пользования, ц/га

Вариант	Виды травосмесей					
	злаковая			бобово-злаковая		
	травосмеси второго года пользования					
	урожай- ность, ц/га (сухое вещество)	масса рас- тительных остатков, ц/га	отно- шение остатков к урожаю	урожай- ность, ц/га (сухое вещество)	масса рас- тительных остатков, ц/га	отно- шение остатков к урожаю
1. Контроль без удобрений;	36,2	30,0	0,83	46,6	36,1	0,77
2. N <sub>7</sub> P <sub>25</sub> K <sub>70</sub> под 1 укос + K <sub>70</sub> под 2 укос (фон 1)*	41,2	43,0	1,04	55,6	53,1	0,96
3. N <sub>13</sub> P <sub>50</sub> K <sub>70+70</sub> – фон 2*	45,0	41,6	0,92	53,8	55,3	1,03
4. Фон 1 + N <sub>45</sub> под 1 укос + N <sub>45</sub> под 2 укос*	76,2	52,2	0,69	58,6	58,3	0,99
5. Фон 1 + N <sub>120(60+60)*</sub>	84,2	51,2	0,61	63,6	67,4	1,06
6. Фон 2 + N <sub>90(45+45)*</sub>	81,8	63,0	0,77	61,8	68,6	1,11

Вариант	Виды травосмесей					
	злаковая			бобово-злаковая		
	травосмеси второго года пользования					
	урожай- ность, ц/га (сухое вещество)	масса рас- тительных остатков, ц/га	отно- шение остатков к урожаю	урожай- ность, ц/га (сухое вещество)	масса рас- тительных остатков, ц/га	отно- шение остатков к урожаю
7. Фон 1 + 30 т/ га органических удоб-рений (ОУ)+ N <sub>90(45+45)*</sub>	79,6	68,5	0,86	61,4	65,3	1,06
8. N <sub>45</sub> P <sub>25</sub> K <sub>70</sub> (под 1 укос) комплексное с микроэлемента- ми + N <sub>45</sub> K <sub>70</sub> (под 2 укос)*	75,4	62,2	0,82	67,0	69,2	1,03
9. N <sub>60</sub> P <sub>50</sub> K <sub>90</sub> (под 1 укос) комплексное с микроэлемента- ми + N <sub>60</sub> K <sub>50</sub> (под 2 укос)*	91,4	67,5	0,74	78,8	70,4	0,89
Среднее по NPK вариантам	71,9	56,2	0,8	62,6	63,5	1,0
НСР <sub>05</sub>	3,5	3,8	–	3,28	4,4	–

Примечание: \* – дозы удобрений под многолетние злаковые травосмеси; дозы под бобово-злаковые травосмеси следующие: 1. контроль без удобрений; 2. N<sub>8</sub>P<sub>30</sub>K<sub>80+80</sub> – фон 1; 3. N<sub>16</sub>P<sub>60</sub>K<sub>80+80</sub> – фон 2; 4. Фон 1 + N<sub>40(20+20)</sub>; 5. Фон 1 + N<sub>60(30+30)</sub>; 6. Фон 2 + N<sub>40(20+20)</sub>; 7. Фон 1 + 30 т/га органических удобрений (ОУ) + N<sub>40(20+20)</sub>; 8. N<sub>20</sub>P<sub>30</sub>K<sub>80</sub> (под 1-й укос) комплексное с микроэлементами + N<sub>20</sub>K<sub>80</sub> (под 2-й укос); 9. N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub> (под 1-й укос) комплексное с микроэлементами + N<sub>30</sub>K<sub>80</sub> (под 2-й укос).

Так как прямой учет корневых и пожнивных остатков трав связан со значительными материальными затратами и достаточно трудоемок, то представляет собой большой научный и практический интерес прогнозирование их накопления по величине урожая отчуждаемой массы, т.е. сухого вещества или зеленой массы злаковых и бобово-злаковых травосмесей. Группировка урожайных данных (табл. 1, 2) показала, что при урожае сухого вещества злаковых трав на уровне 42–36 ц/га соотношение сухой отчуждаемой массы к остаткам находится в пределах от 0,81 до 0,83. С увеличением урожая до 41–59 ц/га оно увеличивается до 0,87–0,98. При более высоком уровне урожая 75–98 ц/га соотношение снижается до 0,63–0,75 (табл. 3).

Такая же закономерность присуща и бобово-злаковым травосмесям. При урожае сухой массы на уровне 47–52 ц/га отношение к остаткам трав составило 0,76–0,77, при 54–62 ц/га – 0,8–1,0, при 58–85 ц/га – 0,73–1,03.

Обобщение результатов исследований свидетельствует, что накопление корневых и пожнивных остатков как злаковыми, так и бобово-злаковыми травосмесями имеет определенную закономерность. Величина отношения остатков к отчуждаемой продуктивной части растений с увеличением урожая повышается до определенного уровня, затем несколько снижается. Таким образом, определенные в опытах соотношения между массой растительных остатков изучаемых

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

травосмесей и урожаем могут быть использованы для примерного подсчета накопления остатков (табл. 3).

Таблица 3

### Взаимосвязь уровня урожая трав и величины соотношения корневых и пожнивных остатков злаковых и бобово-злаковых травосмесей второго и третьего пользования (сухое вещество)

Второй год пользования (2006)		Третий год пользования (2007)	
урожай трав (сухое вещество), ц/га	отношение растительных остатков к урожаю (СВ)	урожай трав (сухое вещество), ц/га	отношение растительных остатков к урожаю (СВ)
злаковая травосмесь			
42 (контроль)	0,81	36	0,83
47–59 (Р К)	$\frac{0,94-0,79}{0,87}$ *	41–45	$\frac{0,92-1,04}{0,98}$
86–98 (NPK)	$\frac{0,58-0,66}{0,63}$	75–92	$\frac{0,61-0,86}{0,75}$
Бобово-злаковая травосмесь			
52 (контроль)	0,76	47	0,77
60–62 (Р К)	$\frac{0,77-0,83}{0,80}$	54–56	$\frac{0,96-1,03}{1,0}$
66–85 (NPK)	$\frac{0,70-0,77}{0,73}$	58–70	$\frac{0,89-1,11}{1,03}$

Примечание: \* – в числителе указан диапазон соотношений корневых и пожнивных остатков к отчуждаемому урожаю надземной массы, в знаменателе – их среднее значение.

Расчет примерного количества органического вещества, поступившего с корневыми и пожнивными остатками. Урожайность бобово-злаковых травосмесей второго года пользования в сумме за два укоса составила 60 ц/га сухого вещества. Количество поступивших пожнивных и корневых остатков при этом равен  $60 \cdot 0,80 = 48,0$  ц/га сухого вещества (табл. 3). Среднее количество азота в остатках бобово-злаковых травосмесей, по известным данным, составляет 2,46 % (от 2,44 до 2,48) [7]. Поступление азота в почву с остатками –  $48 \cdot 2,46 = 118,1$  кг/га, что соответствует 23,6 тоннам навоза [11].

## ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной, хорошо обеспеченной подвижными формами фосфора и калия почве накопление корневых и пожнивных остатков злаковыми и бобово-злаковыми травосмесями в большей степени зависит от уровня урожая трав и доз удобрений, в меньшей – от видового состава травосмесей. Бобово-злаковые травосмеси накапливали корневых и пожнивных остатков на контроле – 36,1–39,2, на фоне РК – 47,9–55,3, на фоне NPK – 48,3–70,4 ц/га сухого вещества, злаковые – 30,0–33,6, 43,0–46,3 и 52,2–67,5 ц/га соответственно.

2. Корреляционная зависимость урожая надземной массы (сухое вещество) с накоплением ей корневых и пожнивных остатков у многолетних злаковых травосмесей более сильная – во второй год пользования  $r = 0,95$ , в третий –  $r = 0,88$ , чем у бобово-злаковых –  $r = 0,88$  и  $0,85$  соответственно.

3. В зависимости от уровня урожая трав и вида травосмеси отношение отчуждаемой массы сухого вещества и корневых и пожнивных остатков варьирует

в интервале от 0,63 до 1,03. Эти соотношения могут быть использованы для примерного подсчета корневых и пожнивных остатков на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах при возделывании травосмесей аналогичного ботанического состава.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Павловец, Н.А. Максимальное развитие травосеяния – фактор экологически чистого земледелия и обеспечения животноводства кормами / Н.А. Павловец. – Минск: Белнаучцентрформмаркетинг АПК, 1998. – 32 с.

2. Никончик, П.И. Сравнительная продуктивность многолетних трав и кукурузы по результатам исследований в опытах и фактической урожайности в производстве / П.И. Никончик // Земляробства і ахова раслін. – 2008. – № 6(61). – С.12–15.

3. Лесько, В.А. Продуктивность трав сенокосного использования и их норм высева с участием клевера лугового сорта Долголетний при разных сроках внесения минеральных удобрений на легких супесчаных почвах / В.А. Лесько. – Гомель: Полеспечать, 2001. – 24 с.

4. Лесько, В.А. Продуктивность культурных сенокосов и пастбищ со злаковым и бобово-злаковым травостоем / В.А. Лесько // Мелиорация сельскохозяйственных земель в XXI веке: проблемы и перспективы : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–22 марта 2007 / Ин-т мелиорации. – Минск, 2007. – С. 217.

5. Шемпель, В.И. Влияние удобрений на накопление зернобобовыми культурами корневых и пожнивных остатков / В.И. Шемпель, Н.П. Кукреш // Земледелие и растениеводство в БССР: сб. науч. трудов / БелНИИЗиК; науч. ред. В.И. Шемпель. – Минск: Ураджай. – 1967. – Т. XI. – С. 68–80.

6. Лапа, В.В. Состояние и перспективы поддержания запасов органического вещества в пахотных почвах Республики Беларусь / В.В. Лапа, Т.М. Серая // Почва – удобрение – плодородие – урожай: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 16–18 февр. 2009 г. / НАН Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию, Ин-т почвоведения и агрохимии, БОП; редкол.: В.В. Лапа [и др.]. – Минск, 2009. – С. 172–175.

7. Тиво, П.Ф. Агрохимическая оценка растительных остатков сельскохозяйственных культур в условиях Белорусского Поозерья / П.Ф. Тиво, А.С. Васько, А.П. Попух // Мелиорация сельскохозяйственных земель в XXI веке: проблемы и перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–22 марта 2007 г. / Ин-т мелиорации. – Минск, 2007. – С. 321–324.

8. Вайчюлите, Р. Влияние луговых сообществ на агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы // Почвы и их плодородие на рубеже столетий: материалы II съезда белорусского общества почвоведов, Минск, 25–29 июня 2001 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2001. – Кн. 2: Актуальные проблемы плодородия почв в современных условиях. – С. 68–70.

9. Станков, Н.З. Корневая система полевых культур / Н.З. Станков. – М.: Колос. – 1964. – 280 с.

10. Воробьев, В.Б. Урожайность и масса растительных остатков озимой пшеницы в связи с различным уровнем азотного питания / В.Б. Воробьев, С.И. Ласточкина // Земляробства і ахова раслін. – № 5(66). – 2009. – С. 10–15.

11. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: Белорус. наука, 2007. – С. 75.

## **IMPACT OF FERTILIZERS SYSTEMS ON THE ROOT AND STUBBLE REMAINS ACCUMULATION OF THE PERENNIAL GRASSES ON PODZOLUISOIL LOAMY SAND SOIL**

**V.I. Soroko, G.V. Pirogovskaya**

### **Summary**

The purpose of the present article is to explore the impact of fertilizers systems on organic matter accumulation by the roots and stubble residues of different species of perennial grasses. Based on the field experiment on Podzoluvisoil loamy sand soil there is an observed tendency of the root residue accumulation increase by the impact of fertilizers. Example of calculation of mass of roots and stubble residues by dry matter yield and converting theirs into manure has been presented.

*Поступила 6 декабря 2012 г.*

УДК 635.713:[543.9+631.559]

## **СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ И ИХ ВЫНОС РАЗЛИЧНЫМИ СОРТООБРАЗЦАМИ БАЗИЛИКА**

**Т.В. Сачивко**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

В состав растений входят более 70 химических элементов, 20 из которых относятся к необходимым: углерод, кислород, водород, азот, фосфор, калий, кальций, магний, натрий, сера, железо, хлор, марганец, бор, цинк, медь, молибден, кобальт, ванадий, йод. Также могут быть обнаружены и другие химические элементы, встречающиеся в почве. Важнейшими макроэлементами, используемыми для питания сельскохозяйственных культур, являются азот, фосфор, калий, кальций и магний. Определенное значение в питании растений имеет сера, натрий, а также микроэлементы (бор, медь, цинк, молибден, кобальт и др.) [1–2].

Содержание основных элементов питания в растениеводческой продукции является важным показателем качества сельскохозяйственных культур. Оно непосредственно влияет на основные качественные характеристики, например, на содержание белка и клейковины в зерне зерновых и зернобобовых культур, крахмала в картофеле, нитратов в пищевой и кормовой продукции, фактической сахаристости сахарной свеклы и т.д. От содержания и сбалансированности элементов питания зависит и качество растительных кормов.

Содержание элементов питания также служит для определения общего и удельного (нормативного) выноса элементов, показатели которых применяются для расчета баланса элементов питания, а также доз удобрений в производстве [1, 3–5]. Показатель выноса элементов питания, рассчитанный на единицу основной продукции (удельный, или нормативный, вынос), является величиной менее варьированной, чем хозяйственный (общий) вынос, что обусловлено некоторым саморегулированием растений путем изменения как химического состава, так и соотношения между основной и побочной продукцией. Показатель выноса элементов питания с единицей основной продукции четко характеризует особенности культур. Вместе с тем анализ многочисленных данных показывает, что и эти показатели подвергаются значительному варьированию под влиянием условий выращивания: влагообеспеченности, гранулометрического состава почвы, ее агрохимических показателей, запасов подвижных элементов питания, технологии возделывания, применения минеральных и органических удобрений, особенностей сорта и др.

Базилик занимает значимое место среди пряно-ароматических культур, к которым также относят укроп, эстрагон, сельдерей, мяту. Возделывание базилика имеет важное значение для Республики Беларусь: обеспечение высококачественным сырьем пищевой промышленности (мясоперерабатывающей, ликероводочной, консервной) в качестве специй и т.д.; применение в официальной и народной медицине, фармацевтике; обеспечение импортозамещения, в частности, снижение импорта сушеного материала базилика; применение в парфюмерии, в декоративном садоводстве и некоторых других отраслях [6, 7].

Качество базилика во многом зависит от содержания в товарной продукции таких важнейших макроэлементов, как азот, фосфор, калий, кальций и магний. Удельный вынос элементов питания базиликом также является важным показателем, значения которого могут быть использованы для расчета доз удобрений под данную культуру.

Цель исследований – изучить содержание основных элементов питания в товарной продукции базилика, а также общий и удельный вынос элементов питания базиликом при его возделывании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве.

## МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по изучению содержания основных элементов питания и их выноса базиликом проводили в полевом опыте на опытном поле кафедры плодородия УО «БГСХА» (г. Горки, Могилевская область, Республика Беларусь) на протяжении 2010–2012 гг. на высоко окультуренной дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, подстилаемой лессовидным суглинком.

Агрохимическая характеристика пахотного горизонта исследуемой почвы имела следующие показатели:  $pH_{KCl}$  – 6,5–6,8, содержание  $P_2O_5$  (0,2 М HCl) – 390–410 мг/кг,  $K_2O$  (0,2 М HCl) – 370–390 мг/кг почвы, гумуса (0,4 М  $K_2Cr_2O_7$ ) – 2,9–3,1 % (индекс агрохимической окультуренности 1,0).

Почва пахотного горизонта характеризовалась нейтральной реакцией почвенной среды, повышенным и высоким содержанием гумуса, высоким содержанием подвижных соединений фосфора и калия и по своим агрохимическим показателям была весьма благоприятна для возделывания большинства овощных культур, в т.ч. и базилика [8].

Объектами исследования служили 56 сортообразцов базилика различного эколого–географического происхождения.

Сортообразцы были получены из мировой коллекции ГНЦ Всероссийского научно–исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова. В коллекцию входят 4 вида базилика: базилик обыкновенный (*Ocimum basilicum* L.), базилик тонкоцветный (*Ocimum tenuiflorum* L.), базилик килиманджарский (*Ocimum kilimandscharicum* Willd.), базилик американский (*Ocimum canum* Sims.).

Агротехника возделывания базилика – общепринятая для Республики Беларусь [6, 8, 9, 10]. Перед посадкой рассады под культивацию вносили полное минеральное удобрение  $N_{45}P_{60}K_{90}$  (карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий).

Учет урожая зеленой массы базилика проводили в фазу технологической спелости. Содержание основных элементов питания в зеленой массе базилика, а также показатели их общего и удельного выноса проводили по общепринятым методикам [1, 11].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам исследований, сортовые и видовые особенности базилика оказали определенное влияние как на урожайность, так и содержание основных элементов питания в зеленой массе в фазу технологической спелости (табл. 1).

Максимальная урожайность зеленой массы 431,0 ц/га отмечена у сортообразца базилика обыкновенного *Ocimum basilicum* L. № 27 (Карамельный), минимальная 51,3 ц/га – у сортообразца базилика обыкновенного К–6. У базилика тонкоцветного *Ocimum tenuiflorum* L. урожайность зеленой массы в фазу технологической спелости в среднем за три года исследований составила 259,4 ц/га, у базилика килиманджарского *Ocimum kilimandscharicum* Willd. – 339,8 ц/га, у базилика американского *Ocimum canum* Sims. – 244,0 ц/га. В среднем по сортообразцам урожайность зеленой массы оказалась 268,0 ц/га при сборе сухого вещества 30,3 ц/га.

Следует отметить, что существенные отличия в урожайности товарной продукции у базилика зависят не только от условий роста и развития различных сортообразцов и видовых особенностей, но и от особенностей селекции данной пряно-ароматической культуры. В зависимости от назначения, сортообразцы имеют высокорослые, среднерослые и низкорослые формы, что во многом и определяет сбор зеленой массы. Важными характеристиками базилика являются также аромат (гвоздичный, лимонный, карамельный и т.д.), содержание эфирных масел, облиственность, скороспелость, габитус растений, побегообразование, форма куста, окраска листовой пластины и другие хозяйственно ценные признаки [6, 7].

Содержание общего азота в различных сортообразцах базилика в зависимости от видовых особенностей изменялось в пределах от 2,32 до 2,70 %, фосфора – от 1,29 до 2,78 %, калия – от 3,64 до 5,70 %, кальция – от 1,89 до 4,20 %, магния – от 0,67 до 1,17 %.

Наибольшее содержание общего азота в зеленой массе отмечено у сортообразца базилика обыкновенного *Ocimum basilicum* L. № 73 (2,70 %), наименьшее – у сортообразца базилика обыкновенного К–5 (2,32 %), фосфора – у сортообразцов базилика обыкновенного К–63 (2,78 %) и Карлик (1,29 %) соответственно, калия – у сортообразцов базилика обыкновенного К–63 (5,70 %) и № 73 (3,64 %), каль-

ция – у сортообразцов базилика обыкновенного № 143 (4,20 %) и К–140 (1,89 %), магния – у сортообразцов базилика обыкновенного К–48 (1,17 %) и Лимонный аромат (0,67 %).

У базилика тонкоцветного *Ocimum tenuiflorum* L. содержание общего азота составило 2,66 %, фосфора – 2,10 %, калия – 3,70 %, кальция – 2,48 %, магния – 1,02 %; у базилика килиманджарского *Ocimum kilimandscharicum* Willd. – 2,55 % (N), 2,11 % (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 5,10 % (K<sub>2</sub>O), 4,04 % (CaO), 1,09 % (MgO) соответственно; у базилика американского *Ocimum canum* Sims. – 2,48 % (N), 1,59 % (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 5,30 % (K<sub>2</sub>O), 3,74 % (CaO) и 0,78 % (MgO).

В среднем содержание общего азота в зеленой массе различных сортообразцов базилика в фазу технологической спелости составило 2,53 %, фосфора – 1,74 %, калия – 4,87 %, кальция – 3,63 %, магния – 0,94 % в сухом веществе.

Таблица 1

**Содержание основных элементов питания в зеленой массе базилика, % в сухом веществе (среднее за 2010–2012 гг.)**

№ п/п	Номер сортообразца	Название сортообразца	Зеленая масса, ц/га	Сухое вещество, ц/га	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
1		Василиск	209,0	20,1	2,47	1,45	4,55	2,94	0,85
2		Философ	220,0	25,3	2,45	1,69	4,29	3,61	1,10
3		Гвоздичный	301,0	34,0	2,5	1,94	5,10	3,69	0,90
4		Гвоздичный аромат	214,4	29,2	2,53	1,66	5,12	3,37	0,88
5		Дженовезе	238,9	30,3	2,55	1,82	5,16	4,09	0,84
6		Зеленый бархат	265,3	26,5	2,47	1,74	5,01	4,03	0,85
7		Сладкий принц	322,5	34,8	2,52	1,98	5,23	4,09	0,84
8		Карлик	163,3	16,8	2,46	1,29	4,18	3,02	0,99
9		Лимонный аромат	294,4	33,0	2,47	2,04	5,20	3,97	0,67
10		Рубиновый букет	156,6	16,3	2,53	1,72	5,28	3,72	0,94
11		Москворецкий семко	160,5	17,8	2,45	1,84	4,22	4,06	0,75
12		Блек Шторм	193,0	18,9	2,56	1,57	3,99	4,17	1,12
13		Королевская кровь	273,7	27,1	2,64	1,76	5,23	4,18	0,94
14		Маркиз	222,8	27,9	2,65	1,51	5,14	2,88	0,76
15	№ 3	Ереванский (фиолетовый)	317,0	31,4	2,51	1,56	4,15	3,96	1,09
16	№ 5	Basili granwert	355,0	43,7	2,57	1,96	4,87	3,89	1,05
17	№ 7	Sweet Basil	319,9	35,8	2,5	1,88	5,11	4,09	0,93
18	№ 9	Рейхан (зеленый)	303,1	37,3	2,64	1,64	5,42	3,99	1,07
19	№ 11	Фиолетовый	242,9	25,0	2,58	1,71	4,38	4,13	1,01
20	№ 13	Синий	252,1	27,7	2,45	2,05	4,11	4,20	1,10
21	№ 21		304,0	27,7	2,48	1,77	3,74	3,89	0,83
22	№ 26	Райхон (черный и зеленый)	300,3	33,9	2,52	1,60	5,34	3,61	1,00
23	№ 33	Местный	334,5	35,8	2,46	1,38	5,32	3,48	0,74
24	№ 35	Местный	242,1	22,3	2,6	1,90	4,88	4,07	0,95
25	№ 44	Ohre	280,7	29,5	2,64	1,30	5,42	3,40	0,79
26	№ 48		273,6	30,4	2,49	1,30	4,86	3,16	0,70
27	№ 73		378,8	40,9	2,70	1,69	3,64	4,18	1,16
28	№ 106	Местный	276,2	32,6	2,48	2,01	5,10	3,53	1,08

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Окончание табл. 1

№ п/п	Номер сортообразца	Название сортообразца	Зеленая масса, ц/га	Сухое вещество, ц/га	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
29	№ 114		309,7	44,0	2,46	1,31	5,47	3,85	1,08
30	№ 117	м.н. Шокор	213,5	25,4	2,65	1,78	5,25	4,16	1,15
31	№ 125	Metalica	179,7	17,3	2,46	1,80	4,53	3,93	1,01
32	№ 130	Fin vert	271,1	29,7	2,53	1,59	4,82	4,17	1,11
33	№ 135	Manderico Verde folha larga	248,9	26,1	2,48	1,35	5,43	3,99	0,78
34	№ 140		198,9	20,5	2,54	1,89	5,32	3,37	1,05
35	№ 143	Fin vert nain compact	286,9	38,7	2,46	1,80	5,08	4,20	1,12
36	№ 173	Местный	283,1	35,7	2,54	2,07	5,06	4,16	1,03
37	Вр.318		404,0	43,9	2,54	2,01	5,08	2,03	0,73
38	Вр.371	Ocimum tenuiflorum	259,4	30,6	2,66	2,10	3,70	2,48	1,02
39	№ 27	Карамельный	431,0	49,6	2,45	1,64	4,89	2,90	0,74
40	№ 26	Гвоздичный	379,4	44,8	2,46	1,68	5,22	4,18	1,08
41	К-1	Мелколистный	240,4	32,0	2,58	1,38	5,12	3,97	1,04
42	К-2	Ереванский	224,8	22,5	2,61	1,94	5,12	4,04	1,12
43	К-5	Basili gradwert	292,8	28,7	2,32	1,49	5,33	2,38	0,76
44	К-6		51,3	5,4	2,55	1,49	4,41	3,75	0,90
45	К-12	Basil bush	266,0	28,7	2,49	1,29	4,03	2,06	0,89
46	К-13	Синий	232,1	26,2	2,62	1,52	5,31	2,01	0,72
47	К-14	Моликулави	211,2	27,2	2,58	1,72	4,66	3,64	0,81
48	К-26	Райхон	359,7	49,6	2,58	1,98	4,63	4,04	1,14
49	К-42	Basilic a large fueille	377,2	45,6	2,44	1,68	5,20	3,51	0,75
50	К-48		305,9	29,7	2,59	1,89	4,07	3,99	1,17
51	К-63		260,8	27,9	2,48	2,78	5,70	3,55	1,11
52	К-68	Ocimum kilimandscharicum	339,8	46,9	2,55	2,11	5,10	4,04	1,09
53	К-70	Ocimum canum	244,0	30,3	2,48	1,59	5,30	3,74	0,78
54	К-117	Местный	135,0	16,1	2,48	1,78	4,74	3,96	1,09
55	К-140		301,8	30,8	2,53	1,97	4,91	1,89	0,72
56	К-172		285,4	32,8	2,44	1,89	5,38	4,03	0,74
НСР <sub>05</sub>			13,2	1,5	0,12	0,08	0,23	0,17	0,04

Общий вынос элементов питания в наших исследованиях на окультуренной дерново-подзолистой среднесуглинистой почве зависел от урожайности зеленой массы, сбора сухого вещества и их содержания в зеленой массе.

Общий вынос азота зеленой массой различных сортообразцов базилика в зависимости от видовых особенностей в фазу технологической спелости составил 13,9–128,1 кг/га, фосфора – 8,1–99,0, калия – 24,0–242,4, кальция – 20,4–200,7 и магния – 4,9–56,6 кг/га (табл. 2).

Удельный (нормативный) вынос с 1 т зеленой массы различных сортообразцов базилика в зависимости от видовых особенностей в исследованиях оказался: 2,3–3,6 кг (N), 1,3–3,0 кг (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 3,4–7,8 кг (K<sub>2</sub>O), 1,9–5,7 кг (CaO) и 0,7–1,6 кг (MgO). В среднем по опыту нормативный вынос основных элементов питания с 1 т товарной продукции составил 2,8 кг (азот), 2,0 (фосфор), 5,5 (калий), 4,1 (кальций) и 1,1 кг (магний).

## Общий и удельный вынос основных элементов питания базиликом в фазу технологической спелости (зеленая масса) (среднее за 2010–2012 гг.)

Номер и название сортообразца	Общий вынос, кг/га					Удельный вынос, кг с 1 т зеленой массы				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Василиск	49,6	29,1	91,3	58,9	17,0	2,4	1,4	4,4	2,8	0,8
Философ	62,0	42,8	108,5	91,3	27,9	2,8	1,9	4,9	4,2	1,3
Гвоздичный	85,0	66,0	173,5	125,6	30,5	2,8	2,2	5,8	4,2	1,0
Гвоздичный аромат	73,8	48,4	149,3	98,3	25,6	3,4	2,3	7,0	4,6	1,2
Дженовезе	77,4	55,2	156,6	124,0	25,6	3,2	2,3	6,6	5,2	1,1
Зеленый бархат	65,5	46,2	132,9	106,9	22,4	2,5	1,7	5,0	4,0	0,9
Сладкий принц	87,8	69,0	182,2	142,3	29,3	2,7	2,1	5,7	4,4	0,9
Карлик	41,4	21,7	70,3	50,8	16,7	2,5	1,3	4,3	3,1	1,0
Лимонный аромат	81,4	67,3	171,4	131,0	22,1	2,8	2,3	5,8	4,5	0,8
Рубиновый букет	41,2	28,0	86,0	60,6	15,2	2,6	1,8	5,5	3,9	1,0
Москворецкий семко	43,6	32,8	75,2	72,3	13,4	2,7	2,0	4,7	4,5	0,8
Блек Шторм	48,4	29,7	75,5	78,8	21,2	2,5	1,5	3,9	4,1	1,1
Королевская кровь	71,5	47,7	141,7	113,4	25,5	2,6	1,7	5,2	4,1	0,9
Маркиз	73,8	42,1	143,1	80,3	21,1	3,3	1,9	6,4	3,6	1,0
№ 3 Ереванский (фиолетовый)	78,7	48,9	130,1	124,1	34,1	2,5	1,5	4,1	3,9	1,1
№ 5 Basili granwert	112,2	85,6	212,7	169,8	46,1	3,2	2,4	6,0	4,8	1,3
№ 7 Sweet Basil	89,6	67,4	183,1	146,4	33,4	2,8	2,1	5,7	4,6	1,1
№ 9 Рейхан (зеленый)	98,4	61,1	202,0	148,6	40,1	3,3	2,0	6,7	4,9	1,3
№ 11 Фиолетовый	64,6	42,8	109,6	103,3	25,2	2,7	1,8	4,5	4,3	1,0
№ 13 Синий	67,9	56,8	114,0	116,4	30,4	2,7	2,3	4,5	4,6	1,2
№ 21	68,6	49,0	103,5	107,6	22,9	2,3	1,6	3,4	3,5	0,8
№ 26 Райхон (черный и зеленый)	85,5	54,3	181,2	122,5	33,8	2,9	1,8	6,0	4,1	1,1
№ 33 Местный	88,1	49,4	190,4	124,7	26,4	2,6	1,5	5,7	3,7	0,8
№ 35 Местный	57,9	42,3	108,7	90,7	21,1	2,4	1,8	4,5	3,8	0,9
№ 44 Ohre	77,8	38,3	159,7	100,2	23,2	2,8	1,4	5,7	3,6	0,8
№ 48	75,6	39,5	147,6	96,0	21,4	2,8	1,4	5,4	3,5	0,8
№ 73	110,5	69,1	148,9	171,1	47,5	2,9	1,8	3,9	4,5	1,3
№ 106 Местный	80,8	65,5	166,2	114,9	35,1	2,9	2,4	6,0	4,2	1,3
№ 114	108,2	57,6	240,5	169,2	47,5	3,5	1,9	7,8	5,5	1,5
№ 117 м.н. Шокор	67,3	45,2	133,4	105,6	29,2	3,2	2,1	6,3	4,9	1,4
№ 125 Metalica	42,6	31,2	78,5	68,1	17,6	2,4	1,7	4,4	3,8	1,0
№ 130 Fin vert	75,2	47,3	143,2	123,9	33,0	2,8	1,7	5,3	4,6	1,2
№ 135 Manderico Verde folha larga	64,8	35,3	141,9	104,2	20,5	2,6	1,4	5,7	4,2	0,8
№ 140	52,0	38,7	109,0	69,1	21,6	2,6	2,0	5,5	3,5	1,1
№ 143 Fin vert nain compact	95,3	69,7	196,8	162,6	43,4	3,3	2,4	6,9	5,7	1,5
№ 173 Местный	90,6	73,8	180,5	148,2	36,7	3,2	2,6	6,4	5,2	1,3
Вр. 318	111,5	88,3	223,1	89,1	32,1	2,8	2,2	5,5	2,2	0,8
Вр. 371 <i>Ocimum tenuiflorum</i>	81,4	64,3	113,3	75,8	31,1	3,1	2,5	4,4	2,9	1,2

Номер и название сортообразца	Общий вынос, кг/га					Удельный вынос, кг с 1 т зеленой массы				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
№ 27 Карамельный	121,4	81,3	242,4	143,5	36,7	2,8	1,9	5,6	3,3	0,9
№ 26 Гвоздичный	110,1	75,2	233,7	187,3	48,4	2,9	2,0	6,2	4,9	1,3
К-1 Мелколистный	82,5	44,1	163,7	127,0	33,1	3,4	1,8	6,8	5,3	1,4
К-2 Ереванский	58,7	43,6	115,1	90,9	25,1	2,6	1,9	5,1	4,0	1,1
К-5 Basili gradwert	66,6	42,8	152,9	68,2	21,8	2,3	1,5	5,2	2,3	0,8
К-6	13,9	8,1	24,0	20,4	4,9	2,7	1,6	4,7	4,0	1,0
К-12 Basil bush	71,5	37,1	115,8	59,1	25,4	2,7	1,4	4,4	2,2	1,0
К-13 Синий	68,7	39,9	139,3	52,8	18,9	3,0	1,7	6,0	2,3	0,8
К-14 Моликулави	70,3	46,9	127,0	99,1	22,0	3,3	2,2	6,0	4,7	1,0
К-26 Райхон	128,1	98,3	229,8	200,7	56,6	3,6	2,7	6,4	5,6	1,6
К-42 Basilic a large feuille	111,4	76,7	237,3	160,3	34,3	3,0	2,0	6,3	4,3	0,9
К-48	76,9	56,1	120,8	118,3	34,7	2,5	1,8	4,0	3,9	1,1
К-63	69,2	77,6	159,1	99,2	31,0	2,7	3,0	6,1	3,8	1,2
К-68 <i>Ocimum kilimandscharicum</i>	119,6	99,0	239,2	189,6	51,3	3,5	2,9	7,0	5,6	1,5
К-70 <i>Ocimum canum</i>	75,0	48,1	160,3	113,0	23,5	3,1	2,0	6,6	4,6	1,0
К-117 Местный	39,9	28,6	76,2	63,6	17,5	3,0	2,1	5,6	4,7	1,3
К-140	77,9	60,7	151,2	58,2	22,2	2,6	2,0	5,0	1,9	0,7
К-172	80,1	62,0	176,6	132,2	24,3	2,8	2,2	6,2	4,6	0,9

## ВЫВОДЫ

В исследованиях на окультуренной дерново-подзолистой среднесуглинистой почве урожайность зеленой массы различных сортообразцов базилика в фазу технической спелости в зависимости от видовых особенностей составила 51,3–431,0 ц/га при сборе сухого вещества 5,4–49,6 ц/га с максимальными показателями продуктивности у сортообразца базилика обыкновенного *Ocimum basilica* L. № 27 Карамельный.

Содержание общего азота в зеленой массе базилика в фазу технологической спелости в зависимости от видовых особенностей оказалось 2,32–2,70 %, фосфора – 1,29–2,78 %, калия – 3,64–5,70 %, кальция – 1,89–4,20 %, магния – 0,67–1,17 % в сухом веществе.

Удельный (нормативный) вынос с 1 т зеленой массы базилика в зависимости от видовых особенностей в исследованиях составил: 2,3–3,6 кг (N), 1,3–3,0 кг (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 3,4–7,8 кг (K<sub>2</sub>O), 1,9–5,7 кг (CaO) и 0,7–1,6 кг (MgO).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лапа, В.В. Применение удобрений и качество урожая / В.В. Лапа, В.Н. Босак; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 120 с.
2. Удобрения и качество урожая / И.Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Технопринт, 2005. – 273 с.
3. Методика определения потребности в минеральных удобрениях под планируемую урожайность сельскохозяйственных культур на уровне района и области / В.И. Бельский [и др.]. – Минск: Ин-т экономики НАН Беларуси, 2006. – 44 с.

4. Методика расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В.В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. – 26 с.

5. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 390 с.

6. Карпинская, Е.В. Биологические особенности и элементы технологии выращивания календулы лекарственной и базилика благородного в Белоруссии: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 06.01.09 / Е.В. Карпинская; НИИ сельского хозяйства Центр. р-нов Нечернозем. зоны. – М., 2008. – 25 с.

7. Лудилов, В.А. Редкие и малораспространенные овощные культуры (биология, выращивание, семеноводство) / В.А. Лудилов, М. Иванова. – М.: Росинформагротех, 2009. – 196 с.

8. Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посевного материала: сборник отраслевых регламентов / В.Г. Гусаков [и др.]; НАН Беларуси, Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси. – Минск: Беларуская навука, 2010. – 520 с.

9. Скорина, В.В. Новые сорта базилика обыкновенного *Ocimum basilicum* L. и технология их возделывания / В.В. Скорина, Т.В. Сачивко // Земляробства і ахова раслін. – 2012. – № 4. – С. 62–64.

10. Технология выращивания зеленных и пряно-ароматических культур: тематическая подборка № 78–91 // ВАСХНИЛ; ВНИИ информации и технико-экономических исследований АПК, Белорусский филиал. – Минск, 1991. – 60 с.

11. Агрохимия: практикум / И.Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 368 с.

## **MAINTENANCE OF BASIC ELEMENTS OF A FOOD AND THEIR CARRYING OUT VARIOUS PHENOTYPES OF THE BASILIK**

**T.V. Sachyuka**

In researches on the cultivated sod-podsolic loamy soil it is established that the content of the general nitrogen in green material of various phenotypes a basilica in a phase of technological ripeness on the average made 2,53 %, phosphorus – 1,74 %, potassium – 4,87 %, calcium – 3,63 %, magnesium – 0,94 % in solid. Standard carrying out of basic elements of a food with 1 t of products appeared 2,8 kg (N), 2,0 ( $P_2O_5$ ), 5,5 ( $K_2O$ ), 4,1 (CaO) and 1,1 kg (MgO).

*Поступила 30 ноября 2012 г.*

УДК 633.877:632.15

## **СОДЕРЖАНИЕ И СООТНОШЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ЛИСТЯХ И ХВОЕ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. МИНСКА)**

**Г.В. Пироговская, С.С. Хмелевский**

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

### ВВЕДЕНИЕ

Растения играют важную роль в оздоровлении городской среды. Вместе с тем, произрастая в городе, они испытывают стресс, который выражается в изменении биохимического состава, накоплении загрязняющих веществ [1–5]. Изучение ответной реакции растений на ионы водорастворимых соединений или тяжелых металлов, которые при повышенных концентрациях оказывают токсическое действие на их рост и развитие, имеет не только практическое значение, связанное с возрастающим загрязнением окружающей среды, но и важное фундаментальное, связанное с исследованием механизма адаптации и устойчивости растений к загрязнителям.

Известно, что содержание и соотношение элементов питания для каждого растения, в том числе и зеленых насаждений, при нормальных условиях его роста и развития находятся в определенных пределах. При избыточном накоплении как элементов питания (азота, калия, фосфора, кальция, магния), так и тяжелых металлов отмечаются видимые повреждения ассимиляционных органов растений (хлорозные и некротические пятна на листьях и т.д.) [6–8].

Имеются данные, касающиеся токсического действия тяжелых металлов и их распределения по органам древесных насаждений, меньше известно об изменении содержания элементов питания в результате загрязнения. Состав и содержание элементов питания в фитомассе характеризуются видоспецифичностью, зависят от возраста, состояния растений, почвенно-климатических условий их произрастания, загрязнения окружающей среды [6, 9–11].

По данным Т.М. Поварничиной, содержание азота и калия в листьях большинства видов древесных культур в городских условиях существенно возрастает с увеличением степени техногенной нагрузки, для фосфора же, наоборот, характерно снижение его концентрации. Это свидетельствует о нарушении соотношения основных элементов минерального питания растений в условиях техногенной среды [12].

Изменение химического состава растений также зависит от фазы их развития, а значит, и от сезона года. Как правило, наблюдается снижение содержания ряда элементов (калия, фосфора и нитратного азота) в зеленых частях растений в летний период – период максимальной интенсивности всех физиологических процессов растений [13].

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для оценки содержания и соотношения химических элементов в листьях и хвое зеленых насаждений, используемых для озеленения вдоль автомобильных дорог в г. Минске, в 2006–2008 гг. был выполнен комплекс лабораторных и полевых исследований.

**Объекты исследований** – древесные насаждения наиболее часто используемых в озеленении г. Минска пород (каштан конский – *Aesculus Hippocastanum* L., липа мелколистная – *Tilia cordata* Mill., клен остролистный – *Acer platanoides* L., туя западная – *Thuja occidentalis* L.).

**Предмет исследований** – элементы питания ( $N_{\text{общ.}}$ ,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , Ca, Mg, Na) и их соотношения (N/P, P/Ca, Ca/P, K/(Ca+Mg), (Ca+Mg)/K, Na/K).

На удалении от автомобильной дороги 1–150 м производился отбор почвенных образцов и растительных проб (листьев и хвои) зеленых насаждений (май,

сентябрь), в которых определяли агрохимические показатели почв и содержание элементов питания в растениях.

Аналитическая обработка полученных экспериментальных данных выполнялась по общепринятым методикам:

– определение значений контролируемых показателей в почве проводилось по действующим общепринятым в почвоведении и агрохимии методам исследований, соответствующим ГОСТ или ОСТ: органическое вещество – по ГОСТ 26213–91, pH в КС1 суспензии – потенциометрически (ГОСТ 261212–84); подвижные формы  $P_2O_5$  и  $K_2O$  определяли в 0,2 моль/л вытяжке HCl по методу Кирсанова (в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26207–91) с последующим определением фосфора на фотоэлектроколориметре, калия – на пламенном фотометре (ГОСТ 26207–91), обменные катионы ( $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ) – по Гедройцу К.К. (ГОСТ 26487–85);

– в растительных пробах определяли азот, фосфор, калий, кальций, магний после мокрого озоления (смесью серной кислоты и перекиси водорода) общепринятыми методами: азот – по ГОСТ 13496.4–93, фосфор – спектрофотометрически (ГОСТ 26657–97), калий – на пламенном фотометре, кальций (ГОСТ 26570–95) и магний (ГОСТ 30502–97) – на атомно-адсорбционном спектрофотометре, содержание тяжелых металлов – атомно-абсорбционным методом.

Статистическая обработка результатов исследований проводилась по Б.А. Доспехову с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на ПЭВМ.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Почва, будучи основным источником минерального питания зеленых насаждений в городе, влияет на рост, развитие, химический состав растений и декоративность. Городские почвы на исследуемых объектах характеризовались различной обеспеченностью элементами питания.

Агрохимические показатели (2006–2008 гг.) слоя почвы 0–50 см на объектах исследований изменялись в зависимости от удаления от автодороги и были следующие:

– в Центральном ботаническом саду на расстоянии до 40 м от автодороги: pH – 5,30–6,88, содержание  $P_2O_5$  – 93–236 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 76–154, Ca – 1182–1686, Mg – 72–129, N–NO<sub>3</sub> – 1,7–6,5 мг/кг почвы, органического вещества – 2,16–5,16 %; на расстоянии 150 м: pH – 4,20–4,77, содержание  $P_2O_5$  – 94–98 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 70–114, Ca – 321–936, Mg – 43–125, N–NO<sub>3</sub> – 3,6–12,0 мг/кг почвы, органического вещества – 1,91–4,25 %;

– по ул. Сурганова на расстоянии 1–5 м: pH – 6,82–6,96, содержание  $P_2O_5$  – 96–137 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 140–185, Ca – 1275–1850, Mg – 116–142, N–NO<sub>3</sub> – 4,6–5,0 мг/кг почвы, органического вещества – 6,17–6,71 %;

– по пр-ту Победителей на расстоянии до 30 м от автодороги: pH – 6,82–7,16, содержание  $P_2O_5$  – 211–308 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 84–187, Ca – 868–1432, Mg – 68–148, N–NO<sub>3</sub> – 5,4–13,2 мг/кг почвы, органического вещества – 1,16–3,73 %; на расстоянии 50–80 м: pH – 6,74–6,87, содержание  $P_2O_5$  – 433–756 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 120–286, Ca – 1209–1866, Mg – 98–156, N–NO<sub>3</sub> – 6,4–13,6 мг/кг почвы, органического вещества – 3,97–4,78 %;

– по пр-ту Независимости на расстоянии 1–5 м от автодороги: pH – 6,51–6,68, содержание  $P_2O_5$  – 217–224 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 161–208, Ca – 1273–1361, Mg – 112–138, N–NO<sub>3</sub> – 5,1–6,5 мг/кг почвы, органического вещества – 2,26–2,70 %;

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

– по ул. Ландера на расстоянии 1–5 м: рН – 5,10–5,34, содержание  $P_2O_5$  – 304–331 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 99–114, Ca – 717–919, Mg – 124–153,  $N-NO_3$  – 2,3–3,1 мг/кг почвы, органического вещества – 1,24–1,39 %;

– по ул. Ваупшасова на расстоянии до 30 м: рН – 7,12–7,46, содержание  $P_2O_5$  – 52–131 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 45–165, Ca – 1237–1619, Mg – 64–161,  $N-NO_3$  – 3,8–6,6 мг/кг почвы, органического вещества – 3,42–6,54 %; на расстоянии 50–100 м: рН – 4,35–5,38, содержание  $P_2O_5$  – 38–64 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 32–111, Ca – 450–1088, Mg – 74–153,  $N-NO_3$  – 1,9–6,5 мг/кг почвы, органического вещества – 1,49–4,48 %.

В ходе исследований (2006–2008 гг.) анализировались сезонные изменения содержания элементов питания в листьях основных древесных пород (каштан конский, липа мелколистная, клен остролистный, туя западная) на разном удалении от автомобильных магистралей.

Высокая декоративность *каштана конского* (*Aesculus Hippocastanum* L.), относительно быстрый рост, повышенная способность очищать атмосферный воздух от пыли, лекарственные и другие свойства принесли ему заслуженную популярность в городском озеленении. Так, известно, что одно такое взрослое дерево очищает от поступающих выхлопных газов пространство объемом до 20 тыс. м<sup>3</sup>. Вместе с тем, конский каштан в городских условиях испытывает негативное воздействие целого ряда факторов, имеющих различную этиологию (агроклиматическую и агротехническую, промышленную и биологическую). В результате происходит угнетение растений, зачастую – гибель [14].

Согласно Х.Г. Якубова, по данным наблюдений сети мониторинга за древесными насаждениями в г. Москве, все произрастающие деревья объединены в три группы, что позволяет представить их общее состояние. К первой группе отнесены жизнеспособные деревья (категория состояния – без признаков ослабления (здоровые) и умеренно ослабленные); ко второй группе – ослабленные и сильноослабленные; к третьей – погибшие деревья (усыхающие и сухостой). Деревья без признаков ослабления и умеренно ослабленные имеют хорошо развитую крону, листья нормальных размеров и цвета, сухих ветвей не более 25 %; ослабленные и сильноослабленные деревья имеют от 26 до 50 % сухих ветвей, наблюдается уменьшение размера листьев, часто имеет место некроз листьев в слабой или средней степени, могут наблюдаться повреждения коры; усыхающие деревья имеют более 50 % сухих ветвей, крону неправильной формы, сильный краевой некроз и вялость листьев, повреждения ствола и ветвей [15].

Результаты наших исследований показали, что в условиях г. Минска химический состав элементов питания и их соотношения в листьях каштана конского изменялись в зависимости от сезонности, состояния насаждения (без признаков ослабления и ослабленные деревья) и расстояния от автомобильной дороги (табл. 1).

Выявлено, что к осени в листьях каштана конского без признаков ослабления отмечалось некоторое увеличение содержания фосфора, калия, кальция и магния, снижение общего азота и натрия на всех объектах. В листьях ослабленных деревьев – в основном снижение содержания фосфора, натрия и калия (пр-т Победителей).

На ул. Сурганова и пр-те Победителей у ослабленных деревьев каштана на расстоянии 1–5 м от автодороги по сравнению с деревьями без признаков ослабления на аналогичном расстоянии весной (май) в листьях увеличивалось содержание фосфора в 1,7–2,3 раза, калия – в 1,1–1,5, кальция – в 1,2–1,3, магния –

до 1,2, натрия – в 1,2–1,5 раза; осенью (сентябрь) – фосфора – до 1,3 раза, кальция – в 1,1–1,2, натрия – в 2,0–3,1 раза.

Таблица 1

**Содержание основных элементов в листьях каштана конского  
(среднее за 2006–2008 гг.)**

Расстояние от автодороги	Элементы, % (на сухое в-во)											
	N <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na	N <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na
	май						сентябрь					
Центральный ботанический сад												
1–5 м от автодороги (без признаков ослабления)	2,43	0,56	1,01	0,51	0,18	1,02	2,09	0,66	1,11	0,87	0,24	0,35
150 м от автодороги (без признаков ослабления)	3,20	0,59	1,04	0,42	0,16	0,24	2,72	0,74	1,48	1,11	0,27	0,10
НСР <sub>05</sub>	0,17	0,02	0,05	0,02	0,01	0,04	0,14	0,02	0,05	0,02	0,01	0,03
ул. Сурганова												
1–5 м от автодороги (без признаков ослабления)	2,33	0,48	1,01	0,50	0,18	1,12	2,08	0,63	1,13	0,82	0,26	0,33
1–5 м от автодороги (ослабленный)	2,40	0,83	1,11	0,58	0,17	1,63	2,04	0,81	1,18	0,91	0,21	1,03
НСР <sub>05</sub>	0,14	0,05	0,08	0,02	0,01	0,03	0,14	0,02	0,08	0,02	0,01	0,04
пр-т Победителей												
1–5 м от автодороги (без признаков ослабления)	2,22	0,56	1,36	0,51	0,14	1,07	2,09	0,81	1,63	0,81	0,31	0,50
1–5 м от автодороги (ослабленный)	2,23	1,26	2,00	0,64	0,17	1,31	1,95	0,75	1,45	1,00	0,19	0,99
30 м от автодороги (без признаков ослабления)	2,89	0,55	1,51	0,53	0,23	0,33	2,63	0,71	1,84	1,30	0,29	0,06
НСР <sub>05</sub>	0,15	0,05	0,10	0,02	0,01	0,05	0,14	0,02	0,07	0,02	0,01	0,03

Если сравнивать содержание элементов в листьях жизнеспособных каштанов на различном удалении от автодороги, то наиболее резкие отличия наблюдались по содержанию натрия, т.е. его показатели вблизи автомобильной дороги в 3,2–8,3 раза (пр-т Победителей) и 3,5–4,3 раза (ЦБС) выше по сравнению с расстояниями 30–150 м. Что касается других элементов, то их изменения незначительны.

Расчетные данные по соотношению элементов питания в листьях жизнеспособных и ослабленных деревьев каштана конского (май) свидетельствуют, что

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

в большей степени у ослабленных каштанов уменьшается соотношение N/P и Ca/P, увеличивается соотношение P/Ca и Na/K (табл. 2).

Таблица 2

### Соотношение элементов в листьях каштана конского (среднее за 2006–2008 гг.)

Вариант	Соотношение, мг-экв.					
	N/P	P/Ca	Ca/P	K/(Ca+Mg)	(Ca+ Mg)/ K	Na/K
ул. Сурганова, 1–5 м от автодороги (без признаков ослабления)	8,19	0,81	1,23	0,54	1,85	2,27
ул. Сурганова, 1–5 м от автодороги (ослабленный)	4,88	1,21	0,83	0,55	1,82	3,01
пр-т Победителей, 1–5 м от автодороги (без признаков ослабления)	6,69	0,93	1,08	0,78	1,28	1,34
пр-т Победителей, 1–5 м от автодороги (ослабленный)	2,99	1,67	0,60	0,93	1,08	1,61

Что касается соотношения K/(Ca+Mg) и (Ca+Mg)/K, то существенных различий у деревьев каштана конского без признаков ослабления и ослабленных не выявлено.

В озеленении городских территорий очень часто используется липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) за счет своих высоких декоративных качеств (особенно во время цветения), способности расти в широком диапазоне кислотности, газо- и дымоустойчивости. В то же время деревья липы предъявляют достаточно высокие требования к дренированности почвы, ее плодородию [16].

Установлено, что в ослабленных растениях липы мелколистной по сравнению с деревьями без признаков ослабления на расстоянии 1–5 м от автомобильной дороги (пр-т Независимости) в весенний период отмечалось увеличение содержания калия и магния (в 1,2 раза), натрия (в 1,7 раза), в осенний период – повышение только натрия (в 5,2 раза) (табл. 3).

На пр-те Победителей на расстоянии 50 м от автодороги по сравнению с 80 м выявлена тенденция увеличения в весенний период содержания калия (в 1,1 раз), магния (в 1,5) и натрия (в 4,0), в осенний – фосфора (в 1,5) и натрия (в 2,8 раза).

Соотношения элементов питания в листьях жизнеспособных и ослабленных деревьев липы мелколистной (май) приведены в таблице 4.

Выявлено, что в листьях липы мелколистной происходят изменения соотношений всех элементов питания (N/P, P/Ca, Ca/P, K/(Ca+Mg), (Ca+Mg)/K, Na/K) у ослабленных деревьев по сравнению с деревьями без признаков ослабления.

Клен остролистный (*Acer platanoides*) является превосходной декоративной культурой за счет красивой густой кроны, орнаментальной листвы, особо ценится в городском озеленении. В то же время клен остролистный предъявляет определенные требования к плодородию почвы, ее влагообеспеченности, которые не всегда соответствуют оптимальным значениям в условиях городской среды [17].

Установлено, что в листьях ослабленных деревьев клена остролистного в городе на расстоянии 1–5 м от автомобильной дороги в весенний период наблюдалось повышение содержания фосфора в 2,55 раз, калия – в 1,52 раз, кальция и магния – в 1,30–1,33 раза, натрия – 16,2 раза, в осенний период – только натрия – в 21,5 раза (табл. 5).

**Содержание основных элементов в листьях липы мелколистной  
(среднее за 2006–2008 гг.)**

Расстояние от автодороги	Элементы, % (на сухое в-во)											
	N <sub>общ.</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na	N <sub>общ.</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na
	май						сентябрь					
пр-т Независимости												
1–5 м от автодороги (без признаков ослабления)	2,85	0,92	1,65	0,53	0,21	0,27	2,10	0,60	1,84	1,36	0,33	0,10
1–5 м от автодороги (ослабленная)	2,71	0,64	1,98	0,52	0,25	0,46	1,84	0,48	1,10	1,41	0,19	0,52
НСР <sub>05</sub>	0,15	0,03	0,09	0,02	0,01	0,02	0,12	0,02	0,07	0,07	0,01	0,01
пр-т Победителей												
50 м от автодороги (без признаков ослабления)	2,76	0,74	1,49	0,69	0,31	0,97	2,92	0,95	1,05	1,39	0,10	0,28
80 м от автодороги (без признаков ослабления)	2,88	0,93	1,35	0,67	0,21	0,24	2,08	0,65	1,99	1,67	0,39	0,10
НСР <sub>05</sub>	0,14	0,03	0,10	0,02	0,01	0,02	0,13	0,03	0,08	0,07	0,01	0,02

По ул. Ваупшасова содержание элементов питания в листьях жизнеспособных деревьев клена остролистного отличалось в зависимости от удаления от автомобильной дороги (30, 50 и 100 м). Что касается изменения содержания элементов по сезонам (весна–осень), то выявлено снижение элементов питания в осенний период, за исключением кальция и магния.

Закономерности изменения соотношений элементов питания в листьях жизнеспособных и ослабленных деревьев клена остролистного (май), как у каштана конского. У ослабленных деревьев в листьях уменьшалось соотношение N/P и Ca/P, увеличивалось – P/Ca и Na/K при несущественном изменении соотношений K/(Ca+Mg) и (Ca+Mg)/K (табл. 6).

Особую ценность в улучшении качества городской среды представляют хвойные растения, так как, будучи вечнозелеными, они участвуют в очистке воздуха от пыли и вредных газов даже в зимнее время. Одним из них является туя западная (*Thuja occidentalis* L.).

Туя западная отличается значительной устойчивостью к техногенному загрязнению, но тем не менее в условиях городской среды испытывает негативное воздействие целого ряда факторов (загрязнение почвы, атмосферы и др.), отрицательно влияющих на ее рост, развитие, декоративные качества [18, 19].

В результате исследований установлено, что содержание основных элементов питания и натрия в хвое туи западной несколько различалось по сезонам (весна и осень). Так, в осенний период в сравнении с весной (Центральный ботанический сад) отмечалось снижение содержания общего азота и натрия (в 1,5 и 2,5 раза

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

соответственно) на фоне повышения содержания фосфора (в 1,6 раза), калия (в 2,2), кальция (в 1,7) и магния (в 3,5 раза) (табл. 7).

Таблица 4

### Соотношение элементов в листьях липы мелколистной (среднее за 2006–2008 гг.)

Вариант	Соотношение, мг-экв.					
	N/P	P/Ca	Ca/P	K/(Ca+Mg)	(Ca+ Mg)/ K	Na/K
пр-т Независимости						
1–5 м от автодороги (без признаков ослабления)	5,23	1,47	0,68	0,80	1,25	0,34
1–5 м от автодороги (ослабленная)	7,15	1,04	0,96	0,90	1,11	0,48

Таблица 5

### Содержание основных элементов в листьях клена остролистного (среднее за 2006–2008 гг.)

Расстояние от автодороги	Элементы, % (на сухое в-во)											
	N <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na	N <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na
	май						сентябрь					
ул. Ландера												
1–5 м от автодороги (без признаков ослабления)	2,30	0,40	1,28	0,43	0,18	0,32	2,30	0,62	1,02	1,27	0,30	0,23
1–5 м от автодороги (ослабленный)	2,92	1,02	1,95	0,56	0,24	5,19	2,23	0,50	1,11	0,99	0,30	4,95
НСР <sub>05</sub>	0,11	0,03	0,08	0,02	0,01	0,15	0,13	0,03	0,06	0,06	0,01	0,14
ул. Ваупшасова												
30 м от автодороги (без признаков ослабления)	2,92	0,97	1,64	0,45	0,22	0,24	2,59	0,59	1,25	1,40	0,34	0,22
50 м от автодороги (без признаков ослабления)	2,36	1,11	1,77	0,51	0,25	0,32	2,11	0,79	1,22	1,22	0,34	0,08
100 м от автодороги (без признаков ослабления)	2,40	1,12	1,74	0,61	0,21	0,26	2,08	0,76	1,19	1,15	0,32	0,06
НСР <sub>05</sub>	0,15	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,13	0,03	0,06	0,63	0,01	0,01

На объекте исследований по бульвару Ленина были обнаружены здоровые и ослабленные растения туи западной. Сравнительная оценка содержания химических элементов в хвое здоровых и ослабленных насаждений туи западной показала, что в ослабленных растениях в хвое снижено содержание общего азота в 2,3 раза, фосфора – в 1,5 раза, увеличено содержание натрия в 2,5 раза.

Таблица 6

**Соотношение элементов в листьях клена остролистного  
(среднее за 2006–2008 гг., май)**

Объект	Соотношение, мг-экв.					
	N/P	P/Ca	Ca/P	K/(Ca+Mg)	(Ca+ Mg)/K	Na/K
ул. Ландера						
1–5 м от автодороги (без признаков ослабления)	9,71	0,79	1,27	0,75	1,33	0,51
1–5 м от автодороги (ослабленный)	4,83	1,54	0,65	0,87	1,15	5,45

Таблица 7

**Содержание основных элементов в хвое туи западной  
(среднее за 2006–2008 гг.)**

Расстояние от автодороги	Элементы, % (на сухое в-во)											
	N <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na	N <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na
	май						сентябрь					
бульвар Ленина												
1–5 м от автодороги (без признаков ослабления)	2,85	0,19	0,51	0,72	0,16	0,26	1,75	0,24	1,05	1,55	0,24	0,08
1–5 м от автодороги (ослабленная)	1,22	0,13	0,54	0,83	0,21	0,64	–	–	–	–	–	–
НСП <sub>05</sub>	0,10	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	–	–	–	–	–	–
Ботанический сад												
40 от автодороги (без признаков ослабления) 1,69	0,33	0,50	0,80	0,17	0,33	1,11	0,52	1,08	1,36		0,60	0,13

Соотношение элементов питания в хвое здоровых и ослабленных растений туи западной показало, что наиболее изменчивыми у ослабленной туи являлись отношения N/P, P/Ca, Ca/P и Na/K, при этом соотношения N/P и P/Ca уменьшались, а Ca/P и Na/K увеличивались. Соотношения K/(Ca+Mg) и (Ca+Mg)/K изменялись незначительно (табл. 8).

Таблица 8

**Соотношение элементов в хвое туи западной (среднее за 2006–2008 гг.)**

Вариант	Соотношение, мг-экв.					
	N/P	P/Ca	Ca/P	K/(Ca+Mg)	(Ca+ Mg)/K	Na/K
бульвар Ленина						
1–5 м от автодороги (без признаков ослабления)	25,32	0,22	4,48	0,22	4,53	1,04
1–5 м от автодороги (ослабленная)	15,84	0,13	7,54	0,20	5,11	2,43

Приведенные данные свидетельствуют о нарушении соотношения основных элементов минерального питания в ослабленных древесных насаждениях расте-

ний по сравнению со здоровыми деревьями, что может служить диагностическим показателем состояния зеленых насаждений. Аналогичные данные отмечаются и другими исследователями [12].

### ВЫВОДЫ

1. Вдоль автомобильных дорог г. Минска наблюдаются нарушения в листьях ослабленных деревьев (каштан конский, липа мелколистная, клен остролистный, туя западная) соотношений элементов питания (N/P, P/Ca, Ca/P и Na/K) без существенных изменений соотношений  $K/(Ca+Mg)$ ,  $(Ca+Mg)/K$ .

2. Для более точного диагностирования содержания и соотношения основных элементов минерального питания в ослабленных и здоровых деревьях требуются дальнейшие исследования, так как необходим больший набор экспериментальных данных.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ведерников, К.Е. Биоэкологические особенности древесных растений в насаждениях урбаносистем (на примере г. Ижевска): автореф. дис. ...канд. биол. наук: 03.00.16. / К.Е. Ведерников; Ижевская гос. сельскохозяйств. акад. – Тольятти, 2008. – 20 с.

2. Двоглазова, А.А. Эколого-биологические особенности древесных и травянистых растений в насаждениях урбанозооэкосистемы крупного промышленного центра (на примере г. Ижевска): автореф. дис. ...канд. биол. наук: 03.00.16. / А.А. Двоглазова; Ин-т биол. УНЦ РАН. – Уфа, 2009. – 20 с.

3. Кавеленова, Л.М. К специфике содержания зольных веществ в листьях древесных растений в городской среде в условиях лесостепи (на примере Самары) / Л.М. Кавеленова [и др.] // Химия растительного сырья. – 2001. – № 3. – С. 85–90.

4. Васильева, К.А. Особенности роста ассимиляционного аппарата клена остролистного (*Acer Platanoides* L.) в условиях загрязнения / К.А. Васильева, Г.А. Зайцев // Извест. Самарского науч. центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – № 1(4). – С. 790–792.

5. Шихова, Н.С. Мониторинг зеленых насаждений / Н.С. Шихова // Сб. науч. трудов. – Москва: Прима-М, 2003. – Вып. 8: Экология большого города. – С. 122–125.

6. Кулагин, А.А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей / А.А. Кулагин, Ю.А. Шагиева. – Москва: Наука, 2005. – 190 с.

7. Кулагин, А.А. Эколого-физиологические особенности тополя бальзамического (*Populus Balsamifera* L.) в условиях загрязнения окружающей среды металлами: автореф. дис. ...канд. биол. наук: 03.00.16. / А.А. Кулагин; Ин-т экологии Волжского бассейна РАН. – Тольятти, 2002. – 19 с.

8. Шергина, О.В. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутска / О.В. Шергина, Т.А. Михайлова. – Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. – 200 с.

9. Попова, О.В. Индикация дальности и интенсивности влияния Новолипецкого металлургического комбината на прилегающую территорию (по реакциям клена платанолистного) / О.В. Попова, А.И. Федорова // Вес. ВГУ. Сер. Химия. Биология. Фармация. – 2005. – № 1. – С. 135–142.

10. Роголева, Н.О. Эколого-биогеохимические особенности парковых насаждений г. Самары: автореф. дис. ...канд. биол. наук: 03.00.16. / Н.О. Роголева; Ин-т экологии Волжского бассейна РАН. – Тольятти, 2009. – 19 с.

11. Федорова, А.И. Корневые системы древесных растений в городской среде / А.И. Федорова // Сб. науч. трудов. – Москва: Прима-М, 2005. – Вып. 11: Проблемы озеленения крупных городов. – С. 158–160.

12. Поварницына, Т.М. Эколого-физиологические особенности адаптации древесных растений к условиям крупных промышленных центров (на примере г. Ижевска): автореф. дис. ...канд. биол. наук: 03.00.16. / Т.М. Поварницына; Ин-т экологии Волжского бассейна РАН. – Тольятти, 2007. – 20 с.

13. Корельская, Т.А. Биогеохимическая индикация экологического состояния урбоэкосистем севера (на примере Архангельска): автореф. дис. ...канд. хим. наук: 03.00.16. / Т.А. Корельская; Ивановский гос. хим.-технологич. ун-т. – Иваново, 2008. – 16 с.

14. Попов, Г.В. Об устойчивости конского каштана обыкновенного (*Aesculus Hippocastanum* L.) к вредителям и болезням на юго-востоке Украины / Г.В. Попов, И.В. Бондаренко-Борисова // Промышленная ботаника. – 2007. – № 7. – С. 252–258.

15. Состояние зеленых насаждений в Москве (по данным мониторинга 2004 г.): аналитический доклад / Н.А. Асиевич [и др.]; под общ. ред. Х.Г. Якубова. – Москва: Стагирит-Н, 2005. – 200 с.

16. Липа мелколистная [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: <http://www.pitersad.ru/tilia-cordata.html>. – Дата доступа: 05.09.2011.

17. Рековец, П. Ухоженный сад / П. Рековец // Нескучный сад. – 2008. – № 4. – С. 28–30.

18. Воскресенская, О.Л. Эколого-физиологические адаптации туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в городских условиях / О.Л. Воскресенская, Е.В. Сарбаева. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2006. – 130 с.

19. Сарбаева, Е.В. Биоэкологические особенности туи западной (*Thuja Occidentalis* L.) в условиях городской среды: автореф. дис. ...канд. биол. наук: 03.00.16 / Е.В. Сарбаева; Марийский гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2005. – 21 с.

## CONTENT AND CORRELATIONS OF NUTRIENTS IN LEAVES AND PIN GREEN PLANTINGS (ON AN EXAMPLE OF MINSK)

G.V. Pirogovskaya, S.S. Hmelevsky

### Summary

Data on the content of the main mineral nutrients and their correlations in leaves of the tree species of most often used in gardening of Minsk are presented in this article. Infringements in leaves of the weakened trees (*Aesculus Hippocastanum* L., *Tilia cordata* Mill., *Acer platanoides* L., *Thuja occidentalis* L.) and nutrients correlations (N/P, P/Ca, Ca/P and Na/K), without essential correlations changes of K / (Ca+Mg) (Ca + Mg) / K are revealed.

Поступила 9 ноября 2012 г.

УДК 631.82:631.452:631.41:631.445.4(470.62)

## **ПЛОДОРОДИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ЗАПАДНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

**А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, Ю.А. Исупова**  
*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет»,  
Краснодар, Российская Федерация*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Известно, что наиболее объективную информацию об эффективности удобрений обеспечивают исследования в многолетних стационарных опытах. Они дают возможность оценить не только прямое действие, но и последствие вносимых питательных веществ. Влияние длительного применения минеральных удобрений на агрохимические свойства черноземов изучено недостаточно, полученные данные противоречивы [1–4]. Трансформация агрохимических свойств различных почв под влиянием применяемых удобрений разная, так как зависит от их вида и количества [5].

Цель работы – изучить действие минеральной системы удобрения в полевом севообороте на содержание гумуса и физико-химические свойства чернозема выщелоченного.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– изучить динамику содержания минерального азота, подвижного фосфора и обменного калия в черноземе выщелоченном в зависимости от доз минеральных удобрений;

– выявить влияние длительного применения минеральных удобрений на содержание гумуса, изменения рН солевой, гидролитической кислотности, суммы поглощенных оснований, емкости катионного обмена и степени насыщенности основаниями.

### **МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследования проводились в учхозе «Кубань» на стационарном опыте кафедры агрохимии Кубанского госагроуниверситетата, который входит в систему Географической сети опытов с удобрениями и включен в «Реестр аттестатов длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами Российской Федерации».

Опыт, заложенный в 1981 г., имел следующие агрохимические показатели. В среднем в пахотном 0–20 см слое почвы гумус был равен 3,59 %, общий азот – 0,20 %, валовое содержание фосфора – 0,18 %, подвижного фосфора – 18,2 мг/100 г почвы, обменного калия – 30,6 мг/100 г; обменная кислотность ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ) составляла 6,4 – 6,8, гидролитическая кислотность и сумма поглощенных оснований – соответственно 1,6–1,7 и 39,4 – 40,9 ммоль–экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями – 96,3 – 97,6 % [6].

Опытный участок расположен в южной части Азово–Кубанской низменности Западного Предкавказья и относится к третьей агроклиматической зоне, характеризующейся умеренно увлажненным климатом с коэффициентом увлажнения 0,30–0,40 и суммой эффективных температур 3400–3800°C.

Схема опыта содержит 16 вариантов и представляет собой специальную выборку  $j$  части из полной схемы 4Ч4Ч4, образованной тремя факторами: азотом, фосфором, калием, с использованием четырех градаций 0, 1, 2 и 3 доз. Единичные, двойные и тройные дозы составляли под: сою –  $N_{20}P_{40}K_{20}$ ,  $N_{40}P_{80}K_{40}$ ,  $N_{60}P_{120}K_{60}$ , озимую пшеницу и ячмень –  $N_{40}P_{30}K_{20}$ ,  $N_{80}P_{60}K_{40}$ ,  $N_{120}P_{90}K_{60}$ , подсолнечник –  $N_{20}P_{30}K_{20}$ ,  $N_{40}P_{60}K_{40}$ ,  $N_{60}P_{90}K_{60}$ , кукурузу –  $N_{30}P_{30}K_{20}$ ,  $N_{60}P_{60}K_{40}$ ,  $N_{90}P_{90}K_{60}$ , люцерну –  $N_{40}P_{80}K_{40}$ ,  $N_{80}P_{160}K_{80}$ ,  $N_{120}P_{240}K_{120}$ , сахарную свеклу –  $N_{40}P_{40}K_{40}$ ,  $N_{80}P_{80}K_{80}$ ,  $N_{120}P_{120}K_{120}$  соответственно. За одну ротацию 11-польного полевого севооборота (2000–2010 гг.) было внесено всего на вариантах с единичными дозами –  $N_{390}P_{370}K_{270}$  двойными –  $N_{780}P_{740}K_{540}$ , тройными –  $N_{1170}P_{1110}K_{810}$ .

Объект исследований – чернозем выщелоченный слабогумусный сверхмощный легкоглинистый на лессовидных тяжелых суглинках.

Все аналитические работы выполнялись согласно общепринятым методикам: аммонийный азот определяли фотоколориметрическим методом в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26489), нитратный азот – по Грандваль-Ляжу, подвижные соединения фосфора и калия – по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204), гумус – по Тюрину, pH солевой вытяжки – по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483), гидролитическую кислотность – по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212), сумму поглощенных оснований – по Каппену-Гильковицу.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОЦЕНКА

В формировании плодородия почвы важная роль принадлежит гумусу. Этот показатель во многом определяет агрохимические свойства почв. При оценке гумусного состояния чернозема выщелоченного весьма важным является изучение многолетней динамики его содержания. Максимальное его значение 3,48 % было отмечено в 2000 г. на варианте с тройными дозами минеральных удобрений, что превосходило контроль на 0,16 % (рис. 1).

За 10-летний период без внесения минеральных удобрений содержание гумуса в почве достоверно снизилось с 3,32% до 2,65 %, разница составила 0,67 %. Внесенные минеральные удобрения под культуры севооборота в одинарных, двойных, а также и тройных дозах не способствовали сохранению и тем более воспроизводству гумуса. Его содержание в почве уменьшилось при применении одинарных доз на 0,62 %, двойных – на 0,56 %, тройных – на 0,64 %.

Таким образом, достоверно установлено, что только минеральные удобрения, вносимые в различных дозах, не обеспечивают сохранение содержания гумуса в черноземе выщелоченном. Очевидно, в этих условиях корневые и пожнивные остатки полевых культур в севообороте не могут полностью компенсировать минерализацию гумуса в почве.

В целях совершенствования системы удобрения культур важным является вопрос о влиянии длительного применения минеральных удобрений на физико-химические свойства почвы: pH<sub>KCl</sub>, гидролитическую кислотность, сумму поглощенных оснований, емкость катионного обмена, степень насыщенности основаниями.

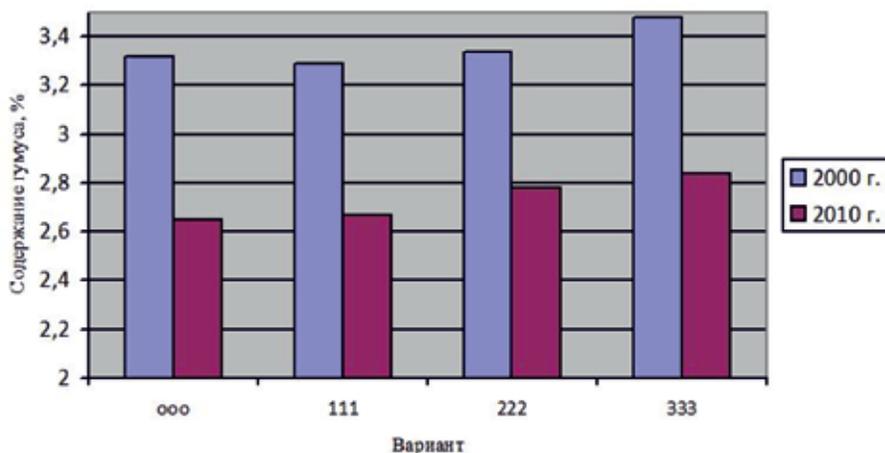


Рис. 1. Динамика содержания гумуса в 0–20 см слое почвы

Внесение минеральных удобрений в различных дозах – 111, 222 и 333 под культуры полевого севооборота привело к увеличению обменной кислотности. Длительное их применение приводило к снижению величин  $pH_{KCl}$  на всех вариантах в среднем с 6,5 ед. pH до 5,4 (рис. 2). В 2000 г. внесение одинарных, двойных и тройных доз способствовало достоверному снижению  $pH_{KCl}$  – до 6,47 ед. Спустя 10 лет наблюдается дальнейшее уменьшение этого показателя. Обменная кислотность снизилась на контроле с 6,6 до 5,5 ед. pH, на тройных дозах удобрений под культуры севооборота – до 5,4. Следовательно, обменная кислотность увеличивается с увеличением доз вносимых удобрений.

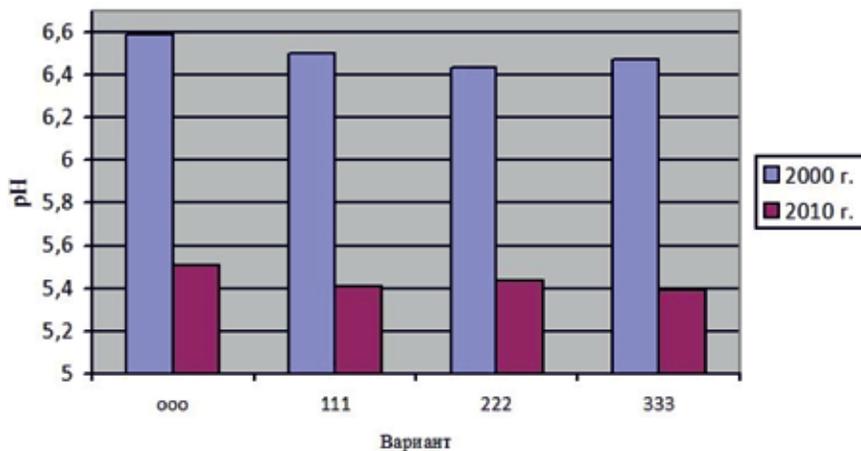


Рис. 2. Динамика  $pH_{KCl}$  солевой в 0–20 см слое почвы

Длительное внесение минеральных удобрений привело к существенному изменению кислотности чернозема выщелоченного и суммы поглощенных оснований. Гидролитическая кислотность почвы в 2000 г. от вносимых удобрений достоверно не изменилась. Проявление тенденции подкисления почвы в начале

исследований от применения минеральных удобрений связано с тем, что почва имела изначально низкую кислотность, а чем она ниже, тем выше ее буферность и тем более она противостояла подкисляющему действию удобрений.

В 2010 г. гидролитическая кислотность повышалась и прямо пропорционально зависела от доз вносимых удобрений. На контроле она составила 1,95 мг–экв/100 г почвы. Одинарные, двойные и тройные дозы полного минерального удобрения повышали ее на 6 %, 13 и 23 % соответственно (рис. 3).

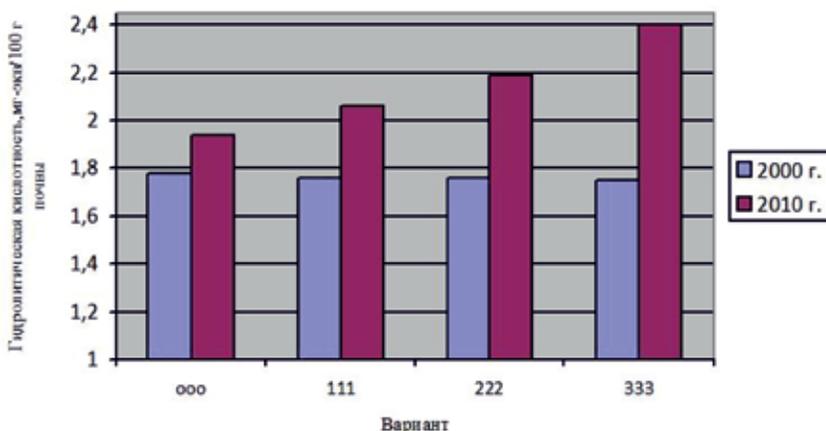


Рис.3. Динамика гидролитической кислотности в 0–20 см слое почвы

Увеличение кислотности почвы негативно отразилось на показателях ее поглощающего комплекса (табл. 1). Сумма поглощенных оснований чернозема выщелоченного за изучаемый период снизилась на всех вариантах, кроме контрольного. Если в 2000 г. этот показатель составлял 37,33 мг–экв/100 г на варианте с одинарными дозами удобрения, то после десяти лет он уменьшился на 3,73 мг–экв/100 г. Отметим, что темп снижения суммы поглощенных оснований во времени возрастал и был пропорционален количеству вносимых удобрений.

Таблица 1

**Влияние минеральных удобрений на сумму поглощенных оснований, емкость катионного обмена и степень насыщенности основаниями чернозема выщелоченного**

Вариант	S <sub>по'</sub>		T <sub>1</sub>		V, %	
	мг–экв/100 г				2000 г.	2010 г.
	2000 г.	2010 г.	2000 г.	2010 г.		
000	38,67	37,8	40,4	39,74	95,62	95,0
111	37,33	33,6	39,1	35,66	95,48	94,3
222	37,43	33,6	39,2	35,79	95,73	94,0
333	31,17	28,6	32,9	31,00	95,48	93,4
НСР <sub>05</sub>	0,8	0,9				

Уменьшение суммы поглощенных оснований влекло за собой уменьшение емкости катионного обмена. В начале периода исследований этот показатель был равен 40,4 мг–экв/100 г почвы, спустя 10 лет S<sub>по</sub> составила 39,74 мг–экв/100 г

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

на контроле, в дальнейшем имело место более существенное понижение до 35,6–31,0 мг–экв на 100 г почвы от внесения удобрений. На вариантах с внесением удобрений степень насыщенности почвы основаниями на одинарных дозах снижается с 95,48 % до 94,3 %, на двойных – с 95,73 % до 94,0 %, на тройных – с 95,48 % до 93,4 %.

Известно, что процессы количественного и качественного изменения гумуса, кислотности, суммы поглощенных оснований, емкости катионного обмена, степени насыщенности основаниями и ряд других взаимосвязаны. В нашем случае внесение минеральных удобрений способствовало увеличению кислотности почвы и уменьшению содержания в ней гумуса.

Систематическое внесение минеральных удобрений на протяжении длительного времени привело к некоторому увеличению содержания питательных веществ в почве (табл. 2). С увеличением доз вносимых удобрений повышается содержание элементов питания в почве. Так, в 2010 г., если на контроле содержание минерального азота в 0–40 см слое почвы составило 13,8 мг/100 г, то в варианте с внесением двойной и тройной доз удобрения оно возрастало на 4,4 и 5,6 мг/100 г почвы соответственно.

Из полученных данных видно, что на всех вариантах опыта содержание подвижного фосфора в почве выше, чем на контроле, но наибольшее его количество наблюдается в варианте с двойными дозами и равно 14,2 мг/100 г почвы.

Таблица 2

### Влияние длительного применения минеральных удобрений на содержание в почве минеральных форм азота, подвижных соединений фосфора и калия, мг/100 г

Вариант	(N–NH <sub>4</sub> +N–NO <sub>3</sub> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
2000 г.			
000	5,3	8,28	13,21
111	8,3	10,07	14,56
222	8,9	12,85	15,25
333	10,2	13,35	16,74
HCP <sub>05</sub>	1,3	2,1	0,9
2010 г.			
000	13,8	9,85	12,01
111	16,5	12,69	14,83
222	18,2	14,25	15,94
333	19,4	15,25	18,70
HCP <sub>05</sub>	1,9	2,6	1,4

Несмотря на высокое валовое содержание, в почвах калий находится главным образом в нерастворимой, неусвояемой растениями форме, хотя в целом доступного калия во всех почвах больше, чем азота и фосфора. Валового калия черноземы Кубани в пахотном слое содержат около 2 %. Основным фондом, из которого растения, прежде всего, потребляют этот элемент, являются его водорастворимые и обменные формы. После длительного применения удобрений увеличение содержания обменного калия в почве отмечено в вариантах с внесением двойных и тройных доз удобрений.

Таким образом, на черноземе выщелоченном длительное применение минеральных удобрений оказывает существенное положительное влияние на содержание одноименных элементов питания.

## ВЫВОДЫ

1. Минеральная система удобрения полевых культур не способствует сохранению и тем более воспроизводству гумуса, содержание которого является диагностической характеристикой длительного антропогенного действия на почву. При этом полученные результаты показывают, что через 50 лет при такой интенсивности использования почвы содержание гумуса снизится на 1,5 %. В соответствии с системой показателей, оценивающих гумусное состояние почв, предложенной Л.А. Гришиной и Д.С. Орловым, это приведет к тому, что используемый в севообороте чернозем выщелоченный перейдет из низкого уровня в очень низкий [6, 7].

2. За 10 лет опыта на делянках без удобрений изменились физико-химические свойства чернозема выщелоченного. Заметно увеличилась кислотность почвы: рН солевая снижается, повышаются обменная и гидролитическая кислотности; уменьшаются: сумма поглощенных оснований, емкость катионного обмена и степень насыщенности почвы основаниями. Минеральные удобрения оказали дополнительное подкисляющее действие на почву, которое усиливалось с увеличением дозы.

3. При длительном, систематическом применении минеральных удобрений пахотный 0–20 см слой почвы обогащается минеральными формами азота, подвижными соединениями фосфора и калия. С увеличением дозы удобрений их содержание в почве закономерно повышается.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лукин, Л.Ю. Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы, зимостойкость, продуктивность озимой пшеницы на типичном черноземе / Л.Ю. Лукин, А.Н. Косилова, Г.В. Дубанина // Агрохимия. – 1994. – № 1. – С. 20–26.

2. Филон, И.И. Влияние длительного применения удобрений и орошения на физико-химические свойства черноземов типичных различного гранулометрического состава / И.И. Филон // Агрохимия. – 1997. – № 12. – С. 12–16.

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

4. Тибирькова, Г.А. Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и урожайность надземной массы кукурузы по ротациям севооборота / Г.А. Тибирькова, Н.Л. Плескова, Л.П. Крутских // Агрохимия. – 1994. – № 1. – С. 44–50.

5. Шеуджен, А.Х. Органическое вещество почвы и его экологические функции / А.Х. Шеуджен, Н.Н. Нецадим, Л.М. Онищенко. – Краснодар: Куб. ГАУ, 2011. – 202 с.

6. Шеуджен, А.Х. Система удобрения / А.Х. Шеуджен, Н.Н. Нецадим, Л.М. Онищенко. – Краснодар, 2009. – 206 с.

7. Гришина, Л.А. Система показателей гумусного состояния почв / Л.А. Гришина, Д.С. Орлов // Проблемы почвоведения. – М., 1978. – С. 42–47.

## FERTILITY AND PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE WESTERN CAUCASUS LEACHED CHERNOZEM UNDER LONG-TERM USE OF MINERAL FERTILIZERS

A.H. Sheudzhen, L.M. Onishchenko, Y.A. Isupova

### Summary

The effect of long-term (2000–2010) use of mineral fertilizers on physico-chemical and agro-chemical properties of soil under steady-state experiment on leached chernozem was studied. During the experiment the acidity of the soil on non-fertilized variant has increased. Mineral fertilizers had an additional effect on acidifying of the soil. Their application did not provide the reproduction of humus in the soil, but increased the content of mineral forms of nitrogen and mobile compounds of phosphorus and potassium.

*Поступила 30 октября 2012 г.*

УДК 631.82/6

## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА, ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА И КАЛИЯ В ПОЧВАХ ТЕРРИТОРИЙ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ЖИВОТНОВОДЧЕСКИМ КОМПЛЕКСАМ

Н.К. Лукашенко, С.Е. Головатый, Н.В. Сидорейко

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

### ВВЕДЕНИЕ

По данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия (на 01.02.2011 г.), в Республике Беларусь функционировало 198 животноводческих комплексов, из них по выращиванию и откорму свиней – 107, по выращиванию и откорму крупного рогатого скота (КРС) – 91.

Получение основной животноводческой продукции на комплексах всегда сопровождается выходом побочной продукции – жидких органических отходов. Ежегодно на животноводческих комплексах накапливается около 8,9 млн т экскрементов животных, из них 5,9 млн т – на комплексах по откорму свиней. При этом объемы жидких органических отходов постоянно возрастают. Эта проблема особенно обостряется на свиноводческих комплексах, где функционирует гидравлическая система навозоудаления. Так, за счет чрезмерного разбавления экскрементов водой объемы жидких органических отходов возрастают более чем в 5 раз [1]. Вследствие этого, с развитием промышленного животноводства проблема утилизации отходов, образующихся на комплексах по выращиванию КРС и свиней, является весьма актуальной.

Отходы животноводческих комплексов в республике, в подавляющем большинстве случаев, используются в качестве жидких органических удобрений на ограниченных территориях, непосредственно прилегающих к этим комплексам.

Бесподстилочный навоз содержит в значительных количествах макро- и микроэлементы. Его химический состав изменяется в зависимости от вида выращиваемых животных, рациона их кормления и технологии утилизации органических отходов. Более высокое содержание макроэлементов в жидком навозе КРС связано с меньшим разбавлением водой экскрементов животных, поскольку в данном случае применяется не прямой гидросмыв, а самотечная система постоянного или периодического действия. Жидкий навоз КРС из-за преобладания в рационах животных грубых кормов характеризуется более высоким содержанием калия и меньшим – азота и фосфора по сравнению с навозными стоками свиней [2]. В среднем в 1 т жидкого навоза КРС в пересчете на естественную влажность (95 %) содержание азота, фосфора и калия составляет 2,0; 1,0 и 2,5 кг соответственно, в навозных стоках свиней (98 %) – 0,8; 0,5 и 0,4 кг [3].

В последние годы наблюдается значительное сокращение площадей земель сельскохозяйственных полей орошения, вследствие чего на одни и те же поля вносятся большие объемы органических удобрений, которые нередко превышают агрономические нормы [4]. Кроме этого, нарушаются сроки внесения органических удобрений, не учитываются биологические особенности культур [1, 4]. При длительном и интенсивном применении на ограниченных площадях жидкие органические удобрения могут стать источником загрязнения почв азотом, фосфором, калием, тяжелыми металлами, концентрации которых могут превышать допустимые уровни. Ежегодное применение больших количеств жидкого навоза на одних и тех же земельных участках может оказывать отрицательное влияние на качество сельскохозяйственной продукции: вызывать занитрачивание растений, ухудшать минеральный состав кормов, нарушая соотношение между одно- и двухвалентными катионами, что в свою очередь может привести к заболеванию и интоксикации сельскохозяйственных животных [5–9].

Экологическую ситуацию вблизи животноводческих комплексов усугубляет дополнительное внесение минеральных удобрений на участках интенсивного применения жидких органических удобрений.

Актуальность исследований обусловлена необходимостью оценки степени загрязнения почв сельскохозяйственных земель, прилегающих к животноводческим комплексам, минеральным азотом, подвижным фосфором и калием для последующей корректировки доз применения минеральных удобрений на пахотных и луговых землях с учетом уровня применения жидких органических удобрений и с целью снижения дозовых нагрузок по азоту, фосфору и калию на почвенный покров.

Цель исследований – установить пространственное распределение минерального азота, подвижного фосфора и калия в почвах и оценить степень их загрязнения этими элементами в зоне влияния животноводческого комплекса по откорму КРС (ЗАО «1 Мая» Несвижского района Минской области) и свиного комплекса (ОАО «Лань–Несвиж» Несвижского района Минской области).

## **МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Объектом исследования были выбраны дерново-подзолистые легкосуглинистые почвы, расположенные в зоне влияния животноводческих комплексов.

Выборочное почвенно-экологическое обследование сельскохозяйственных земель было проведено на территории сельскохозяйственных предприятий: ЗАО «1 Мая»

Несвижского района Минской области, на территории которого функционирует животноводческий комплекс по откорму крупно рогатого скота, и ОАО «Лань–Несвиж», на территории которого функционирует свинокомплекс. Обследование проводили в 2011–2012 гг. Площадь обследованных сельскохозяйственных земель в зоне влияния животноводческого комплекса по откорму КРС ЗАО «1 Мая» составила 1080 га, в зоне влияния свинокомплекса ОАО «Лань–Несвиж» – 1560 га.

Почвенные образцы отбирали согласно методическим указаниям [10]. При этом учитывался рельеф местности, почвенный покров, тип земель. Пробы почвы отбирали в радиусе 3 км от животноводческих комплексов, глубина отбора – 0–20 см, с выделением элементарного участка площадью около 3 га, с помощью тростевого бура.

В почвенных образцах определяли азот аммонийный (ГОСТ 26489–85), азот нитратный (ГОСТ 26951–86), подвижный фосфор и калий (ГОСТ 26207–91). В растительных образцах определяли содержание общего азота [ГОСТ 13496.4–84], фосфора [ГОСТ 28902], калия [ГОСТ 30504–97].

Всего было отобрано 150 почвенных и 50 растительных образцов.

При оценке степени обеспеченности почв минеральным азотом, подвижным фосфором и калием были использованы градации, разработанные в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» [10].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты почвенно-экологического обследования сельскохозяйственных земель, прилегающих к животноводческому комплексу по откорму КРС в ЗАО «1 Мая» и к свинокомплексу в ОАО «Лань–Несвиж» Несвижского района Минской области, показали, что постоянное применение под культуры севооборота жидкого навоза и высоких доз минеральных удобрений оказало существенное влияние на изменение агрохимических свойств почв, в частности, на изменение содержания в них элементов минерального питания. Так, в ЗАО «1 Мая», где функционирует животноводческий комплекс по откорму КРС, ежегодно с органическими удобрениями на 1 га сельскохозяйственных земель вносится около 73 кг азота, 36 кг фосфора и 82 кг калия, с органическими и минеральными удобрениями – 212 кг азота, 126 кг фосфора и 302 кг калия. В ОАО «Лань–Несвиж», где функционирует свиноводческий комплекс, ежегодно на 1 га удобряемой площади с навозными стоками поступает около 86 кг азота, 50 кг фосфора и 39 кг калия, с органическими и минеральными удобрениями – 146 кг азота, 124 кг фосфора и 129 кг калия.

Установлено, что основными элементами–загрязнителями почв на обследованных территориях являются подвижный фосфор и калий, содержание которых значительно превышает оптимальные значения ( $P_2O_5$  – 300–350 мг/кг,  $K_2O$  – 200–300 мг/кг [10]).

В почвах сельскохозяйственных земель, прилегающих к животноводческому комплексу по откорму КРС (ЗАО «1 Мая»), средневзвешенное содержание минерального азота ( $N-NH_4 + N-NO_3$ ) составило 27,0 мг/кг, изменяясь на разных участках от 2,9 до 97,7 мг/кг, подвижного фосфора и калия – 204 (44–1402 мг/кг) и 390 мг/кг (34–640 мг/кг) соответственно.

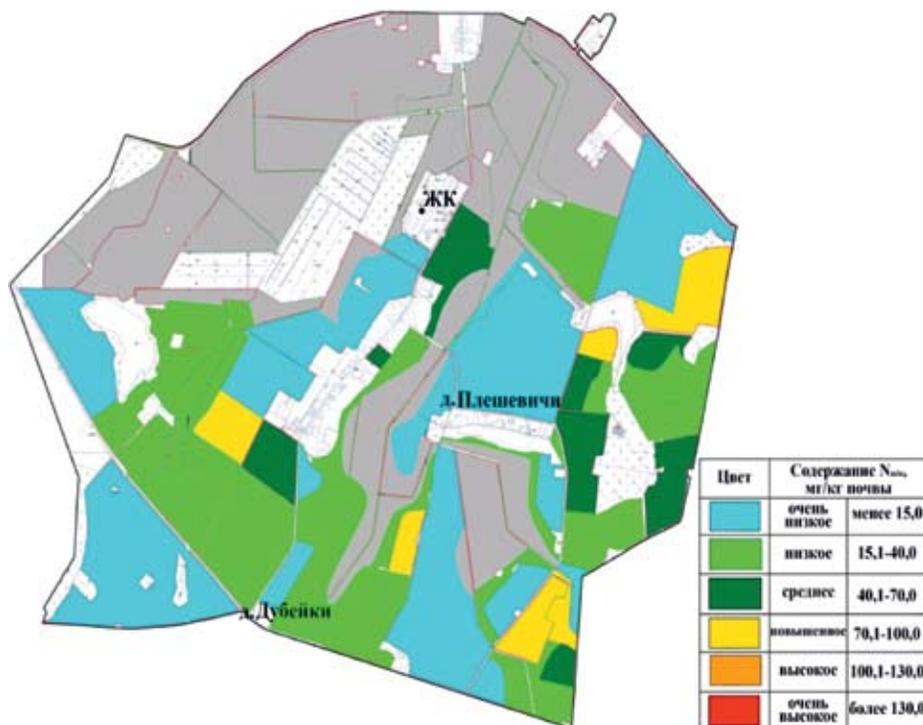
Установлено, что более 80,0 % сельскохозяйственных земель в зоне влияния животноводческого комплекса по откорму КРС характеризуется очень низ-

ким (2,9–14,3 мг/кг) и низким (13,4–39,8 мг/кг) содержанием минерального азота (картосхема 1). Несмотря на интенсивное применение жидких органических и минеральных удобрений на полях (на 1 га ежегодно вносится 213 кг азота), очень низкое и низкое содержание минерального азота в почве, вероятно, связано с трансформацией и миграцией этого элемента в нижележащие горизонты. В разных горизонтах почвы 9–38 % поступившего минерального азота закрепляется в органической форме, 27–79 % – теряется в процессе вымывания нитратов и денитрификации [11–12].

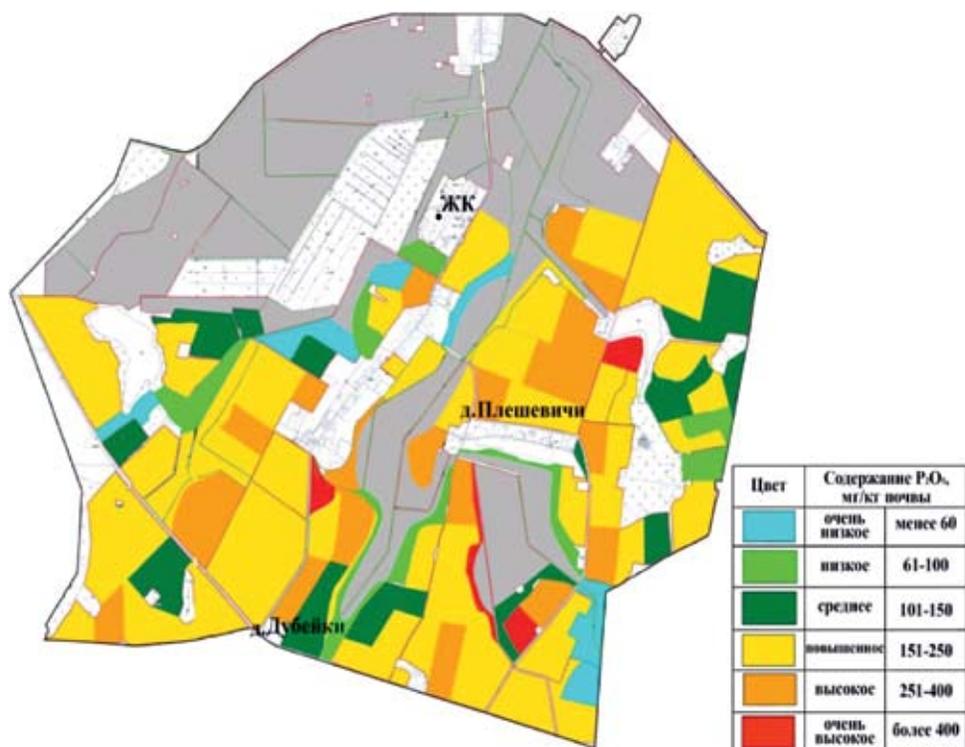
В непосредственной близости от животноводческого комплекса по откорму КРС локально встречаются почвенные участки (18,4 % от общей площади обследованных земель) со средним (41,1–68,7 мг/кг) и повышенным (70,9–97,7 мг/кг) содержанием минерального азота. Среднее и повышенное содержание минерального азота в почве установлено на полях, где возделывались многолетние травы.

Обеспеченность почвенного покрова подвижным фосфором носит неоднородный характер. Больше половины обследованных земель (59,2 %) имеют повышенное содержание подвижного фосфора, концентрация которого варьирует на разных участках от 151 мг/кг до 250 мг/кг при среднем содержании 207 мг/кг (картосхема 2).

Почвы со средним (105–150 мг/кг), низким (61–86 мг/кг) и очень низким содержанием (< 60 мг/кг)  $P_2O_5$  занимают 23,7 % от общей площади обследованных земель. Доля почв с высоким содержанием (253–373 мг/кг) подвижного фосфора составляет 13,9 %. На некоторых участках содержание  $P_2O_5$  превышает оптимальные значения в 1,1–1,2 раз.



Картосхема 1. Содержание минерального азота в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния животноводческого комплекса по откорму КРС (ЗАО «1 Мая»)



Картосхема 2. Содержание подвижного фосфора в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния животноводческого комплекса по откорму КРС (ЗАО «1 Мая»)

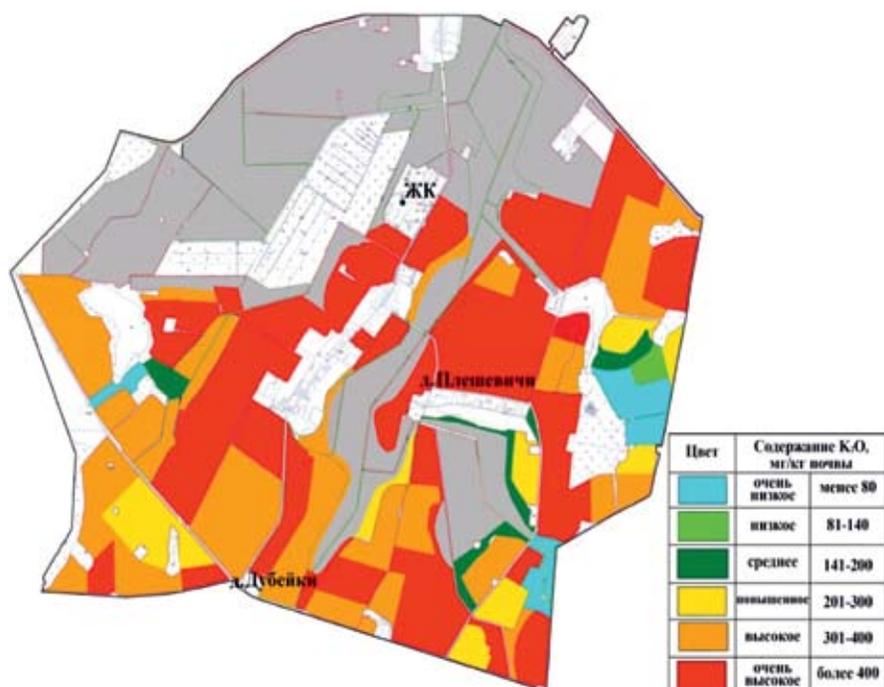
Локально выявлены участки (3,2 %) с очень высоким содержанием подвижного фосфора: концентрация P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на этих участках варьирует в пределах от 421 до 1402 мг/кг при среднем содержании 676 мг/кг и превышает оптимальные значения (300–350 мг/кг) в 1,2–4,7 раз.

Установлено, что около 84,0 % обследованных сельскохозяйственных земель в зоне влияния животноводческого комплекса по откорму КРС характеризуются очень высоким (48,4 %) и высоким (35,6 %) содержанием подвижного калия (картосхема 3). При этом концентрация подвижного калия в почвах с очень высоким его содержанием варьирует от 410 до 640 мг/кг при среднем значении 485 мг/кг, превышая оптимальное содержание (200–300 мг/кг) в 1,2–2,6 раз, в почвах с высоким его содержанием варьирует от 306 до 400 мг/кг при средневзвешенном значении 353 мг/кг, превышая оптимальное содержание в 1,1–2,0 раза.

Доля почв с повышенным содержанием (242–300 мг/кг) подвижного калия составляет 6,9 %, со средним (166–200 мг/кг), низким (100–140 мг/кг) и очень низким (< 80 мг/кг) – 23,7 %.

В зоне влияния свинокомплекса ОАО «Лань–Несвиж» наблюдается аналогичное распределение минерального азота и подвижного фосфора по группам их содержания.

В среднем концентрация минерального азота в почвах этой зоны составляет 31,2 мг/кг, варьируя на разных участках от 1,4 до 166,0 мг/кг, подвижного фосфора и калия – 198 (37–1429 мг/кг) и 318 мг/кг (8–742 мг/кг) соответственно.



Картосхема 3. Содержание подвижного калия в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния животноводческого комплекса по откорму КРС (ЗАО «1 Мая»)

Около 70 % сельскохозяйственных земель характеризуются очень низким (1,4–14,3 мг/кг) и низким (15,3–39,6 мг/кг) содержанием минерального азота. Доля почв со средним (41,1–68,7 мг/кг) содержанием минерального азота составляет 24,1 % от общей площади обследованных земель.

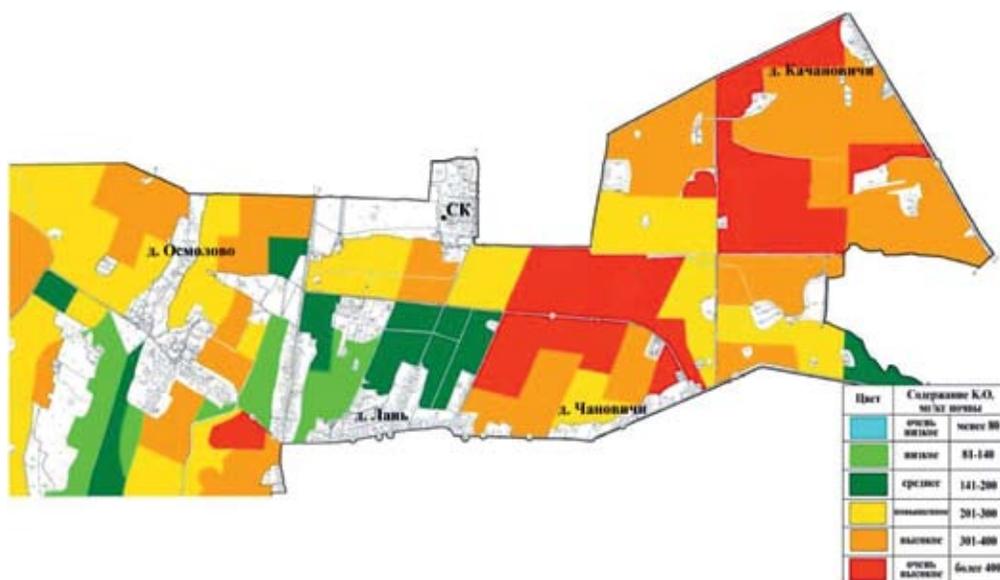
Локально встречаются участки, где содержание минерального азота в почве повышенное и очень высокое, доля таких почв составляет 4,4 % и 0,6 % соответственно. Концентрация минерального азота в почвах с повышенным содержанием варьирует в пределах 70,9–94,2 мг/кг. Очень высокое содержание элемента в почве (166,0 мг/кг) установлено только на одном участке, где возделывалась кукуруза.

В зоне влияния свинокомплекса более половины (58,1 %) обследованных сельскохозяйственных земель характеризуются повышенным (151–247 мг/кг) содержанием подвижного фосфора.

Доля почв со средним (101–150 мг/кг), низким (66–100 мг/кг) и очень низким (< 60 мг/кг) содержанием  $P_2O_5$  составляет 26,7 %.

Зафосфаченные почвы (очень высокое содержание  $P_2O_5$  431–1429 мг/кг) занимают 2,9 % площади обследованных земель, почвы с высоким содержанием (258–397 мг/кг) – 12,3 %. Содержание подвижного фосфора на полях с очень высоким его содержанием превышает оптимальные значения (300–350 мг/кг) в 1,2–4,8 раз, с высоким содержанием – в 1,1–1,3 раза.

В зоне влияния свинокомплекса количество почв с очень высоким содержанием (> 401 мг/кг) подвижного калия в 2,8 раз меньше (17,0 %), чем в зоне влияния животноводческого комплекса по откорму КРС (картосхема 4).



Картограмма 4. Содержание подвижного калия в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния свиноводческого комплекса (ОАО «Лань–Несвиж»)

Около 41,2 % обследованных земель, прилегающих к свинокомплексу, характеризовалось высоким содержанием (301–400 мг/кг) подвижного калия. Доля почв со средним и низким содержанием  $K_2O$  составляет 17,3 %, концентрация которого в почве варьирует в пределах 81–200 мг/кг.

В результате обобщения результатов маршрутных исследований (2011–2012 гг.) и данных 10 тура агрохимического обследования почв (2007–2008 гг.), проведенных в зоне влияния животноводческих комплексов, установлено, что длительное применение жидких органических удобрений и дополнительное внесение на их фоне минеральных удобрений на полях вблизи комплексов привело к увеличению содержания элементов минерального питания в почве.

В зоне влияния животноводческого комплекса по откорму КРС доля почв с очень высоким (VI) и повышенным (IV) содержанием подвижного фосфора увеличилась на 3,2 и 13,8 % соответственно по сравнению с данными 10 тура агрохимического обследования почв (2007–2008 гг.) (табл. 1). Доля почв со средним (III) и высоким (V) содержанием подвижного фосфора сократилась на 3,8 % и 21,7 % соответственно. При этом средневзвешенное содержание подвижного фосфора в почве в 2007 г. и 2011–2012 гг. было практически одинаковым и составило 204 и 215 мг/кг соответственно.

Средневзвешенное содержание подвижного калия (390 мг/кг) в 2011–2012 гг. увеличилось в 1,2 раза по сравнению с туром агрохимического обследования 2007 г. (337 мг/кг). При этом доля почв с очень высоким (VI) содержанием подвижного калия увеличилась на 28,6 % по сравнению с 10 туром агрохимического обследования (19,8 %). Количество почв с низким (II), средним (III), повышенным (IV) и высоким (V) содержанием подвижного калия сократилось на 2,6 %, 4,4 %, 6,6 % и 19,0 % соответственно.

В зоне влияния свиноводческого комплекса наблюдалась аналогичная ситуация: доля почв с высоким (V) и очень высоким (VI) содержанием подвижного

фосфора увеличилась на 1,4 % и 2,9 % соответственно по сравнению с 10 туром обследования (2008 г.) (табл. 2). При этом количество почв со средним (III) и повышенным (IV) содержанием подвижного фосфора уменьшилось на 1,8–2,3 %. Средневзвешенное содержание  $P_2O_5$  в почвах по результатам 10 тура агрохимического обследования составляло 184 мг/кг против 198 мг/кг по результатам исследований 2011–2012 гг.

Таблица 1

**Динамика содержания подвижного фосфора и калия в почвах в зоне влияния животноводческого комплекса по откорму КРС (ЗАО «1 Мая»)**

Год исследования	Площадь, га (100 %)	По группам содержания $P_2O_5$ , мг/кг почвы						Средневзвешенное значение
		I	II	III	IV	V	VI	
		<60	61–100	101–150	151–250	251–400	>400	
2007 г.	1080	=	35	170	490	385	=	215
		–	3,2	15,8	45,4	35,6	–	
2011–2012 гг.	1080	67	59	130	639	150	35	204
		6,2	5,5	12,0	59,2	13,9	3,2	
Год исследования	Площадь, га (100 %)	По группам содержания $K_2O$ , мг/кг почвы						Средневзвешенное значение
		I	II	III	IV	V	VI	
		<80	81–140	141–200	201–300	301–400	>400	
2007 г.	1080	6	43	81	146	590	214	337
		0,6	4,0	7,5	13,5	54,6	19,8	
2011–2012 гг.	1080	50	15	33	74	384	524	390
		4,6	1,4	3,1	6,9	35,6	48,4	

Примечание: в числителе – га, в знаменателе – %.

Таблица 2

**Динамика содержания подвижного фосфора и калия в почвах в зоне влияния свиного комплекса (ОАО «Лань–Несвиж»)**

Год исследования	Площадь, га (100 %)	По группам содержания $P_2O_5$ , мг/кг почвы						Средневзвешенное значение
		I	II	III	IV	V	VI	
		<60	61–100	101–150	151–250	251–400	>400	
2008 г.	1560	26	78	328	958	170	=	184
		1,7	5,0	21,0	61,4	10,9	–	
2011–2012 гг.	1560	27	94	296	906	192	45	198
		1,7	6,0	19,0	58,1	12,3	2,9	
Год исследования	Площадь, га (100 %)	По группам содержания $K_2O$ , мг/кг почвы						Средневзвешенное значение
		I	II	III	IV	V	VI	
		<80	81–140	141–200	201–300	301–400	>400	
2008 г.	1560	=	128	131	418	671	212	308
		–	8,2	8,4	26,8	43,0	13,6	
2011–2012 гг.	1560	=	80	190	382	643	265	318
		–	5,1	12,2	24,5	41,2	17,0	

Примечание: в числителе – га, в знаменателе – %.

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Средневзвешенное содержание подвижного калия в почвах сельхозземель, расположенных вблизи свиноводческого комплекса, по результатам маршрутных исследований 2011–2012 гг. было несколько выше, чем при агрохимическом обследовании почв в 2008 г., и составило 318 мг/кг против 308 мг/кг. Что, вероятно, связано с увеличением доли почв с очень высоким содержанием подвижного калия на 3,4 % по сравнению с 10 туром агрохимического обследования и уменьшением на 1,8–3,1 % доли почв с низким (II), повышенным (IV) и высоким (V) содержанием  $K_2O$ .

Результаты анализа растительных образцов (многолетних злаковых и бобовых трав), отобранных в зоне влияния двух животноводческих комплексов, показали, что содержание общего азота в растениях варьирует в пределах 1,68–3,99 % при среднем значении 2,87 % (табл. 3). Содержание фосфора в растительных образцах изменялось от 0,29 до 0,41 % при среднем содержании 0,35 %. Концентрация калия варьирует от 1,64 до 3,57 % при средневзвешенном значении 2,59 % и в 50 % отобранных образцов в 1,2–1,4 раза превышает оптимальное содержание (2,5 %) [7].

Таблица 3

### Основные статистические параметры содержания азота, фосфора и калия в сене многолетних злаковых и бобовых трав в зоне влияния животноводческих комплексов (ЗАО «1 Мая» и ОАО «Лань–Несвиж»), в сухом веществе

Элементы	Минимальное содержание, %	Максимальное содержание, %	Среднее содержание для выборки, %
N <sub>общ.</sub>	1,68	3,99	2,87±0,74
P	0,29	0,41	0,35±0,04
K	1,64	3,57	2,59±0,53

Таким образом, дальнейшее систематическое и интенсивное применение в хозяйствах жидких органических и минеральных удобрений будет способствовать большему накоплению в почвах подвижного фосфора и калия, а также миграции минерального азота в нижележащие горизонты. Вследствие этого высокие запасы элементов минерального питания могут стать причиной изменения физических, биологических, агрохимических свойств почвы, загрязнения почвенно-грунтовых вод аммонийной и нитратной формами азота и привести к формированию устойчивой зоны экологического риска.

## ВЫВОДЫ

1. В результате почвенно-экологического обследования сельскохозяйственных земель в зоне влияния животноводческого комплекса по откорму КРС ЗАО «1 Мая» и свинокомплекса ОАО «Лань–Несвиж» Несвижского района Минской области установлено, что почвы с повышенным содержанием подвижного фосфора (151–250 мг/кг) занимают около 58–60 %. Почвы с очень высоким (более 400 мг/кг) и высоким (301–400 мг/кг) содержанием подвижного калия в ЗАО «1 Мая» занимают соответственно 48,4 % и 35,6 % от площади обследованных земель, в ОАО «Лань–Несвиж» – 17,0 % и 41,2 %. Почвы с очень низким (менее 15,0 мг/кг) и низким (15,1–40,0 мг/кг) содержанием минерального азота в хозяйствах занимают 70–82 % от общей площади обследованных земель.

2. Результаты маршрутных исследований (2011–2012 гг.) показали, что в зоне влияния животноводческого комплекса по откорму КРС доля почв с очень высоким ( $> 400$  мг/кг) и повышенным (151–250 мг/кг) содержанием подвижного фосфора увеличилась соответственно на 3,2 % и 13,8 % по сравнению с данными 10 тура агрохимического обследования земель (2007–2008 гг.), в зоне влияния свиноводческого комплекса доля почв с очень высоким ( $> 400$  мг/кг) и высоким (251–400 мг/кг) содержанием подвижного фосфора – на 2,9 % и 1,4 %.

Доля почв вблизи животноводческого комплекса по откорму КРС с очень высоким ( $> 400$  мг/кг) содержанием подвижного калия увеличилась на 28,6 % по сравнению с 10 туром, с низким (81–140 мг/кг), средним (141–200 мг/кг), повышенным (201–300 мг/кг) и высоким (301–400 мг/кг) снизилась на 2,6 %; 4,4 %; 6,6 % и 19,0 % соответственно. Вблизи свинокомплекса количество почв с очень высоким содержанием  $K_2O$  ( $> 400$  мг/кг) увеличилось на 3,4 %, а с низким (81–140 мг/кг), повышенным (201–300 мг/кг) и очень высоким ( $> 400$  мг/кг) – снизилось на 1,8–3,1 % по сравнению с 10 туром агрохимического обследования почв этой зоны.

3. В зоне влияния животноводческих комплексов встречаются почвенные участки, где концентрация калия в сене многолетних трав превышает оптимальные значения (2,5 %) в среднем в 1,2–1,4 раза.

4. На основании проведенных исследований и составленных картосхем, хозяйствам, в которых функционируют животноводческие комплексы, не рекомендуется вносить органические и минеральные удобрения на поля с содержанием подвижных форм фосфора и калия выше 400 мг/кг. Минеральные и органические удобрения целесообразнее вносить на малообеспеченные подвижными формами фосфора и калия поля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тиво, П.Ф. Состояние и концепция использования животноводческих стоков / П.Ф. Тиво [и др.]. // Мелиорация переувлажненных земель: сб. науч. тр. / БелНИИМил. – Минск, 2001. – Т. XLVIII. – С. 257–269.

2. Саскевич, Л.А. Химический состав животноводческих стоков и их ирригационная оценка / Л.А. Саскевич // Мелиорация переувлажненных земель: сб. науч. тр. / БелНИИМил. – Минск, 1998. Т. XLV. – С. 274–285.

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

4. Тиво, П.Ф. Удобрительная ценность животноводческих стоков / П.Ф. Тиво, Л.А. Саскевич. // Мелиорация переувлажненных земель: сб. науч. тр. / БелНИИМил. – Минск, 2000. – Т. XLVII. – С. 257–267.

5. Кольга, Д.Ф. Использование стоков животноводческих комплексов и влияние их на почву и урожайность / Д.Ф. Кольга, В.А. Тикавый // Агропанорама. – 2002. – № 5. – С. 31–33.

6. Кидин, В.В. Динамика потребления аммонийного и нитратного азота растениями из разных горизонтов почвы / В.В. Кидин, О.И. Ионова // Агрохимия, 1992. – № 11. – С. 3–15.

7. Алексеев, Ю.В. Качество растениеводческой продукции / Ю.В. Алексеев. – Л., 1978. – 256 с.

8. Семененко, Н.Н. Влияние форм азотных удобрений на продуктивность и качество многолетних трав / Н.Н. Семененко // Эколого-экономические принципы

эффективности использования мелиоративных земель: материалы конф., посвящ. 90-летию С.Г. Скоропанова. – Минск, 2000. – С. 273–277.

9. Лапа В.В. Применение удобрений и качество урожая / В.В. Лапа, В.Н. Босак; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 120 с.

10. 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.

11. Кидин, В.В. Использование растениями и особенности трансформации аммонийного и нитратного азота в разных горизонтах дерново-подзолистой почвы / В.В. Кидин, Е.Н. Ильюк // Агрохимия. – 2006. – № 11. – С. 3–9.

12. Кидин, В.В. Использование свеклой аммонийного и нитратного азота из разных горизонтов дерново-подзолистой почвы / В.В. Кидин, Е.Н. Ильюк // Агрохимия. – 2008. – № 3. – С. 9–13.

### **SPATIAL DISTRIBUTION OF MINERAL NITROGEN, MOBILE PHOSPHORUS AND POTASSIUM FORMS IN SOILS OF TERRITORIES ADJACENT TO ANIMAL COMPLEXES**

**N.K. Lukashenko, S.E. Golovatyj, N.V. Sidoreiko**

#### **Summary**

As a result of soil-environmental research of agricultural lands adjacent to animal complexes, it's established the spatial distribution of mineral nitrogen, mobile phosphorus and potassium forms in soils.

The main soil pollutants of agricultural lands are mobile phosphorus and potassium forms, which are found in high content than the optimal values in soils.

It's found that soils which are situated in the affected zone of animal complexes and with increased content of mobile phosphorus occupy 58–60 % of the investigated lands area, a very high and high content of mobile potassium – 58–84 %, a very low–and low content of mineral nitrogen – 70–82 %.

*Поступила 20 ноября 2012 г.*

УДК 631.445

### **АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ПО ДАННЫМ КРУПНОМАСШТАБНОГО АГРОХИМИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ**

**Г.М. Сафроновская, Г.В. Пироговская, И.А. Царук**  
*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Почвенный покров Беларуси представляет собой национальное богатство, природный ресурс и главное средство сельскохозяйственного производства. Бу-

дучи высокоплодородными почвами, осушенные торфяники в результате интенсификации использования испытывали возрастающее антропогенное воздействие, которое проявлялось в утрате их особого природного свойства – буферности.

Природные условия в сочетании с антропогенным воздействием определяют интенсивность и направленность почвообразования, а также степень развития деградации торфяных почв; в зависимости от их сочетания меняются формы и масштабы деградации торфяников. Преимущественно легкий гранулометрический состав почв и почвообразующих пород на территории республики способствует развитию плоскостной эрозии и дефляции.

После вовлечения в пашню осушенных торфяников происходит уменьшение органогенного слоя, появляются деградированные торфяные почвы, пахотный слой которых (бывший органогенный) залегает непосредственно на остаточной минеральной подстилающей породе преимущественно песчаного гранулометрического состава и содержит менее 50 % органического вещества [1, 2].

Площади деградированных торфяных почв на сельскохозяйственных землях в настоящее время составляют 190,3 тыс. га, в том числе 72,4 тыс. га приходится на пахотные земли. Деградированные торфяные почвы в республике обследуются на уровне трех подтипов, которые различаются содержанием органического вещества. Деградированные торфяно-минеральные почвы содержат 20,1–50,0 % органического вещества, деградированные минеральные остаточные торфяные – 5,1–20,0 % и деградированные минеральные постторфяные – менее 5,0 % [3– 5].

В результате химизации земледелия и развития мелиорации происходят значительные изменения свойств деградированных торфяников. По агрохимическим показателям, водно-физическим свойствам и производительной способности деградированные торфяные почвы значительно отличаются от торфяных и минеральных почв. В связи с этим возникают вопросы научно обоснованного изучения, рационального использования и сохранения их плодородия.

В составе сельскохозяйственных и пахотных земель республики деградированные торфяники занимают 2,5 % и 1,5 % соответственно. Основные их площади сосредоточены в Брестской (3,3 %), Гомельской (2,8 %) и Минской (1,9 %) областях. Средняя балльная оценка плодородия данных почв изменяется от 51 балла для торфяно-минеральных на суглинках до 25,8 балла для минеральных постторфяных песчаных [2].

По сравнению с другими типами почв роль влаги в их эволюции и плодородии имеет приоритетное значение. Природное многообразие деградированных торфяных почв, резкое различие их агрохимических характеристик требуют строго дифференцированного подхода к их использованию в сельском хозяйстве. Основным показателем эффективного плодородия почв – урожайность сельскохозяйственных культур. Исследования показали, что на ее повышение оказывают влияние не только обеспеченность почв влагой и достаточным количеством питательных веществ, но и реакция почвенной среды.

Изменение агрохимических свойств деградированных торфяников по мере сработки органогенного слоя идет в сторону ухудшения их основных характеристик: подкисляется почвенный раствор, уменьшается сумма поглощенных оснований. С уменьшением содержания органического вещества концентрации химических элементов также снижаются. Обеспеченность данных почв подвижным фосфором и калием определяется количеством вносимых удобрений. Между содержанием

органического вещества в почвах, азотом, калием и кальцием установлены тесные связи. При этом слабее связи с содержанием магния и фосфора, количество которых существенно зависит от применения удобрений и доломитовой муки [6, 7].

Ранее проведенными исследованиями установлено, что известкование торфяных почв на фоне применения минеральных удобрений приводит к пополнению валовых запасов кальция и магния в почве, увеличивает содержание поглощенного кальция, магния и подвижного фосфора, снижает гидролитическую кислотность. Известкование способствует нормализации азотного обмена в растениях, повышает в почве процессы нитрификации. Свойственное данным почвам значительное содержание обменного кальция и дефицит калия способствует тому, что они удерживают меньшее количество воды, чем насыщенные калием почвы [7, 8].

Учитывая важную экологическую роль указанных почв, неустойчивость их свойств при сельскохозяйственном использовании, различия гидроморфизма и зольности, актуально проведение анализа современного состояния их плодородия в условиях интенсификации сельскохозяйственного использования.

Цель исследований состояла в проведении систематизации и анализа показателей агрохимических свойств деградированных торфяных почв Брестской и Гомельской областей по результатам 11 тура крупномасштабного агрохимического обследования.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Систематизация показателей агрохимических свойств деградированных торфяных почв проведена по результатам 11 тура (2005–2008 гг.) крупномасштабного агрохимического обследования сельскохозяйственных земель Брестской и Гомельской областей. Для проведения анализа агрохимических показателей деградированные торфяники были сгруппированы с учетом содержания в них органического вещества (менее 20 % и от 20 до 50 %), а также уровня pH (обменной кислотности). На деградированных торфяниках с содержанием органического вещества 20–50 % использованы градации агрохимических показателей для торфяных почв, менее 20 % органического вещества – градации для минеральных почв [5, 9–11].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из ранее опубликованных литературных источников следует, что в 2001 г. из 190 тыс. га деградированных торфяных почв республики в Брестской области находилось 63 тыс. га, в Гомельской – 58 тыс. га [3]. В результате проведенного нами анализа результатов 11 тура крупномасштабного агрохимического обследования сельскохозяйственных земель установлено, что к 2008 г. количество деградированных торфяников в Брестской области возросло до 79,4 тыс. га (на 16,4 тыс. га), в Гомельской – до 63,2 тыс. га (на 5,2 тыс. га) (табл. 1–4).

В общем объеме деградированных торфяных почв Брестской области на долю почв с содержанием органического вещества менее 20 % (деградированных минеральных остаточных торфяных и минеральных постторфяных) приходится 65 % (51,8 тыс. га), а в Гомельской области – 84,5 % (53,4 тыс. га). Остальные 35 % и 15,5 % (28 и 9,8 тыс. га) соответственно составляют деградированные торфяно-минеральные почвы с содержанием органического вещества 20,1–50,0 %.

По уровням кислотности деградированные торфяники Гомельской области распределяются следующим образом: 62 % от общей площади почв, содержащих менее 20 % органического вещества, имеют кислотность, приближенную к оптимальным значениям – рН 5,01–6,0. При этом, 19 % данных почв имеют рН выше 6,01, около 19 % – рН менее 5,0. Аналогично распределяются и деградированные торфяники с содержанием органического вещества более 20 %: 66 % имеют рН 5,01–6,0, 14,6 % – рН выше 6,01, 19,3 % – рН менее 5,0.

Распределение деградированных торфяников Брестской области с содержанием органического вещества менее 20 % по уровням кислотности следующее: с рН 5,01–6,0 – 56 %, с рН выше 6,01 – 26 %, с рН менее 5,0 – 18 % и соответственно с содержанием органического вещества более 20 % – 65 %, 15 % и 20 %.

Оценка уровня плодородия деградированных торфяников в значительной степени зависит от обеспеченности их органическим веществом. Анализ показал, что содержание органического вещества в данных почвах является основным фактором, который определяет количественные значения таких агрохимических показателей, как содержание подвижного фосфора и калия, обменных форм кальция, магния и марганца, подвижных форм меди и цинка, водорастворимого бора, серы.

В деградированных торфяно-минеральных почвах Брестской области, содержащих 20–50 % органического вещества, параметры содержания подвижных форм фосфора и калия изменялись в очень широких пределах – от 81 до 1710 мг/кг и от 90 до 371 мг/кг соответственно, что объясняется различным уровнем применения удобрений (табл. 2). При этом не выявлено связи между уровнем обменной кислотности почвы (рН) и средневзвешенным содержанием подвижного фосфора и калия, которое по уровням кислотности почвы варьировало в менее широких пределах – от 247 до 444 мг/кг и от 256 до 319 мг/кг соответственно, что значительно ниже оптимальных значений, принятых для торфяных почв – 600–1000 и 400–800 мг/кг, и приближалось к верхним границам оптимума, принятого для минеральных почв различного гранулометрического состава – 120–350 мг/кг и 150–300 мг/кг.

Содержание обменных форм кальция в деградированных торфяно-минеральных почвах Брестской области изменялось от 1307 до 17000 мг/кг, магния от 105 до 2058 мг/кг. Их средневзвешенные значения по уровням кислотности почвы составляли 6763–8334 мг/кг и 585–824 мг/кг соответственно, что по кальцию было выше оптимальных значений, принятых для торфяных почв – 3600–4800, и совпадало с оптимумом по содержанию магния (450–900 мг/кг).

В деградированных минеральных остаточных торфяных почвах Брестской области, содержащих менее 20 % органического вещества, отмечено более низкое содержание подвижных форм фосфора (по средневзвешенным значениям в 2,5–3,5 раза) и калия (в 1,8–1,9 раза) по сравнению с деградированными торфяно-минеральными почвами (табл. 1). Так, содержание в них подвижного фосфора изменялось от 34 до 699 мг/кг, калия от 75 до 469 мг/кг при средневзвешенных их значениях по уровням кислотности почвы 69–175 мг/кг и 136–175 мг/кг соответственно. В этих почвах отмечалась тенденция роста содержания фосфора и калия по мере снижения уровня ее кислотности с рН менее 4,5 до рН 6,51–7,0.

По средневзвешенному содержанию обменных форм кальция и магния по уровням кислотности деградированных минеральных остаточных торфяных почв Брестской области они занимают промежуточное положение между их оптимальными значениями в торфяных и минеральных почвах: 2067–3173 мг/кг кальция и 275–411 мг/кг магния.

Таблица 1

Агрохимические показатели деградированных минеральных остаточных торфяных почв (содержание органического вещества менее 20 %) при различном уровне кислотности, 11 тур, Брестская область

pH <sub>KCl</sub>	Площадь, га	мг/кг воздушно-сухой почвы									
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S*	B	Cu	Zn	Mn*	
менее 4,5	1335	69	136	2067	280	8,7	0,6	2,1	4,2	-	
		34-120	103-205	1278-2649	99-482	0,4-0,8	1,3-2,9	3,2-5,7			
4,51-5,00	8034	77	153	2792	364	17	0,6	2,9	4,6	4,1	
		48-296	123-212	2459-17000	245-910	0,5-0,8	2,4-4,2	3,5-8,9			
5,01-5,50	14354	97	154	3073	400	18	0,7	2,9	4,5	4,1	
		69-130	75-201	2651-3363	318-562	0,6-1,1	2,4-3,4	3,8-5,8			
5,51-6,00	14419	109	159	2966	433	19	0,6	3,0	4,3	5,0	
		83-153	115-211	2499-3492	324-593	0,5-0,8	2,5-4,7	3,2-6,2			
6,01-6,50	6934	114	165	3001	411	16	0,6	3,1	4,4	5,3	
		68-161	139-204	2442-3467	273-591	0,5-0,9	2,3-5,2	3,5-6,9			
6,51-7,00	3744	175	175	3088	304	17	0,7	3,4	4,2	6,7	
		80-699	93-469	2447-3897	168-543	0,5-1,2	2,3-7,0	3,2-6,8			
более 7,00	3016	135	128	3173	275	12	0,6	3,2	4,0	6,8	
		61-260	94-230	2747-4000	115-504	0,5-0,7	2,1-7,6	3,5-8,1			
Оптимальные значения для минеральных почв [4, 9]		120-350	150-300	1200-1600	150-300	12-18	0,7-1,0	3,0-5,0	5,0-10,0	6,0-10,0	

Примечание: над чертой – средневзвешенные значения, под чертой – пределы содержания, \* – определение содержания серы и марганца проводилось в отдельных районах.

Таблица 2

Агрохимические показатели деградированных торфяно-минеральных почв  
(содержание органического вещества 20–50 %) при различном уровне кислотности, 11 тур, Брестская область

pH <sub>ксл</sub>	Площадь, га	мг/кг воздушно-сухой почвы										Mn*
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S*	B	Cu	Zn			
менее 4,5	491	247	319	6763	855	13	1,1	4,5	5,6	–		
		81–498	200–461	4708–9730	300–1659	1,6–11,3	4,0–10,0					
4,51–5,00	5135	380	280	7428	656	12,2–26	1,3	5,2	6,5	0,4–8,4		
		144–787	90–424	4901–17000	323–1393	2,0–10,0	3,6–10,8					
5,01–5,50	10323	366	292	8052	725	5,4–37	1,2	6,3	6,1	0,1–13,4		
		231–511	169–415	1495–13118	105–1558	3,5–8,4	0,3–11,8					
5,51–6,00	7957	389	268	7392	746	4,6–55	1,2	6,3	6,3	12,6–25		
		253–626	193–348	560–12897	270–1869	4,1–9,7	2,0–15,5					
6,01–6,50	2787	444	283	7478	824	5,7–56	1,2	6,3	5,7	12,8–17		
		206–758	204–371	1307–14143	240–2058	3,4–8,7	0,9–11,2					
6,51–7,00	742	380	256	8334	627	31–66	1,2	6,6	7,1	13		
		181–783	144–338	5427–14305	259–1825	3,3–12,6	4,6–13,2					
более 7,00	531	420	243	7350	585	41–77	1,2	6,5	6,4	9,3		
		224–1710	116–329	5980–17000	214–1462	1,2–12,6	4,5–13,0					
Оптимальные значения для торфяных почв [4, 9]		600–1000	400–800	3600–4800	450–900	40–60	2,0–3,0	9,0–12,0	15,0–30,0	18,0–30,0		

Примечание: над чертой – средневзвешенные значения, под чертой – пределы содержания.

Таблица 3

Агрохимические показатели деградированных минеральных остаточных торфяных почв (содержание органического вещества менее 20 %) при различном уровне кислотности, 11 тур, Гомельская область

pH <sub>KCl</sub>	Площадь, га	мг/кг воздушно-сухой почвы										Mn*
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S*	B	Cu	Zn			
менее 4,5	1532	130	198	1550	281	—	1,1	2,3	3,4	—		
		83–308	137–308	316–2450	90–556	0,5–2,0	1,4–5,8	2,5–5,8				
4,51–5,00	8707	108	183	2686	383	—	1,3	2,4	3,4	—		
		70–200	96–358	806–6816	127–1083	0,7–3,1	1,4–4,2	2,2–6,9				
5,01–5,50	17008	116	218	2670	406	—	1,2	2,5	3,8	—		
		62–158	120–349	1028–5657	158–914	0,8–2,1	1,6–4,2	2,0–8,9				
5,51–6,00	15843	203	237	3373	474	—	1,3	2,8	4,6	—		
		78–692	127–541	1390–8312	186–904	0,7–2,3	1,5–5,4	2,0–9,6				
6,01–6,50	6965	216	205	3390	440	—	1,2	2,5	4,5	—		
		101–680	141–364	1146–14430	77–822	0,2–3,3	1,6–11,3	2,1–12,4				
6,51–7,00	3199	172	150	2157	287	—	0,9	2,5	3,4	—		
		60–445	99–253	597–3862	88–571	0,3–1,7	1,1–4,4	1,6–6,7				
более 7,00	164	141	123	2081	181	—	1,0	2,8	4,8	—		
		13–290	78–169	1105–4000	40–395	0,8–1,8	1,8–6,4	3,1–9,3				
Оптимальные значения для минеральных почв [4, 9]		120–350	150–300	1200–1600	150–300	12–18	0,7–1,0	3,0–5,0	5,0–10,0	6,0–10,0		

Примечание: над чертой – средневзвешенные значения, под чертой – пределы содержания.

Таблица 4

Агрохимические показатели деградированных торфяно-минеральных почв (содержание органического вещества 20–50 %) при различном уровне кислотности, 11 тур, Гомельская область

pH <sub>KCl</sub>	Площадь, га	мг/кг воздушно-сухой почвы										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S	B	Cu	Zn	Mn		
менее 4,5	164	207	445	7574	1045	–	1,8	6,3	8,9	–		
		106–407	198–866	3860–825	604–1500	–	1,3–2,3	1,1–13,7	3,4–19,1	–		
4,51–5,00	1732	359	402	6914	815	–	2,0	4,4	5,6	–		
		90–547	285–788	4479–9200	400–1908	–	0,9–3,1	2,2–10,4	3,0–9,1	–		
5,01–5,50	3490	314	359	8154	767	–	2,4	4,3	7,1	–		
		121–632	178–719	4784–13787	277–1737	–	1,4–3,5	1,4–10,0	2,6–12,0	–		
5,51–6,00	3004	406	340	7838	842	–	2,2	5,0	7,1	–		
		129–1644	247–622	4755–11260	490–1244	–	1,3–3,2	2,1–14,1	3,5–13,9	–		
6,01–6,50	1110	527	468	8145	827	–	2,0	5,4	7,3	–		
		74–1051	231–999	5782–15035	463–2073	–	1,0–3,6	3,3–17,1	4,1–17,1	–		
6,51–7,00	160	831	294	6851	595	–	1,4	3,5	5,1	–		
		173–1476	122–556	3500–12872	160–1183	–	0,7–2,4	0,9–6,3	1,2–13,4	–		
более 7,00	165	830	237	4597	350	–	1,9	3,8	9,0	–		
		210–1449	201–313	3028–6167	150–550	–	0,8–3,0	2,3–5,3	2,4–15,7	–		
Оптимальные значения для торфяных почв [4, 9]		600–1000	400–800	3600–4800	450–900	40–60	2,0–3,0	9,0–12,0	15,0–30,0	18,0–30,0		

Примечание: над чертой – средневзвешенные значения, под чертой – пределы содержания.

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

В деградированных торфяно-минеральных почвах Гомельской области, для которых принято содержание органического вещества 20–50 %, содержание подвижных форм фосфора и калия изменялось приблизительно так же, как и в аналогичных почвах Брестской области – от 74 до 1644 мг/кг и от 122 до 999 мг/кг соответственно (табл. 4). Следует отметить, что по средневзвешенным показателям подвижного фосфора в данной почве отмечается тенденция увеличения его количества с 207 мг/кг при pH менее 4,5 до 831 мг/кг при pH 6,51–7,0. Средневзвешенное содержание в указанных почвах Гомельской области подвижного фосфора только при pH 6,51–7,0 находится в оптимальных значениях для торфяных почв 600–1000 мг/кг. При этом по средневзвешенному содержанию в деградированных торфяно-минеральных почвах подвижного калия (237–468 мг/кг) аналогичной связи не наблюдается, а его значения приближаются к нижнему уровню оптимальных показателей, принятых для торфяных почв (400–800 мг/кг).

Количество обменных форм кальция в деградированных торфяно-минеральных почвах Гомельской области изменялось от 3028 до 15035 мг/кг, магния от 150 до 2073 мг/кг. Влияния уровня кислотности почвы на содержание обменных форм данных элементов не установлено. Средневзвешенные значения кальция по уровням кислотности почвы изменялись в пределах 4597–8154 мг/кг, магния – 350–1045 мг/кг, что соответствовало и даже превышало принятые оптимальные значения данных элементов для торфяных почв.

В деградированных минеральных остаточно торфяных почвах Гомельской области содержалось от 13 до 692 мг/кг подвижного фосфора при средневзвешенных значениях по уровням кислотности от 108 до 216 мг/кг, что в 1,9–3,8 раза меньше, чем в деградированных торфяно-минеральных почвах (табл. 3). Между уровнем кислотности данной почвы и содержанием в ней подвижного фосфора связи не выявлено. Содержание подвижного калия в указанных почвах изменялось в пределах от 78 до 514 мг/кг при средневзвешенных значениях по уровням кислотности от 123 до 237 мг/кг, что в 1,9 раза ниже, чем в деградированных торфяно-минеральных.

Средневзвешенное содержание по уровням кислотности деградированных минеральных остаточно торфяных почв Гомельской области обменных форм кальция составляло 1550–3390 мг/кг, магния – 181–474 мг/кг. Указанные количества кальция и магния соответствуют промежуточным значениям оптимальных концентраций данных элементов, принятых для торфяных (3600–4800 мг/кг CaO и 450–900 мг/кг MgO) и соответственно для минеральных почв (1200–1600 мг/кг и 80–150 мг/кг).

Из анализа следует, что количество подвижных форм фосфора, калия и микроэлементов в деградированных минеральных остаточно торфяных почвах, содержащих менее 20 % органического вещества, приближено к их показателям в минеральных почвах. Особенностью данного подтипа почв, отличающей их от минеральных, является более высокое содержание обменных форм кальция и магния, изменяющихся в очень широких диапазонах значений.

Оптимальное соотношение между катионами кальция и магния (Ca/Mg) в почве составляет 2–7. Нами рассчитано соотношение Ca к Mg в деградированных торфяниках по средневзвешенным значениям элементов. В деградированных почвах Брестской области данный показатель изменялся от 4,9 до 7,3 при обеспеченности их органическим веществом до 20 % и с 5,7 до 9,6 – при содержании органического вещества 20–50 %. В аналогичных почвах Гомельской области отношение кальция к магнию изменялось в пределах с 5,7 до 9,6 и с 5,2 до 9,4 соответственно.

Ранее установлено, что на торфяных почвах объективно существует предел насыщенности поглощающего комплекса обменными катионами [8]. В наших исследованиях данный факт подтверждается тем, что на деградированных торфяниках при достижении реакции почвенной среды рН 6,51–7,0 отмечается снижение содержания обменных форм кальция и магния относительно предшествующего уровня кислотности.

Анализ обеспеченности деградированных торфяников подвижными формами микроэлементов свидетельствует о том, что их средневзвешенные значения по подвижным формам меди и цинка находятся ниже оптимальных показателей, а по водорастворимому бору достигают нижних границ оптимума (табл. 1–4). Следует заметить, что в деградированных торфяных почвах Гомельской области содержание водорастворимого бора выше, чем в почвах Брестской. Так, в деградированных минеральных остаточно торфяных почвах Гомельской области средневзвешенные значения водорастворимого бора по группам кислотности почвы составляли 0,9–1,3 мг/кг, в Брестской – 0,6–0,7 мг/кг и были приближены к оптимальным значениям для минеральных почв – 0,7–1,0 мг/кг.

В деградированных торфяных почвах с более высоким содержанием органического вещества (от 20 до 50 %) содержание водорастворимого бора по Гомельской области составляло 1,4–2,4 мг/кг, в почвах Брестской несколько ниже – 1,1–1,2 мг/кг, что выше принятого для минеральных почв оптимального содержания (0,7–1,0 мг/кг) и ниже принятого для торфяных – 2,0–3,0 мг/кг.

Изменение уровня кислотности деградированных торфяных почв не оказывает существенного влияния на содержание в них водорастворимого бора.

На содержание в деградированных торфяниках подвижных форм меди и цинка наибольшее влияние оказывает обеспеченность их органическим веществом. Так, в деградированных минеральных остаточно торфяных почвах, содержащих менее 20 % органического вещества, средневзвешенные значения подвижной меди по группам кислотности почв составляли 2,1–3,4 мг/кг при оптимальных значениях в минеральных почвах 3,0–5,0 мг/кг и 9,0–12,0 мг/кг в торфяных. В деградированных торфяных почвах с более высоким содержанием органического вещества (от 20 до 50 %) средневзвешенные значения подвижной меди по группам кислотности почв были выше и составляли 3,5–6,6 мг/кг.

Аналогичная ситуация и по содержанию подвижного цинка. В деградированных минеральных остаточно торфяных и торфяно-минеральных почвах содержание цинка составляло 3,4–4,8 мг/кг и 5,1–9,0 мг/кг соответственно при его оптимальных значениях для данных подтипов почв – 5,0–10,0 и 15–30 мг/кг.

Обследование деградированных торфяных почв на содержание серы и обменного марганца проводилось только в Брестской области. При содержании в деградированных торфяниках органического вещества менее 20 % их обеспеченность обменной формой марганца составляла 4,1–6,8 мг/кг при принятых оптимальных значениях для минеральных почв 6,0–10,0 мг/кг. В деградированных торфяниках с более высоким содержанием органического вещества (20–50 %) отмечался более широкий диапазон в содержании обменного марганца – 0,1–25 мг/кг при принятых оптимальных значениях для торфяных почв 18–30 мг/кг.

Количество серы в деградированных торфяниках, содержащих менее 20 % органического вещества, изменялось от 1,7 до 22 мг/кг, а в почвах с 20–50 % органического вещества – в более широких пределах – 0,8–77 мг/кг при оптимальных значениях для минеральных и торфяных почв 12–18 и 40–60 мг/кг соответственно.

### ВЫВОДЫ

1. По результатам проведенного 11 тура крупномасштабного агрохимического обследования сельскохозяйственных земель установлено, что количество деградированных торфяников по сравнению с предшествующим туром в Брестской области возросло до 79,4 тыс. га (на 16,4 тыс. га), в Гомельской – до 63,2 тыс. га (на 5,2 тыс. га). В общем объеме деградированных торфяников на долю деградированных минеральных остаточно торфяных и минеральных постторфяных почв (с содержанием органического вещества менее 20 %) в Брестской области приходится 65 % (51,8 тыс. га), в Гомельской – 84,5 % (53,4 тыс. га). Остальные 35 % и 15,5 % (28 и 9,8 тыс. га) соответственно составляют деградированные торфяно-минеральные почвы (с содержанием органического вещества 20,1–50,0 %).

2. Систематизация и анализ агрохимических свойств деградированных торфяных почв показал, что по уровню кислотности они распределяются следующим образом: кислые (с pH менее 5,01) составляют 19–20 % от общей площади, слабокислые и близкие к нейтральным (с pH 5,01–6,0) – 62–66 %, нейтральные и слабощелочные (с pH более 6,01) – 15–19 %.

3. Уровень плодородия деградированных торфяников в значительной степени зависит от обеспеченности их органическим веществом. Содержание органического вещества в данных почвах является основным фактором, определяющим количественные значения содержания подвижных форм фосфора и калия, меди и цинка, обменных форм кальция, магния и марганца, серы. Вместе с этим широкий диапазон содержания в данных почвах фосфора, калия, кальция и магния, а также отсутствие связи между уровнем их кислотности и обеспеченностью почв данными элементами свидетельствует о значительном влиянии на их содержание применения минеральных удобрений и доломитовой муки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Смян, Н.И. Классификация, диагностика и систематический список почв Беларуси / Н.И. Смян, Г.С. Цытрон; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. – 220 с.

2. Совершенствование шкалы оценочных баллов почв для очередного тура кадастровой оценки земель в Беларуси / Л.И. Шибут [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 2(41). – С. 17–24.

3. Ефремов, А.Л. Агрохимические свойства и биоэнергетические ресурсы деградированных торфяных почв Брестского Полесья / А.Л. Ефремов, А.С. Антонюк, Г.А. Павловская // Природные ресурсы: межведомственный бюллетень. – 2003. – № 1. – С. 23–32.

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

5. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И.М. Богдевич и [др.]; под общей ред. И.М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 276 с.

6. Семененко, Н.Н. Трансформация химического состава торфяных почв под влиянием осушения и длительного сельскохозяйственного использования /

Н.Н. Семененко, Е.В. Каранкевич // Весці Нац. акад. навук Беларусі. – 2011. – № 1. – С. 45–50.

7. Лыткин, И.И. Интегрированная диагностика плодородия торфяных почв: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / И.И. Лыткин; Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН. – Москва, 2005. – 49 с.

8. Серая, Т.М. Особенности питания многолетних трав на торфяных почвах: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Т.М. Серая; НИИ почвоведения и агрохимии. – Минск, 1991. – 16 с.

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

10. Богдевич, И.М. Агрохимические показатели плодородия почв и мероприятия по их улучшению / И.М. Богдевич // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2005. – № 4. – С. 48–59.

11. Система применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры / М.В. Рак [и др.]; Институт почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 26 с.

## **AGROCHEMICAL OF PARAMETERS DESTROYED PEAT SOIL IN CONDITIONS INTENSIFICATION OF AGRICULTURAL USE**

**G.M. Safronovskaya, G.V. Pirogovskaya, I.A. Tsaruk**

### **Summary**

By results of 11 rounds large-scale agrochemical of inspection of agricultural grounds are established, that the quantity (amount) destroyed peat in comparison with the previous period in the Brest area has increased up to 79,4 thousand ra (on 16,4 thousand ra), in the Gomel area – up to 63,2 thousand ra (on 5,2 thousand ra). In total amount деградированных торфяников of the Brest area, on a share soils with the contents of organic substance less than 20 % is necessary 65 %, and in the Gomel area – 84,5 %. On levels acidic destroyed peat are distributed as follows: with pH 5,01–6,0–62–66 % from the general area, with pH less than 5,01–19–20 %, with pH more than 6,01–15–19 %.

*Поступила 13 ноября 2012 г.*

УДК 631.81:631.631.442

## **БАЛАНС ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ И ИЗМЕНЕНИЯ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО ЛЕВОБЕРЕЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ УКРАИНЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ УДОБРЕНИЯ**

**А.В. Доценко**

*Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского»,  
г. Харьков, Украина*

### ВВЕДЕНИЕ

Баланс питательных веществ в системе почва – удобрения – растение по методической схеме Прянишникова Д.Н. определяют по суммарному количеству элементов, которые поступали в систему, и выносились из нее [1, 2]. К статьям поступления относятся питательные вещества, вносимые с органическими и минеральными удобрениями, с посевным материалом, попадающие в почву с атмосферными осадками и за счет симбиотической и несимбиотической азотфиксации. При расчете величины поступления питательных элементов с семенами учитывают норму высева, содержание NPK в посевном и посадочном материале. В зависимости от типа севооборота с семенами поступает до 1,8–2,4 кг/га азота, фосфора – 1,0–1,1 кг/га, калия – 0,4–0,7 кг/га [3]. Количество питательных элементов, которое поступает с атмосферными осадками, колеблется в зависимости от наличия промышленных предприятий, выбрасывающих в окружающую среду соответствующие вещества, а также от климатических условий (роза ветров, характер осадков). Для азота, кроме этого, очень важно в каких объемах вносят в почву азотные удобрения. Условно считают, что в Полесье за счет осадков поступает 5 кг, в Лесостепи – 10, в Степи – 4 кг азота на гектар посевной площади [4]. По другим данным, с атмосферными осадками ежегодно поступает 4–10 кг/га азота, 0,4–3 кг/га фосфора и 3–10 кг/га калия [3, 5]. Симбиотическая азотфиксация неодинакова для различных бобовых культур. Например, клевер и эспарцет синтезируют свыше компенсации минерализуемого азота почвы 10–14, люцерна – 16–20 кг N на 1 т сена. В однолетних бобово-злаковых травосмесях учитывают долю бобового компонента и размеры азотфиксации данной культуры. При низких урожаях (до 10 ц/га зернобобовых, до 20 ц/га сена многолетних трав) фиксация азота в 1,5 раза выше, чем обычно. Поглощение атмосферного азота и превращение его в органическую форму осуществляется также свободноживущими почвенными микроорганизмами. Благоприятными условиями для несимбиотической азотфиксации является слабкокислая или нейтральная реакция почвенного раствора, наличие энергетического материала при широком соотношении C:N. Внешение азотных удобрений в повышенных нормах приводит к затуханию процесса несимбиотической азотфиксации. В зависимости от почвенно-климатических условий за счет несимбиотической фиксации синтезируется от 5 до 10 кг N/га. Несимбиотическая азотфиксация рассчитывается на площадях, где исключается выращивание бобовых культур и отсутствуют чистые пары [4].

К расходным статьям отнесены: вынос питательных веществ с урожаем основной и соответствующего количества побочной продукции, потери азота за счет денитрификации, потери питательных веществ из-за эрозии и промывания по почвенному профилю. В расчетах для определения потерь элементов питания используют средние показатели выноса питательных веществ на единицу основной продукции с учетом соответствующего количества нетоварной части урожая или данные ближайших научно-исследовательских учреждений. Вынос питательных веществ существенно зависит от химического состава растений, уровня урожая и его структуры и для одной культуры может колебаться в значительных пределах. Так, систематическое применение удобрений в севообороте не только повышает урожайность сельскохозяйственных культур, но и изменяет использование элементов питания, при этом увеличиваются их затраты на создание единицы

урожая, что связано с поступлением азота, фосфора и калия в растения. Улетучивание азота в атмосферу в результате денитрификации происходит в весенний и осенний периоды, когда почва переувлажнена, а температура достаточна как для микробиологических, так и для химических процессов, которые приводят к восстановлению окислов азота до молекулярной формы. Величина потерь азота за счет денитрификации при применении 45–60 кг/га действующего вещества и меньше составляет примерно 10 %, а при больших нормах – 20 %. Диапазон потерь питательных веществ в результате промывания очень широк и зависит от почвенно-климатических условий и, прежде всего, от типа водного режима. Например, в зоне чрезмерного увлажнения, особенно на почвах легкого гранулометрического состава, потери азота существенны и могут достигать 25–30 кг N/га. На богарных землях в зонах с непромывным водным режимом потери от промывания не учитывают. Для эрозионно-опасных земель учитывают потери питательных веществ от эрозионных процессов. В зависимости от степени эродированности почв потери питательных элементов составляют: азота (N) – 18–30, фосфора ( $P_2O_5$ ) – 5–10, калия ( $K_2O$ ) – 12–24 кг/га [4].

За последнее время в агропромышленном комплексе произошли значительные изменения. Не соблюдаются научно обоснованные системы севооборотов, широко внедряется минимализация обработки почвы, резко сократились объемы применения органических и минеральных удобрений, возросло количество побочной растительной продукции, запахищаемой в почву. Товарпроизводители в основном экономят средства на приобретении минеральных удобрений, стоимость которых постоянно растет. Как правило, ограничиваются применением азотных и комплексных удобрений в минимальных дозах, обеспечивающих наибольшую прибыль. Так, под урожай 2011 г. с минеральными удобрениями было внесено 1263,3 тыс. т д.в., что составляет на 1 га посевной площади 68 кг д.в., из них азота – 48,4 кг, фосфора – 10,5 кг, калия – 9,1 кг. При таких обстоятельствах во всех регионах Украины наблюдается отрицательный баланс основных элементов питания. Результаты длительных полевых исследований позволяют разработать оптимальную систему удобрения, которая обеспечит бездефицитный баланс питательных веществ, будет способствовать сохранению эффективного плодородия сельскохозяйственных земель.

Цель исследований – рассчитать баланс питательных веществ при длительном применении различных систем удобрения и установить влияние указанных факторов на агрохимические показатели чернозема типичного Левобережной Лесостепи Украины.

## **МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследования проводились на базе стационарного полевого опыта № 81 в опытном хозяйстве ГУ «Слобожанское опытное поле» Чугуевского района Харьковской области, расположенном в зоне Левобережной Лесостепи Украины. Почвенный покров представлен черноземом типичным среднегумусным легкоглинистым на лессовых породах. Внешние морфологические признаки генетических горизонтов приведены в описании профиля почвы:

Нп 0–30 см – гумусовый, хорошо гумусированный, темно–серый, зернисто–комковатой структуры, легкоглинистый, обилие корней растений, на 30 см имеется уплотненная плужная «подошва»;

- Н** 30 см – гумусовый, хорошо гумусированный, темно–серый, зернисто–комковатой структуры, легкоглинистый, обилие корней растений, на 30 см имеется уплотненная плужная «подошва»;
- Нр/к** 43–61 см – верхний переходный гумусовый горизонт, хорошо гумусированный, темно–серый с бурым оттенком, комковатой структуры, на гранях слабый глянec, легкоглинистый, бурно вскипает от 10 % HCl с глубины 55 см, встречаются корни растений, а в нижней части кротовины, переход постепенный по структуре и четкий по окраске;
- НРк** 61–89 см – переходный горизонт, неравномерно гумусированный, буровато–серый, ореховато–комковатой структуры, на гранях глянec, легкоглинистый, уплотненный, арбонатный, карбонаты в виде псевдомицелия, встречаются реликтовые капилиты и кротовины, переход четкий по окраске;
- Phk** 89–110 см – нижний переходный горизонт, слабо и неравномерно гумусированный, серовато–буро–палевый, комковатой структуры с тенденцией к вертикальной делимости, легкоглинистый, карбонатный, с глубины 85 см карбонаты в виде прожилков, встречаются кротовины, переход постепенный по структуре и окраске;
- Рк** 110 см и глубже – лес буровато–палевый с обильной карбонатной «плесенью», легкоглинистый, встречаются кротовины.

В слое 0–30 см исходной почвы содержание гумуса по методу Тюринa в модификации Симакова составляло 5,4–5,6 %, общего азота – 0,30–0,34 %, валового фосфора – 0,16–0,19 %, валового калия – 2,2 %, легкогидролизуемого азота по методу Тюринa–Кононовой – 12,2–14,0 мг/100г почвы, подвижного фосфора по методу Чирикова – 8,2–9,5 мг/100г почвы, обменного калия по методу Масловой – 21,6–22,6 мг/100г почвы, реакция почвенного раствора потенциометрическим методом близка к нейтральной –  $pH_{KCl}$  6,4–6,8. Плотность сложения почвы в слое 0–30 см составляет 1,10 г/см<sup>3</sup>, с глубиной она увеличивается до 1,16–1,22 г/см<sup>3</sup>.

Гуревич С.М. утверждал, что по гранулометрическому составу почва опытного поля должна быть отнесена к глинистой [6]. По результатам наших исследований, в гранулометрическом составе почвы преобладают фракции крупной пыли и илистых частиц. Содержание последней в слое почвы 0–30 см достигает 42,93 %. С глубиной по профилю содержание илистых частиц снижается до 39,38 % в подпахотном слое почвы и до 33,39 % в материнской породе. Согласно классификации Качинского Н.А., по гранулометрическому составу эта почва относится к легкоглинистой, а по классификации Полупана Н.И. и Соловья В.Б. – к легкосреднеглинистой, поскольку содержание физической глины в ней составляет 63,35–65,24 % [7, 8].

В течение 1970–1997 гг. изучалась эффективность различных норм и соотношений отдельных видов минеральных удобрений в интенсивном четырехпольном севообороте: кукуруза на зеленый корм, пшеница озимая, свекла сахарная, кукуруза на силос. В начале исследований дозы удобрений были одинаковыми для всех культур и составляли:

1. Контроль (без удобрений);
2.  $N_{60} P_{60} K_{60}$ ;
3.  $N_{90} P_{60} K_{60}$ ;
4.  $N_{120} P_{60} K_{60}$ ;
5.  $N_{90} P_{90} K_{60}$ ;
6.  $N_{120} P_{90} K_{60}$ ;
7.  $N_{120} P_{120} K_{60}$ ;
8.  $N_{120} P_{120} K_{120}$ .

В 1986 г. после реконструкции опыта в чередовании культур севооборота свеклу сахарную заменили кормовой, с внесением под нее в качестве фона 40 т/га навоза, а также повысили нормы минеральных удобрений и установили их конкретно под каждую культуру. После реконструкции схема опыта приобрела вид:

№	Кукуруза на з/к	Пшеница озимая	Свекла кормовая	Кукуруза МВС
1.	–	–	40 т/га навоз – фон	Последствие навоза – фон
2.	$N_{60}P_{60}K_{60}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$	$N_{90}P_{90}K_{90}$ + фон	$N_{60}P_{60}K_{60}$ + фон
3.	$N_{90}P_{60}K_{60}$	$N_{90}P_{60}K_{60}$	$N_{120}P_{90}K_{90}$ + фон	$N_{90}P_{60}K_{60}$ + фон
4.	$N_{120}P_{60}K_{60}$	$N_{120}P_{60}K_{60}$	$N_{120}P_{120}K_{90}$ + фон	$N_{120}P_{60}K_{60}$ + фон
5.	$N_{90}P_{90}K_{90}$	$N_{90}P_{90}K_{90}$	$N_{120}P_{90}K_{120}$ + фон	$N_{90}P_{90}K_{90}$ + фон
6.	$N_{120}P_{90}K_{90}$	$N_{120}P_{90}K_{90}$	$N_{120}P_{120}K_{120}$ + фон	$N_{120}P_{90}K_{90}$ + фон
7.	$N_{120}P_{120}K_{90}$	$N_{120}P_{120}K_{90}$	$N_{160}P_{160}K_{160}$ + фон	$N_{120}P_{120}K_{90}$ + фон
8.	$N_{120}P_{120}K_{120}$	$N_{160}P_{120}K_{120}$	$N_{160}P_{120}K_{160}$ + фон	$N_{120}P_{120}K_{120}$ + фон

Площадь опытной делянки составляла 78 м<sup>2</sup> (13 м x 6 м), повторность вариантов – 4–кратная.

Баланс питательных веществ рассчитывали за различные периоды исследований по отдельным вариантам с различным уровнем применения удобрений. Параметры агрохимических свойств почвы определяли в архивных образцах, отобранных с глубины 0–30 см до начала исследований (1969 г.), в конце 4–й ротации севооборота (1985 г.) перед его реконструкцией, а также в конце 7–й ротации севооборота (1997 г.) после закрытия опыта.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что на контроле (без удобрений) за период 1970–1985 гг. сформировался отрицательный баланс всех элементов питания: азот – 1402 кг/га, фосфор – 521 кг/га, калий – 1767 кг/га (табл. 1). В пересчете на один год: азот – 87,6 кг/га, фосфор – 32,6 кг/га, калий – 110,5 кг/га. При минеральной системе удобрения с внесением  $N_{60}P_{60}K_{60}$  за год дефицит азота и калия сохранился, а по фосфору сложился положительный баланс (18,4 кг/га). С увеличением ежегодной нормы удобрений до  $N_{120}P_{90}K_{60}$  и  $N_{120}P_{120}K_{120}$  дефицит азота и калия не устраняется, а избыток фосфора возрастает до 47,2 и 76,4 кг/га соответственно.

Органическая система удобрения со среднегодовой нормой 10 т/га навоза за период 1986–1997 гг. не обеспечила поступление достаточного количества азота, фосфора и калия для компенсации потерь данных элементов из почвы. При органо-минеральной системе удобрения с внесением на фоне навоза  $N_{68}P_{68}K_{68}$  отрицательное сальдо общего выноса азота по отношению к его общему поступлению составило 28,2 кг/га, калия – 39,5 кг/га, одновременно достигнут положительный баланс фосфора – 50,5 кг/га в год. Сочетание минеральных удобрений в норме  $N_{120}P_{98}K_{98}$  и 10 т/га навоза позволило сформировать бездефицитный баланс азота и фосфора и существенно сократить ежегодный недостаток калия до 13,8 кг/га. Увеличение нормы минеральных удобрений до  $N_{140}P_{120}K_{130}$  на фоне навоза обеспечило полную компенсацию питательных веществ, вынесенных из почвы. На фоне 10 т/га навоза фосфорные удобрения целесообразно применять в дозах  $P_{25-30}$  ежегодно.

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Таблица 1

### Баланс питательных веществ при длительном внесении удобрений, кг/га

Вариант (суммарное количество удобрений, кг/га д.в.)	За периоды			Среднее за год		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1970–1985 гг.						
Без удобрений (контроль)	-1402	-521	-1767	-87,6	-32,6	-110,5
N <sub>960</sub> P <sub>960</sub> K <sub>960</sub>	-969	294	-1282	-60,6	18,4	-80,2
N <sub>1920</sub> P <sub>1440</sub> K <sub>960</sub>	-348	755	-1360	-21,8	47,2	-85,0
N <sub>1920</sub> P <sub>1920</sub> K <sub>1920</sub>	-385	1222	-443	-24,0	76,4	-27,7
1986–1997 гг.						
Навоз 120 т/га (фон)	-689	-97	-849	-57,4	-8,1	-70,7
N <sub>810</sub> P <sub>810</sub> K <sub>810</sub> + фон	-338	607	-474	-28,2	50,5	-39,5
N <sub>1440</sub> P <sub>1170</sub> K <sub>1170</sub> + фон	39	959	-166	3,3	79,9	-13,8
N <sub>1680</sub> P <sub>1440</sub> K <sub>1560</sub> + фон	190	1220	174	15,8	101,7	14,5

Таблица 2

### Влияние длительного применения удобрений на содержание подвижных соединений фосфора и калия и на реакцию почвенного раствора в слое почвы 0–30 см

Вариант (суммарное количество удобрений, кг/га д.в.)	Год отбора образца	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100 г почвы	K <sub>2</sub> O, мг/100 г почвы	pH <sub>KCl</sub>
Исходная почва	1969	8,4	10,5	6,8
Контроль (без удобрений)	1985	8,4	10,1	6,5
N <sub>960</sub> P <sub>960</sub> K <sub>960</sub>		11,2	10,2	6,4
N <sub>1920</sub> P <sub>1440</sub> K <sub>960</sub>		14,8	10,9	6,3
N <sub>1920</sub> P <sub>1920</sub> K <sub>1920</sub>		16,2	12,1	6,3
Навоз 120 т/га (фон)	1997	10,3	10,5	6,8
N <sub>1770</sub> P <sub>1770</sub> K <sub>1770</sub> + фон		14,8	11,4	6,6
N <sub>3360</sub> P <sub>2610</sub> K <sub>2130</sub> + фон		19,4	13,9	6,4
N <sub>3600</sub> P <sub>3360</sub> K <sub>3480</sub> + фон		22,2	15,6	6,4
НСР <sub>05</sub>		1,15	1,07	0,25

Примечание: навоз вносили в период 1986–1997 гг.

Положительный баланс фосфора на фоне применения минеральных удобрений в суммарных нормах N<sub>960</sub>P<sub>960</sub>K<sub>960</sub>–N<sub>1920</sub>P<sub>1920</sub>K<sub>1920</sub> способствовал увеличению содержания подвижных соединений фосфора с 8,4 мг на контроле до 11,2–16,2 мг/100 г почвы (табл. 2). При отрицательном балансе содержание подвижных соединений калия по сравнению с контролем существенно увеличилось только при внесении 1920 кг/га д.в. калийных удобрений и составило 12,1 мг/100 г почвы. После реконструкции опыта под влиянием применения 120 т/га навоза за период 1986–1997 гг. содержание подвижных соединений фосфора и калия на контроле составило 10,3 и 10,5 мг/100 г почвы, что соответственно на 1,9 и 0,4 мг больше, чем до реконструкции. На фоне навоза применение минеральных удобрений в суммарных нормах N<sub>1770</sub>P<sub>1770</sub>K<sub>1770</sub>–N<sub>3600</sub>P<sub>3360</sub>K<sub>3480</sub> способствовало увеличению содержания подвижного фосфора до 14,8–22,2 мг, а подвижного калия – до 11,4–15,6 мг/100 г почвы.

Установлено, что в начале исследований в слое почвы 0–30 см показатель  $pH_{KCl}$  составлял 6,8 единиц, что свидетельствует о близкой к нейтральной реакции почвенного раствора. После четырех ротаций севооборота этот показатель уменьшился на контроле (без удобрений) до 6,5 единиц, что характерно для земель, вовлеченных в интенсивное сельскохозяйственное использование, и обусловлено увеличением выноса подвижных соединений кальция из почвы. После 16-летнего применения минеральных удобрений показатель  $pH_{KCl}$  по сравнению с контролем уменьшился на 0,1–0,2 единицы, то есть даже на высокобуферном черноземе прослеживается тенденция к слабому подкислению почвы. Через 12 лет, по завершении 7-й ротации севооборота, благодаря применению 120 т/га навоза реакция почвенного раствора на контроле приблизилась к нейтральной –  $pH_{KCl}$  6,8. На удобренных вариантах также отмечена тенденция по повышению показателя  $pH_{KCl}$  под воздействием навоза.

## ВЫВОДЫ

1. Для достижения бездефицитного баланса питательных веществ на черноземе типичном легкоглинистом в условиях Левобережной Лесостепи Украины среднегодовые нормы минеральных удобрений должны составлять не менее  $N_{145}P_{50}K_{150}$ , а на фоне 10 т/га навоза – не менее  $N_{125}P_{25}K_{120}$ .
2. Результаты исследований подтверждают возможность создания в результате интенсивной химизации на черноземе типичном легкоглинистом высоких агрофонов в отношении подвижных соединений фосфора и использования в дальнейшем их последствий.
3. Увеличение содержания подвижных соединений калия даже при дефицитном его балансе подтверждает способность растений использовать из почвы необменно-поглощенные соединения калия.
4. Использование интенсивного севооборота и длительное применение минеральных удобрений привело к подкислению почвенного раствора чернозема типичного на 0,4–0,5 единиц, которое можно ослабить ежегодным внесением 10 т/га навоза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Петербургский, А.В. Баланс питательных веществ и урожайность сельскохозяйственных культур в земледелии СССР / А.В. Петербургский, В.И. Никитишен // Повышение плодородия почв и продуктивности сельского хозяйства при интенсивной химизации. – М., 1983. – С. 5–16.
2. Столяр, В.М. Баланс питательных веществ в земледелии / В.М. Столяр, Л.С. Медведева // Справочник агрохимического и агроэкологического состояния почв Украины / редкол.: Б.С. Носко [и др.]. – К.: Урожай, 1994. – С. 95–99.
3. Плодородие почвы и баланс питательных веществ в кукурузных севооборотах короткой ротации / А.Я. Гетманец [и др.] // Агрохимия. – 1986. – № 11. – С. 50–54.
4. Дацько, Л.В. Расчет баланса питательных веществ в земледелии Украины / Л.В. Дацько // Пособие украинского хлебороба 2008. – К.: Академпрес, 2008. – С. 65–68.
5. Научные основы агропромышленного производства в зоне Лесостепи Украины / М.В. Зубец [и др.]. – К.: Логос, 2004. – С. 104–106.

6. Гуревич, С.М. Действие минеральных удобрений на мощном черноземе / С.М. Гуревич. – М.: Госхимиздат, 1962. – С. 32–34.

7. Кауричев, И.С. Состав, свойства и режимы почв / И.С. Кауричев // Почвоведение. – М.: Колос, 1982. – С. 32–35.

8. Полупан, Н.И. Классификация почв Украины / Н.И. Полупан, В.Б. Соловей, В.А. Величко. – К.: Аграрная наука, 2005. – С. 61–166.

## THE NUTRIENTS BALANCE AND AGROCHEMICAL PROPERTIES CHANGES OF TYPICAL CHERNOZEM IN LEFT-BANK FOREST- STEPPE OF UKRAINE UNDER THE INFLUENCE OF DIFFERENT FERTILIZATION SYSTEMS

A.V. Dotsenko

### Summary

The nutrients balance of typical chernozem in Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine under the influence of different fertilization systems is calculated. The quantitative changes of agrochemical soil parameters at different load levels of agrochemicals are considered.

*Поступила 3 декабря 2012 г.*

УДК 631.8:633.491:631.445.2

## АГРОХИМИЧЕСКАЯ И АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКИ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ПОЛЕСЬЯ

Л.В. Потапенко<sup>1</sup>, М.А. Кризская<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Институт сельскохозяйственной микробиологии и агропромышленного  
производства Национальной академии аграрных наук Украины*

*<sup>2</sup>Институт агроэкологии и природопользования  
Национальной академии аграрных наук Украины*

### ВВЕДЕНИЕ

Потенциал современных сортов украинской селекции позволяет иметь урожайность картофеля на уровне 30–35 т/га. Наиболее значительные площади под этой культурой на Полесье –Черниговская область, которая была и остается до настоящего времени одним из основных регионов ее его производства. В хозяйствах всех категорий собственности высаживается ежегодно около 100 тыс. га картофеля.

В последние 10–12 лет количество внесенных под картофель минеральных удобрений уменьшилось примерно в 8 раз, органических – в 4–5 раз, что обусловило отрицательный баланс основных элементов питания, дефицит которого в сумме НРК составляет в среднем 100–120 кг ежегодно. В связи с этим поиск альтерна-

тивных навозу органических удобрений, в частности, и биологизация земледелия в целом, в том числе и картофелеводства, является актуальным направлением исследований. Предварительными исследованиями показано, что при выращивании картофеля целесообразна сидерация и внесение компостов многоцелевого назначения, которые получены путем биоферментации, что дает возможность в 4–5 раз относительно навоза снизить затраты на транспортировку и внесение органических удобрений. Также промежуточная сидерация уменьшает процессы инфильтрации и потери биогенных элементов за пределы корнеобитаемого слоя почвы [1].

Расчеты показывают, что простое воспроизводство при выращивании продовольственного картофеля достигается в настоящее время при урожайности 15–16 т/га. Чтобы обеспечить расширенное воспроизводство отрасли с рентабельностью больше 50 % необходимо получать 20–23 т/га. Такая урожайность позволяет получать с каждого гектара 8–10 к.ед. [2].

Государственная политика Украины в агропромышленном комплексе предусматривает формирование целенаправленной системы организационно-экономических и научно-технических мер, которые планируется реализовать в процессе создания эффективных технологий с максимальным уровнем биологизации, на что и были направлены настоящие исследования [3].

## **МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Для реализации этой цели были поставлены следующие задачи:

а) дать агрохимическую и агроэкологическую оценки разным технологиям удобрения картофеля (традиционной – навоз + NPK и альтернативным – сидерат + NPK и Биопроферм + NPK) на почвах дерново-подзолистого типа в условиях достаточного увлажнения;

б) с использованием стационарной лизиметрической установки определить потери биогенных элементов и лабильного гумуса при разных системах удобрения картофеля за пределы корнеобитаемого слоя почвы; изучить агротехнические приемы их регулирования;

в) рассчитать баланс основных питательных веществ в системе «почва–удобрение–растение» на предмет агрохимического и экологического равновесия в круговороте веществ в земледелии.

Полевые и лизиметрические исследования были проведены в 2004–2010 гг. в Черниговском институте агропромышленного производства на дерново-среднеподзолистых пылевато-супесчаных, среднеокультуренных почвах, опытные поля которого размещены в Левобережном Полесье Украины.

Погодные условия за годы проведения исследований имели существенные различия по количеству выпавших осадков и температурному режиму. За период вегетации в 2006 г. выпало 324 мм осадков, в 2009 г. – 171 мм, в остальные годы количество осадков было в пределах 233–225 мм.

Показатели среднесуточной температуры в годы исследований также отличались между собой: самыми холодными годами следует считать 2004 и 2010 гг. со среднесуточной температурой за вегетацию 15,5 –15,3 °С, в остальные годы температура за вегетационный период была в пределах 17,0–17,5 °С.

Основные агрохимические показатели пахотного и подпахотного слоев почвы стационарного полевого и лизиметрического опытов были идентичны (табл. 1).

**Агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы  
(слой 0–40 см) полевого и лизиметрического опытов**

Показатели	Глубина отбора почвенных образцов, см	
	0–20	20–40
рН солевой вытяжки	4,9	4,6
Гидролитическая кислотность (по Каппену), м–экв. /100 г почвы	2,8	3,1
Сумма поглощенных оснований, м–экв./ 100 г почвы	54	48
Гумус (по Тюрину), %	1,1	0,7
Фосфор подвижный P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (по Кирсанову), мг/100 г почвы на	17,9	14,0
Калий обменный K <sub>2</sub> O (по Масловой), мг/100 г почвы	7,0	7,0

Лизиметрическая установка построена в 1970 г. согласно индивидуальному проекту Института гидрогражданпромстроя в соответствии с методическими указаниями Б.А. Голубева и И.Ф. Аринушкиной [4, 5]. По конструкции лизиметры бетонные насыпного типа с учетом генетических горизонтов; площадь ячейки – 3,8 м<sup>2</sup>, глубина – 155 см, масса почвы в лизиметрах – 10,5 т.

Почвенный фильтрат анализировали по общепринятой методике [5].

Площадь посевной делянки в полевом опыте – 120 м<sup>2</sup>, учетная – 60 м<sup>2</sup>, повторность – 4-кратная, способ размещения делянок рендомизированный. Стационарный опыт включал 16 вариантов с разными видами органических удобрений и их сочетаний с минеральными. В исследованиях применялась выборка отдельных вариантов стационарного опыта, система удобрения которых приведена при изложении урожайных данных.

Характеристика материалов, которые изучались в опыте: полупревший подстилочный навоз крупного рогатого скота со средним содержанием азота 0,42 %, фосфора – 0,25, калия – 0,52 % (на сырое вещество); минеральные удобрения в виде N<sub>аа</sub>, P<sub>ср</sub>, K<sub>юк</sub>. Биопроферм – экологически чистое органическое удобрение фирмы БИОЗ, производится методом природной биологической ферментации с органического сырья, компонентами которого являются навоз, птичий помет, торф, солома и другие органические материалы. Содержание основных элементов в Биопроферме: азота– 3,2 %, фосфора – 2,5 %, калия – 1,5 %, кальция – 2 %, кислотность в пределах 6,3–7,2 ед. рН.

В качестве зеленого удобрения использовался узколистый люпин Кристалл, который в среднем за годы исследований обеспечил урожайность надземной массы 21,6 т/га. Срок посева сидерата – первая декада августа. В опытах выращивался картофель Малыч. Агротехника – общепринятая для зоны.

Содержание в клубнях показателей качества картофеля (содержание сухого вещества, крахмала, нитратного азота, витамина С) анализировали согласно методическим указаниям [6].

Полевые исследования проводились в севообороте: рожь озимая – картофель – пшеница яровая – люпин. Учет урожая сплошной поделяночный, полученные результаты обрабатывались методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [7]. Баланс основных элементов питания рассчитывался по методике Института почвоведения и агрохимии им. А.М. Соколовского НААН [8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Азотный режим почвы.** Установлено, что этот показатель изменялся в годы проведения исследований в зависимости от увлажнения и температурного режима, однако на основе обобщения содержания в почве нитратного азота ( $\text{NO}_3$ ) выявлены следующие закономерности:

а) по варианту без удобрений в пахотном слое почвы отмечена тенденция уменьшения нитратного азота на протяжении вегетации в силу усвоения его растениями (табл. 2, вар. 1).

б) зеленые удобрения в сочетании с минеральными способствовали оптимизации азотного режима как в пахотном, так и в подпахотном слоях почвы (вар. 3);

в) навоз в сочетании с туками способствовал увеличению содержания нитратного азота в пахотном слое почвы; аналогичная закономерность отмечена и по варианту Биопроферм + NPK;

г) наиболее высокое содержание нитратного азота 172–237 мг/кг почвы в пахотном слое и 65–73 мг/кг в подпахотном отмечено по варианту сидерат + Биопроферм + NPK, что выше контроля в 2,2–2,4 раза. Зеленое удобрение в сочетании с туками, как правило, обеспечивало более высокий азотный режим в почве в период всходы – цветение картофеля.

Таким образом, альтернативные системы удобрения не уступали традиционной в аспекте нитратного режима пахотного слоя почвы.

Таблица 2

**Динамика азота нитратного (N- $\text{NO}_3$ ) в пахотном и подпахотном слоях дерново-подзолистой супесчаной почвы под картофелем, мг/кг почвы (среднее за 2007–2009 гг.)**

№ п/п	Вариант опыта	Слой почвы, см	Фазы роста и развитие растений		
			всходы	цветение	отмирание ботвы
1	Без удобрений (контроль)	0–20	78	54	52
		20–40	31	24	21
2	Навоз + NPK	0–20	133	164	198
		20–40	35	33	37
3	Сидерат + NPK	0–20	150	189	202
		20–40	61	65	55
4	Биопроферм + NPK	0–20	116	180	185
		20–40	28	27	25
5	Сидерат + Биопроферм + NPK	0–20	172	231	237
		20–40	67	73	65
± m			2,1	1,4	2,5

**Фосфорный режим почвы.** Как известно, фосфор необходим для роста картофеля и формирования клубней, он определяет процессы образования крахмала и является критичным на ранних стадиях роста и развития растений. Высокий и устойчивый урожай картофеля можно получить при достаточном обеспечении почвы фосфором.

Нашими исследованиями установлено: при традиционной системе удобрения картофеля содержание фосфора в почве в период его вегетации было на уровне 210–224 мг/кг почвы при условии содержания фосфора на опытном участке в

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

пределах 160–180 мг/кг; зеленое удобрение в сочетании с минеральными, как правило, несколько превосходило вариант с традиционной системой удобрения по содержанию фосфора в первую половину вегетации и несколько уступало во вторую половину вегетации. Альтернативная система удобрения Биопроферм + NPK способствовала наиболее высокому содержанию фосфора в течение всей вегетации (табл. 3).

Таблица 3

### Динамика подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) в пахотном и подпахотном слоях дерново-подзолистой супесчаной почвы, мг/кг почвы (среднее за 2007–2009 гг.)

№ п/п	Вариант опыта	Слой почвы, см	Фазы роста и развития растений		
			всходы	цветение	отмирание ботвы
1	Без удобрений (контроль)	0–20	160	152	133
		20–40	98	70	79
2	Навоз + NPK	0–20	211	210	224
		20–40	112	99	105
3	Сидерат + NPK	0–20	226	223	191
		20–40	135	136	130
4	Биопроферм + NPK	0–20	218	237	204
		20–40	88	87	77
5	Сидерат + Биопроферм + NPK	0–20	248	247	223
		20–40	143	130	118
± m			1,3	1,7	1,8

**Калийный режим.** Картофель – калиелюбивая культура, с урожаем клубней 30 т/га его вынос составляет 240–260 кг/га. Калий повышает засухоустойчивость растений, устойчивость к болезням, улучшает сохранность картофеля и кулинарные качества. Равновесие между необменным и обменным калием почвенного раствора зависит от ряда факторов: погодных условий, почвенной кислотности, обеспеченности калийными удобрениями, активности поглощения растениями калия.

В среднем за годы исследования по содержанию в почве обменного калия установлены следующие закономерности: по варианту без удобрений в пахотном слое отмечено наиболее высокое содержание калия в период цветения и самое низкое – в конце вегетации культуры. Традиционная система удобрения превышала контроль в 1,4–2,1 раза, альтернативные – способствовали наиболее высокому содержанию обменного калия в почве в период всходы-цветение и несколько уступали традиционной системе удобрения в период отмирания ботвы (табл. 4). Наиболее высокое содержание обменного калия в пахотном слое почвы в опытах отмечалось при максимальном насыщении системы удобрениями (вариант – сидерат + Биопроферм + NPK) на уровне 147–130 мг/кг, что выше контроля в период всходов в 1,9 раза, в фазу цветения – в 1,5, в период накопления клубней – в 1,6 раза.

Таким образом, смешанная система удобрения сидерат + Биопроферм + NPK не только удовлетворяла культуру картофеля в обменном калии в течение вегетации, но и повышала содержание в почве калия после вегетации на 55–70 мг/кг.

**Динамика обменного калия ( $K_2O$ ) в пахотном и подпахотном слоях дерново-подзолистой супесчаной почвы, мг/кг почвы (среднее за 2007–2009 гг.)**

№ п/п	Вариант опыта	Слой почвы, см	Фаза роста и развития растений		
			всходы	цветение	отмирание ботвы
1	Без удобрений (контроль)	0–20	79	90	60
		20–40	62	68	59
2	Навоз + NPK	0–20	107	115	128
		20–40	77	85	95
3	Сидерат + NPK	0–20	116	134	115
		20–40	79	85	96
4	Биопроферм + NPK	0–20	130	121	122
		20–40	77	81	89
5	Сидерат + Био-проферм + NPK	0–20	147	137	130
		20–40	74	78	93
± m		–	2,0	1,4	1,2

**Биологическая активность почвы.** Данный показатель характеризует интенсивность биологических процессов, протекающих в почве, и зависит от физико-химических и биологических ее особенностей, степени увлажнения, содержания органического вещества, структуры, питательного режима. Немецкие ученые «дыхание» почвы увязывают со «здоровьем почвы».

Несмотря на значительные изменения в годы исследований, обобщенные по годам материалы позволяют нам определить некоторые закономерности, а именно: в первую половину вегетации картофеля наиболее интенсивно протекают процессы дыхания почвы при использовании сидерата и Биопроферма, после цветения картофеля – по варианту с навозом (табл. 5).

**Влияние различных видов удобрений на выделение  $CO_2$  дерново-подзолистой супесчаной почвой по основным фазам роста и развития картофеля, среднее за 2007–2009 гг.**

№ п/п	Вариант опыта	Фаза роста и развития картофеля							
		интенсивный рост		бутонизация		цветение		Отмирание ботвы	
		мг/м <sup>2</sup> в час	в % к контролю	мг/м <sup>2</sup> в час	в % к контролю	мг/м <sup>2</sup> в час	в % к контролю	мг/м <sup>2</sup> в час	в % к контролю
1	Без удобрений (контроль)	96	100	123	100	124	100	115	100
2	$N_{120} P_{90} K_{120}$	141	147	161	131	173	140	133	116
3	Сидерат	185	193	203	165	230	185	157	137
4	Биопроферм	160	167	193	157	218	176	195	170
5	Навоз	111	116	121	98	175	141	183	159
± m		2,8–4,8	–	3,0–8,0	–	4,9–8,2	–	5,2–6,0	–

**Продуктивность картофеля в зависимости от системы удобрения.** Принято считать, что около 50 % прироста урожая у культуры картофеля достигается за счет рациональной системы удобрения.

В Украине в 1980–1990 гг. количество минеральных удобрений под картофелем в расчете на 1 га площади в среднем составляло 230–240 кг/га д.в. в сочетании с 40–50 т/га навоза (такую систему удобрения следует считать традиционной); в 1996–2001 гг. количество минеральных удобрений снизилось до 70–80 кг/га, навоза – до 5 т/га; в настоящее время делаются попытки изыскать альтернативные системы удобрения с целью получения урожайности не ниже 16 т/га, поскольку в последние годы система удобрения культуры картофеля на Полесье характеризуется отсутствием основного удобрения под вспашку, минимальным внесением сложных удобрений в рядки и внесением азотных удобрений в подкормку при практически полном отсутствии навоза, что обеспечивает уровень урожайности 10–12 т/га.

В наших исследованиях картофель размещали в севообороте: люпин желтый – рожь озимая – картофель – пшеница яровая, то есть удельный вес картофеля в севообороте составлял 25 %.

При относительно высокой урожайности на контроле в среднем за пять лет 14,3 т/га (табл. 6, вар. 1) традиционная система удобрения обеспечила уровень урожайности 28 т/га, что выше контроля примерно в 2 раза, при альтернативных системах удобрения урожайность была в пределах 26–28 т/га, что практически соответствует традиционной системе удобрения, при максимальном насыщении удобрениями (сидерат + Биопроферм + NPK) продуктивность картофеля составляла 30–40 т/га, в среднем за годы исследований – 33,5 т/га, что выше контроля в 2,3 раза.

Таблица 6

### Урожайность картофеля в зависимости от системы удобрения

№ п/п	Вариант опыта	Урожайность клубней по годам, т/га					Среднее за 2004–2008 гг., т/га	Прибавка к контролю	
		2004	2005	2006	2007	2008		т/га	%
1	Контроль (без удобрений)	16,3	11,2	14,7	19,7	9,6	14,3	–	100
2	Навоз + NPK	34,5	20,5	28,8	25,9	30,4	28,0	13,7	196
3	Сидерат + NPK	26,3	25,2	23,6	28,9	24,2	25,6	11,3	179
4	Биопроферм + NPK	34,0	24,0	26,8	27,0	28,6	28,1	13,8	197
5	Сидерат + Биопроферм + NPK	40,2	30,2	30,6	34,4	32,0	33,5	19,2	234
	HIP 0,95 т/га	1,52	2,02	2,40	1,60	2,14	–	–	–

Альтернативные системы удобрения по влиянию на показатели качества клубней не уступали традиционной. Обращает на себя внимание то, что сидеральная система удобрения в сочетании с минеральными удобрениями обеспечивала самое высокое качество картофеля с минимальным содержанием нитратов и оптимальным соотношением нитратов к витамину С (табл. 7).

Таким образом, в условиях Полесской зоны альтернативные системы удобрения целесообразно внедрять при возделывании картофеля.

**Результаты лизиметрических исследований в аспекте агрохимии и агроэкологии.**

Результаты обобщенных исследований показали, что наиболее интенсивно процесс инфильтрации почвенной влаги, а также миграция соединений почвенного рас-

творя протекают на дерново-подзолистых почвах Украинского и Белорусского Полесья, нечерноземной зоны России и стран Прибалтики [1]. Под пропашными культурами инфильтрация происходит более интенсивно, чем под культурами сплошного сева.

Таблица 7

### Влияние различных систем удобрения на качество клубней картофеля

№ п/п	Вариант опыта	Содержание показателей						
		сухое вещество, %	крахмал, %	белок, %	вита-минС, мг %	нитраты, мг/кг сырого вещества	соотношение NO <sub>3</sub> : витамин С	товарность, %
1	Контроль (без удобрений)	20,7	14,7	1,6	8,9	61	6,9	69
2	Навоз + NPK	22,3	14,6	2,5	12,6	160	12,7	75
3	Сидерат + NPK	22,1	14,6	2,3	11,5	82	7,1	79
4	Биопрoferм + NPK	22,2	15,6	2,4	11,3	101	8,9	79
5	Сидерат + Биопрoferм + NPK	22,3	15,3	2,3	11,7	104	8,8	80

Согласно нашей рабочей гипотезе, выращивание растений на зеленое удобрение в промежуточных посевах, особенно таких, которые интенсивно растут, имеют развитую корневую систему и поглощают из почвы влагу и питательные вещества, а период их интенсивного роста совпадает с периодом интенсивной инфильтрации, должно снижать потери биогенных элементов из почвы и удобрений в силу вертикального стока.

В наших исследованиях, проведенных в условиях лизиметрических опытов, установлено, что потери влаги, лабильного гумуса и биогенных элементов весьма существенны, их необходимо учитывать при балансовых расчетах (табл. 8).

Таблица 8

### Потери биогенных элементов, влаги и лабильного гумуса под картофелем в зависимости от системы удобрения, среднее за 2007–2010 гг.

Вариант	Потери, кг/га						
	влага, % от выпавших осадков	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	гумус лабильный
Без удобрений (контроль)	12,0	28,0	66,4	22,0	3,2	5,0	18,0
Традиционная (навоз + NPK)	28,2	60,2	106,0	28,5	6,6	8,0	34,2
Альтернативная (сидерат + NPK)	10,4	30,0	28,0	24,0	3,0	6,0	16,2
Альтернативная (Биопрoferм + NPK)	20,0	46,0	58,9	30,0	4,2	5,8	29,0
Смешанная (сидерат + Биопрoferм + NPK)	24,5	50,2	45,4	30,8	4,6	6,0	30,4

Сидерально-минеральная система удобрения уменьшала потери влаги относительно традиционной в 2,8 раза, нитратного азота и лабильного гумуса – в 2,0 раза, кальция – в 3 раза.

#### Баланс основных питательных веществ при разных системах удобрения.

Общеизвестно, что агроэкологическими основами рационального использования удобрений следует считать баланс питательных веществ в системе «почва –

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

растение». Наши расчеты показали, что на контроле баланс по азоту составляет -24,5 кг/га при интенсивности 44 %, при разных сочетаниях органических и минеральных удобрений баланс азота всегда положительный, а его интенсивность наиболее высокая по варианту сидерат + NPK – 156 %, наиболее низкая – 115 % – по варианту навоз + NPK. Альтернативная система удобрения Биопроферм + NPK обеспечила баланс азота плюс 30,3 кг/га при его интенсивности 131 % (табл. 9).

Таблица 9

### Баланс основных элементов питания в короткоротационном севообороте с картофелем в зависимости от системы удобрения

№ п/п	Вариант опыта	Баланс азота, кг/га	Интенсивность баланса, %	Баланс фосфора, кг/га	Интенсивность баланса, %	Баланс калия, кг/га	Интенсивность баланса, %
1	Без удобрений (контроль)	-24,5	44	-9,2	59	-44,7	21
2	Навоз + NPK	+17,1	115	+42,2	180	-5,5	96
3	Сидерат + NPK	+40,9	156	+39,9	200	-0,3	100
4	Биопроферм +NPK	+30,3	131	+67,2	244	-33,5	74
5	Сидерат + Биопроферм +NPK	+37,4	130	+72,1	223	-18,0	88

Таким образом, в аспекте баланса азота альтернативные системы удобрения картофеля не уступают классической навозно-минеральной.

В изучаемом севообороте дефицитный баланс фосфора 9,2 кг/га при интенсивности баланса 59 % получен на контроле, по традиционной и альтернативным системам удобрения баланс фосфора в условиях проведения исследований всегда был положительный и составлял 42,2–72,1 кг/га. Соответственно, в севообороте, в котором изучались разные системы удобрения, дефицит фосфора не прослеживался, за исключением контроля.

Исследования показали, что традиционная и альтернативная (сидерат + NPK) системы удобрения обеспечили практически бездефицитный баланс калия при интенсивности баланса 96–100 % и слабдефицитный – по вариантам Биопроферм + NPK, сидерат + Биопроферм + NPK при интенсивности баланса 74–88 %.

Таким образом, при насыщении севооборота картофелем на уровне 25 % и более в целях оптимизации калийного режима целесообразно дозу калийных удобрений  $K_{60}$  в севообороте считать минимальной, в противном случае возможен недобор урожая.

## ВЫВОДЫ

При недостатке навоза и ограниченных ресурсов в земледелии Полесья систему удобрения картофеля целесообразно усовершенствовать на предмет замены навоза промежуточной сидерацией в виде узколистного люпина или компостами многоцелевого назначения (Биопроферм в дозе 10 т/га). Для получения урожая картофеля более 30 т/га на дерново-подзолистых супесчаных почвах рациональна система удобрения сидерат + Биопроферм (10 т/га) + $N_{120}P_{90}K_{120}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бердников, А.М. Зеленое удобрение – биологизация земледелия, урожай / А.М. Бердников. – Чернигов: Элита, 1992. – 191с.
2. Картопля / за ред.: В.В. Кононученка, М.Я. Молоцького. – Біла Церква, 2002. – Т. 1. – 536 с.
3. Безуглий, М.Д. Стратегія техніко-технологічного переоснащення агропромислового виробництва / М.Д. Безуглий, В.В. Адамчук // Вісник аграрної науки. – 2011. – Вып. 11. – С. 5–10.
4. Голубев, Б.А. Лизиметрические исследования в почвоведении и агрохимии / Б.А. Голубев. – М., 1967. – 46 с.
5. Аринушкина, Е.Н. Руководство по химическому анализу почв / Е.Н. Аринушкина. – 2-е изд. – М.: МГУ, 1970. – 487 с.
6. Агрохімічний аналіз: підручник / М.М. Городній [та ін.]; за ред. М.М. Городнього. – К.: Арістей, 2005. – 468 с.
7. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
8. Розрахунок балансу гумусу і поживних речовин у землеробстві України на різних рівнях управління: методичні рекомендації / С.А. Балюк [та ін.]. – Харків, 2011. – 30 с.

### **AGROCHEMICAL AND AGRO-ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE TRADITIONAL AND ALTERNATIVE SYSTEMS OF FERTILIZER OF POTATOES ON SOD-PODZOLIC SOILS OF POLESIE**

L.V. Potapenko, M.A. Krizskaya

#### **Summary**

Based on studies conducted in the stationary field experiment and fixed lysimeter installation given agrochemical and agro-ecological assessment of the traditional (manure + NPK ) and alternative systems of fertilizer ( green manure + NPK and NPK + Bioproferm ) found possible without compromising on the yield and quality of potatoes as well as fertility replacing the traditional system of soil fertilizer alternative.

*Поступила 3 декабря 2012 г.*

УДК 633.853.494:631.84

### **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПОСЕВАХ ОЗИМОГО И ЯРОВОГО РАПСА**

**Л.А. Булавин**

*Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию,  
г. Жодино, Беларусь*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

В последнее время в Беларуси большое внимание уделяется возделыванию озимого и ярового рапса, посевные площади которого под урожай 2012 г. соста-

вили 393 и 70 тыс. га соответственно, в то время как в 1995 г. эти культуры высеивались на площади 48 тыс. га. Получение высоких и стабильных урожаев рапса имеет важное значение, поскольку позволит обеспечить население республики собственным растительным маслом и повысить обеспеченность животноводства белковым концентратом, существенно сократив за счет этого затраты валютных средств на приобретение их за рубежом. Несомненный интерес представляет также применение рапсового масла в качестве биологического дизельного топлива, что дает возможность более рационально использовать дорогостоящие невозобновляемые углеводородные энергоресурсы.

Одним из основных элементов технологии возделывания рапса является применение азотных удобрений [4]. Их роль значительно возрастает на преобладающих в Беларуси дерново-подзолистых почвах, которые характеризуются относительно невысоким естественным плодородием. Поэтому оптимизация уровня азотного питания рапса применительно к конкретным условиям произрастания является весьма актуальным вопросом. В изменившейся в республике экономической ситуации существенно увеличилась стоимость средств интенсификации земледелия, в т.ч. сельскохозяйственной техники и азотных удобрений. Это требует уточнения экономической эффективности их применения в сложившихся условиях хозяйствования.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на среднеоккультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве со следующими агрохимическими показателями: гумус – 1,94–2,01 %;  $pH_{KCl}$  6,0–6,2;  $P_2O_5$  – 141–152 мг/кг;  $K_2O$  – 150–161 мг/кг почвы. Предшественник озимого и ярового рапса – ячмень. Фосфорно-калийные удобрения ( $P_{60}K_{150}$ ) вносили под основную обработку почвы, а азотные – весной в соответствии со схемой опыта в 2 приема: под озимый рапс – в начале активной вегетации растений и в фазу стеблевания, под яровой – перед предпосевной культивацией и в фазу стеблевания. В опытах возделывали сорта озимого рапса Прогресс и ярового рапса Гермес. Технология возделывания этих культур осуществлялась в соответствии с отраслевыми регламентами [1–2], которые предусматривают для получения высокой и стабильной урожайности этой культуры, наряду с оптимизацией всех агроприемов, обязательное проведение мероприятий по защите посевов от вредителей и болезней. С этой целью при проведении исследований для уничтожения сорняков в фазу 1–2 настоящих листьев озимого и ярового рапса использовали гербицид бутизан стар (2,0 л/га). При превышении численности вредителей экономического порога вредоносности посевы обрабатывали инсектицидом децис профи (0,03 л/га). В фазу цветения рапса для защиты от болезней использовали фунгицид прозаро (0,7 л/га), который применяли в виде баковой смеси с микроудобрением эколист монобор (1,0 л/га).

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метеорологические условия в период исследований существенно различались по годам как по температурному режиму, так и по количеству атмосферных осадков и их распределению во время вегетации растений. Гидротермический коэффициент (ГТК), который является условным выражением баланса влаги и

определяет отношение прихода влаги к ее расходу, составляет по среднемноголетним значениям в районе, где проводили исследования, за период май-август 1,54. В 2011 г. этот показатель был равен 1,30, что свидетельствует о недостаточной влагообеспеченности растений. В 2012 г. ГТК составил 1,49, т.е. примерно соответствовал среднемноголетнему уровню.

Установлено, что увеличение доз азотных удобрений с 120 до 200 кг/га д.в. способствовало повышению урожайности маслосемян озимого рапса независимо от складывающихся в период вегетации растений погодных условий. Применение минимальной из изучаемых доз азота обеспечило получение урожайности маслосемян озимого рапса в среднем 22,9 ц/га. При повышении дозы азота до  $N_{200}$  этот показатель составил в среднем 28,1 ц/га, что на 5,2 ц/га (22,7 %) больше (табл. 1).

Таблица 1

### Влияние азотных удобрений на урожайность маслосемян озимого и ярового рапса

Вариант	Озимый рапс			Яровой рапс		
	2011 г.	2012 г.	Среднее	2011 г.	2012 г.	Среднее
$N_{120} P_{60} K_{150}$	20,2	25,5	22,9	25,0	18,9	22,0
$N_{140} P_{60} K_{150}$	22,3	27,1	24,7	25,5	19,3	22,4
$N_{160} P_{60} K_{150}$	24,9	27,8	26,4	27,2	21,1	24,2
$N_{180} P_{60} K_{150}$	25,1	28,4	26,8	27,0	20,9	24,0
$N_{200} P_{60} K_{150}$	26,5	29,7	28,1	26,5	20,6	23,6
$HCP_{05}$	2,5	1,8		2,0	1,7	

При возделывании ярового рапса доза азота  $N_{120}$  обеспечила получение урожайности маслосемян в среднем 22,0 ц/га. Существенное увеличение этого показателя отмечалось лишь при повышении дозы азота до  $N_{160}$ . В этом случае урожайность составила в среднем 24,2 ц/га, что на 2,2 ц/га (10,0 %) больше, чем в варианте с минимальной дозой азота. Дальнейшее повышение уровня азотного питания растений не оказывало в сложившихся условиях положительного влияния на продуктивность ярового рапса.

Для более объективной оценки полученных результатов проведен их экономический анализ. С этой целью, прежде всего, были определены эксплуатационные затраты на выполнение операций по возделыванию озимого и ярового рапса перспективным комплексом отечественных машин (табл. 2). Расчет проводился по методике определения показателей эффективности новой техники, применяемой в РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» [3]. Эксплуатационные затраты, как известно, включают амортизационные отчисления на используемую технику, затраты на ТР, ТО и хранение, заработную плату механизаторов, а также стоимость ГСМ. Установлено, что при технологии возделывания рапса, предусматривающей применение азота в два приема, а также использование гербицидов, инсектицидов, фунгицидов и микроэлементов при урожайности маслосемян 25 ц/га, эксплуатационные затраты составляют 1754,51 тыс. руб./га. В соответствии с расчетами различия в вариантах опыта по эксплуатационным затратам с учетом полученной урожайности колебались в пределах 1726,98–1783,29 тыс. руб./га (табл. 3).

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Таблица 2

### Расчет эксплуатационных затрат на возделывание озимого рапса

Технологическая операция	Состав агрегата	Заработная плата, тыс. руб./га	Амортизация, тыс. руб./га	ТО и ремонты, тыс. руб./га	Топливо и энергия, тыс. руб./га	Всего, тыс. руб./га
Погрузка калийных удобрений	Амкодор–211	0,11	1,43	0,72	0,14	2,40
Транспортировка и внесение калийных удобрений	Беларус 1221 + РУ–7000	61,68	33,88	17,83	7,26	120,65
Погрузка фосфорных удобрений	Амкодор–211	0,18	2,38	1,20	0,23	3,99
Транспортировка и внесение фосфорных удобрений	Беларус 1221 + РУ–7000	2,44	30,49	16,04	7,26	56,23
Вспашка	Беларус 3022 + ППО–8–40К	13,90	111,67	73,82	112,20	311,59
Предпосевная обработка почвы	Беларус 3022 + АКШ–6–03	5,99	10,36	7,41	39,60	63,36
Протравливание семян	УПС–10	0,55	0,68	0,34	0,04	1,61
Транспортировка семян и загрузка сеялок	Беларус 3022 + ПСТБ–6 + ПНШ–1	0,25	0,27	0,18	0,40	1,1
Предпосевная обработка почвы и посев	Беларус 3022 + АПП–6Д	6,58	105,04	61,20	49,50	222,32
Подвоз воды	Беларус 820 + МЖТФ–6	0,30	1,06	0,60	1,19	3,15
Применение гербицидов	Беларус 820 + Мекосан–2500–18	4,11	4,21	2,48	5,28	16,08
Погрузка азотных удобрений	Амкодор–211	0,11	1,43	0,72	0,14	2,40
Транспортировка и внесение азотных удобрений	Беларус 1221 + РУ–7000	61,68	33,88	17,83	7,26	120,65
Подвоз воды	Беларус 820 + МЖТФ–6	0,30	1,06	0,60	1,19	3,15
Применение инсектицидов	Беларус 820 + Мекосан–2500–18	4,11	4,21	2,48	5,28	16,08
Погрузка азотных удобрений	Амкодор–211	0,08	1,05	0,53	0,10	1,76
Транспортировка и внесение азотных удобрений	Беларус 1221 + РУ–7000	45,23	24,85	13,08	5,32	88,48

Технологическая операция	Состав агрегата	Заработная плата, тыс. руб./га	Амортизация, тыс. руб./га	ТО и ремонты, тыс. руб./га	Топливо и энергия, тыс. руб./га	Всего, тыс. руб./га
Подвоз воды	Беларус 820 + МЖТФ-6	0,30	1,06	0,60	1,19	3,15
Применение инсектицидов	Беларус 820 + Мекосан-2500-18	4,11	4,21	2,48	5,28	16,08
Подвоз воды	Беларус 820 + МЖТФ-6	0,30	1,06	0,60	1,19	3,15
Применение фунгицидов и микроэлементов	Беларус 820 + Мекосан-2500-18	4,11	4,21	2,48	5,28	16,08
Прямое комбайнирование с измельчением соломы	КЗС-1218 «Полесье»	25,48	247,68	123,84	53,46	450,46
Транспортировка зерна, 2,5 т/га	МАЗ-555102-225	4,49	8,3	4,2	16,5	33,49
Очистка и сушка зерна, 2,5 т/га	КЗСВ-40	9,8	36,76	18,54	132	197,10
Всего		256,19	671,23	369,89	457,29	1754,51

Таблица 3

**Расчет производственных затрат на возделывание озимого и ярового рапса, тыс. руб./га**

Вариант	Семена	Минеральные удобрения	Пестициды	Эксплуатационные затраты	Производственные затраты
Озимый рапс					
$N_{120} P_{60} K_{150}$	22,72	1416,54	999,38	1735,29	4173,93
$N_{140} P_{60} K_{150}$	22,72	1523,36	999,38	1751,91	4297,37
$N_{160} P_{60} K_{150}$	22,72	1630,18	999,38	1767,60	4419,88
$N_{180} P_{60} K_{150}$	22,72	1737,00	999,38	1771,29	4530,39
$N_{200} P_{60} K_{150}$	22,72	1843,82	999,38	1783,29	4649,21
Яровой рапс					
$N_{120} P_{60} K_{150}$	34,08	1416,54	999,38	1726,98	4176,98
$N_{140} P_{60} K_{150}$	34,08	1523,36	999,38	1730,68	4287,50
$N_{160} P_{60} K_{150}$	34,08	1630,18	999,38	1747,29	4410,93
$N_{180} P_{60} K_{150}$	34,08	1737,00	999,38	1745,44	4515,90
$N_{200} P_{60} K_{150}$	34,08	1843,82	999,38	1741,75	4619,03

Аналогичный подход был использован при расчете производственных затрат на возделывание озимого и ярового рапса. Этот показатель наряду с эксплуатационными затратами включал стоимость семян рапса, применяемых минеральных удобрений, пестицидов и микроэлементов, которая определялась в соответствии с ценами на них, существующими в республике по состоянию на 01.08.2012 г. В соответствии с проведенными расчетами, производственные затраты на возде-

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

ывание озимого рапса изменялись в пределах 4173,93–4649,21 тыс. руб./га, а ярового – 4176,98–4619,03 тыс. руб./га (табл. 3).

Анализ основных показателей экономической эффективности возделывания озимого рапса свидетельствует о том, что в среднем за период исследований при существующих ценах максимальный чистый доход (4061,79 тыс. руб./га) получен при использовании дозы азота  $N_{200}$ . В этом варианте отмечена также наибольшая рентабельность (87,4 %) и наименьшая себестоимость производства маслосемян (165,45 тыс. руб./ц). Расчеты показывают, что за счет повышения уровня азотного питания растений чистый доход увеличился в среднем на 1136,72 тыс. руб./га, т.е. в 1,39 раза. Рентабельность при этом возросла на 17,3 %, а себестоимость маслосемян уменьшилась на 16,82 тыс. руб./ц (табл. 4).

Таблица 4

### Экономическая эффективность применения азотных удобрений на посевах озимого и ярового рапса (среднее за 2011–2012 гг.)

Вариант	Стоимость продукции, тыс. руб./га	Производственные затраты, тыс. руб./га	Чистый доход, тыс. руб./га	Рентабельность, %	Себестоимость, тыс. руб./ц
Озимый рапс					
$N_{120}P_{60}K_{150}$	7099,0	4173,93	2925,07	70,1	182,27
$N_{140}P_{60}K_{150}$	7657,0	4297,37	3359,63	78,2	173,98
$N_{160}P_{60}K_{150}$	8184,0	4419,88	3764,12	85,2	167,42
$N_{180}P_{60}K_{150}$	8308,0	4530,39	3777,61	83,4	169,05
$N_{200}P_{60}K_{150}$	8711,0	4649,21	4061,79	87,4	165,45
Яровой рапс					
$N_{120}P_{60}K_{150}$	6820,0	4176,98	2643,02	63,3	189,86
$N_{140}P_{60}K_{150}$	6944,0	4287,50	2656,50	62,0	191,41
$N_{160}P_{60}K_{150}$	7502,0	4410,93	3091,07	70,1	182,27
$N_{180}P_{60}K_{150}$	7440,0	4515,90	2924,10	64,8	188,16
$N_{200}P_{60}K_{150}$	7316,0	4619,03	2696,97	58,4	195,72

Увеличение всех экономических показателей при возделывании озимого рапса по мере повышения дозы азота до максимальной из изучаемых ( $N_{200}$ ) дает основание считать целесообразным исследовать эффективность использования на посевах этой культуры более высокого уровня азотного питания растений.

При возделывании ярового рапса наибольший чистый доход был получен в варианте, где применяли азот в дозе  $N_{160}$ . В среднем за период исследований этот показатель составил 3091,07 тыс. руб./га при рентабельности 70,1 % и себестоимости производства маслосемян 182,72 тыс. руб./ц. Дальнейшее увеличение дозы азота до  $N_{200}$  снижало чистый доход на 394,1 тыс. руб./га, т.е. в 1,15 раза. Рентабельность в этом случае уменьшилась на 11,7 %, а себестоимость маслосемян увеличилась на 13,45 тыс. руб./ц.

## ВЫВОДЫ

На среднекультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при возделывании озимого рапса с использованием интенсивной защиты растений от

сорняков, вредителей и болезней наибольший экономический эффект обеспечило применение дозы азота  $N_{200}$ . При выращивании в таких условиях ярового рапса наиболее эффективным оказалось применение азота в дозе  $N_{160}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Возделывание озимого рапса на маслосемена // Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. Академия наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию; рук. разр.: Ф.И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В.Г. Гусакова, Ф.И. Привалова. – Минск, 2012. – С. 363–379.

2. Возделывание ярового рапса на маслосемена // Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. Академия наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию; рук. разр.: Ф.И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В.Г. Гусакова, Ф.И. Привалова. – Минск, 2012. – С. 380–395.

3. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей: ТКП 151–2008. – Введ. 17.11.2008. – Минск: Минсельхозпрод, Белорус. машиноиспытательная станция, 2008. – 15 с.

4. Пилюк, Я.Э. Рапс в Беларуси: биология, селекция и технология возделывания / Я.Э. Пилюк. – Минск: Бизнесофсет, 2007. – 240 с.

## ECONOMIC EFFICIENCY OF NITROGEN FERTILIZERS USE ON WINTER AND SPRING RAPE CROPS

L.A. Bulavin

### Summary

The research results of the studies on the effect of increasing doses of nitrogen fertilizers on the yield of winter and spring rape oilseeds are presented in the paper. It has been established, that on middle-cultivated derno-podzolic light loamy soil, the highest economic effect is reached using nitrogen dose of  $N_{200}$  in two doses on winter rape, and  $N_{160}$  in two doses – on spring rape.

*Поступила 28 сентября 2012 г.*

# РЕФЕРАТЫ

## 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.459.23

**Черныш А.Ф., Лихацевич Н.А.** Совершенствование методики количественной оценки дефляции почв // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 8–16

Показана необходимость совершенствования математического описания процесса дефляции вследствие принципиальных трудностей в практическом использовании в условиях Беларуси новейшей эмпирической модели ветровой эрозии почв, разработанной В.М. Гендуговым и Г.П. Глазуновым (Россия, 2007). Представлена новая концепция выдувания почвы воздушным потоком, в которой интенсивность дефляции связана со скоростью воздушного потока не экспоненциальной, а степенной зависимостью. На ее основе разработана «степенная» модель дефляции, в которой вместо эмпирических коэффициентов используются фиксированные скорости воздушного потока.

С использованием экспериментального материала В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова осуществлена проверка адекватности предложенной модели. Установлено, что наиболее тесная связь с опытными точками наблюдается, начиная со скорости ветра, при которой функция интенсивности дефляции принимает форму параболы. Тем самым впервые в математическое описание процесса дефляции введен новый показатель – «начальная квадратичная» скорость воздушного потока, начиная с которой дефляция развивается по параболическому закону.

Табл. 2. Рис. 2. Библиогр. 2.

УДК 631.459.23

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

В статье представлены результаты анализа экспериментального материала по выдуванию почвы, опубликованного в монографии В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова (2007). Расчеты выполнены с использованием предложенной нами «степенной» модели дефляции. Вместо трудноопределимых и не связанных между собой эмпирических коэффициентов, присутствующих в «нуль-модели выдувания почвы» В.М. Гендугова и Г.П. Глазунова, в основе предложенной нами модели лежат три параметра, обладающие четким физическим смыслом – «пороговая», «начальная квадратичная» и «критическая» скорости воздушного потока. Показано, что «степенная» модель охватывает всю область дефляционно опасных скоростей ветра. Для расчета интенсивности дефляции предложены две зависимости, одна из которых действует в диапазоне скоростей ветра от пороговой до критической, другая – в диапазоне скоростей, превышающих критическую.

Табл. 3. Рис. 5. Библиогр. 2.

УДК 631.459.23

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

Применение теории размерностей и подобия физических величин к параметрам, представляющим процесс выдувания почвы позволило получить две комплексные характеристики процесса дефляции в безразмерной форме – дефляционный потенциал ветра и относительный показатель дефлируемости почвенной поверхности. С использованием полученных комплексных характеристик можно количественно оценивать и сравнивать между собой противодефляционную устойчивость любых почвенных поверхностей и степень воздействия на них воздушного потока, а также упростить расчет интенсивности дефляции при любой скорости ветра.

Рис. Библиогр. 3.

УДК 631.6.02

**Цытрон Г.С., Матыченкова О.В.** Почва как объект охраны природных комплексов Беларуси // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 34–40.

В статье рассматривается компонентный состав почвенного покрова особо охраняемых природных территорий республики, отмечается недостаточная его репрезентативность и обосновывается необходимость создания Красной книги почв Беларуси с целью сохранения эталонных вариантов естественных почв.

Рис. 3. Библиогр. 28.

УДК 631.417

**Клебанович Н.В., Домась А.С.** Особенности состава гумуса дерново-подзолистых заболоченных почв с иллювиально-гумусовым горизонтом на территории Брестского Полесья // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 41–48.

Изучение фракционного состава дерново-подзолистых заболоченных почв с иллювиально-гумусовым горизонтом показало, что имеется существенная дифференциация гумусового состояния почв по профилю. При значительном общем содержании гумусовых веществ – до 10 % и более – гуминовые кислоты концентрируются в большей степени в гумусовом горизонте, тогда как фульвокислоты активно мигрируют в иллювиально-гумусовый горизонт, формируя четкие морфологические различия в почвенном профиле.

Табл. 1. Рис. 1. Библиогр. 9.

УДК 631.4

**Матыченков Д.В., Цытрон Г.С., Северцов В.В.** Информационно-логические схемы банка данных программно-информационного комплекса по оптимизации использования почвенных ресурсов Республики Беларусь // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 49–57.

В статье представлена структура банка данных программно-информационного комплекса по оптимизации использования почвенных ресурсов Республики Беларусь. Приведены информационно-логические схемы, отражающие источники данных, а также алгоритмы взаимодействия Базы данных и Базы знаний в процессе присвоения почвенному контуру определенной степени пригодности для конкретной сельскохозяйственной культуры.

Рис. 5. Библиогр. 11.

УДК 631.582:631.445.2

**Устинова А.М., Касьянчик С.А., Касьяненко И.И., Клус А.А.** Эффективность применения дифференцированных почвозащитных севооборотов на дерново-подзолистых эродированных почвах, сформированных на моренных суглинках // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2 (49). – С. 58–64.

В статье приведены результаты эколого-экономической оценки применения дифференцированных почвозащитных севооборотов на эродированных дерново-подзолистых почвах, развивающихся на моренных суглинках, в условиях Белорусского Поозерья. Установлено, что самый высокий эффект получен в кормовом севообороте с органо-минеральной системой удобрения – 150–162 \$/га чистого дохода при уровне рентабельности 47–54 %. Насыщение севооборота зерновыми культурами привело к снижению показателей как экологической, так и экономической эффективности по сравнению с кормовым севооборотом.

Табл. 4. Библиогр. 6.

УДК 631.41

**Бамбалов Н.Н.** Взаимодействие известковых удобрений с органическим веществом торфяных почв // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 65–74.

При известковании торфяных почв, развивающихся на слаборазложившемся торфе, происходит увеличение степени разложения, а при известковании почв, сформированных на среднеразложившемся торфе, степень разложения не увеличивается. У почв, сформированных на слаборазложившемся торфе, в результате известкования возрастает содержание общего азота, гуминовых и фульвокислот, снижается отношение C:N, содержание легко- и трудногидролизующихся веществ, а у почв на среднеразложившемся торфе элементный и групповой составы органического вещества практически не изменяются.

При внесении известковых удобрений в торфяные почвы катионы кальция и магния взаимодействуют с карбоксильными группами, расположенными у ароматических ядер, принадлежащих разным молекулам гуминовых кислот. В результате такого взаимодействия в торфяных почвах образуются новые органо-минеральные соединения с повышенным электронным парамагнетизмом.

Табл. 4. Рис. 2. Библиогр. 16.

УДК 630.114.68:630.176.321/322

**Антоник М.И.** Особенности почвенных условий дубрав Беловежской пуци // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 74–81.

В статье представлены результаты исследования дерново-подзолистых и бурых лесных почв дубрав Беловежской пуши по гранулометрическому составу, водно-физическим, микробиологическим, химическим и биохимическим свойствам.

Рис. 1. Библиогр. 11.

## 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.8.0223:633.112.9:631.445.2

**Серая Т.М., Богатырева Е.Н., Бирюкова О.М., Мезенцева Е.Г.** Агроэкономическая эффективность органических удобрений при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия – 2012. – № 2(49). – С.82–95.

Изучена сравнительная эффективность применения новых и традиционных компостов при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Наиболее высокая урожайность зерна озимой пшеницы (73,0–74,0 ц/га) с наилучшими показателями качества и рентабельности применения удобрений 52–58% получена в вариантах с органоминеральной системой удобрения.

Табл. 9. Рис. 1. Библиогр. 12.

УДК 631.86:633.853.494:631.445.2

**Бирюкова О.М.** Влияние последействия органических удобрений на урожайность ярового рапса на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 96–102.

На дерново-подзолистой супесчаной почве изучено влияние последействия (1 год) различных видов и доз органических удобрений на продуктивность семян ярового рапса. Максимальная урожайность семян рапса получена в вариантах с органоминеральной системой удобрения 22,5–23,7 ц/га. Аналогичную урожайность (22,2 ц/га) обеспечило внесение под рапс органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, в дозе 40 т/га. За счет последействия подстилочного навоза КРС и компостов получено 4,3–5,6 ц/га семян рапса. Чистый доход от применения удобрений составил 1371,8–2113,0 тыс. руб./га при рентабельности 73–105%. Использование органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, было высокорентабельным (119–189%) приемом.

Табл. 2. Библиогр. 7.

УДК 633.853.494:631.8:631.445.24

**Лапа В.В., Лопух М.С., Кулеш О.Г., Ломонос М.М., Шпока Е.И.** Продуктивность ярового рапса и вынос элементов питания в зависимости от системы удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 102–109.

Изучено влияние различных систем удобрения при возделывании ярового рапса на дерново–подзолистой легкосуглинистой почве. Установлено, что применение минеральных удобрений в дозах N90P60K120 способствовало формированию урожайности семян ярового рапса 28,2 ц/га. Удельный вынос основных элементов питания с 1 т основной и соответствующего количества побочной продукции при данной системе удобрения составил: азота – 44,4 кг, фосфора – 21,5, калия – 54,9, кальция – 19,1, магния – 7,6 кг.

В исследованиях с яровым рапсом 2010–2011 гг. установлено, что в зависимости от системы применения минеральных удобрений показатели удельного выноса азота и фосфора ниже нормативного, используемого в настоящее время в агрохимической практике. Удельный вынос калия (кроме варианта без удобрений) выше нормативного, в варианте с внесением N90+30P60K120 – в два раза. Удельный вынос кальция превысил нормативный в 2,7–4,1 раза, магния – в 3,3–4,1 раза.

Табл. 3. Рис. 1. Библиогр. 5.

УДК 631.8.022.3:633.853.494

**Лапа В.В., Ивахненко Н.Н., Лопух М.С., Кулеш О.Г., Грачева А.А., Шумак С.М., Ломонос М.М.**

Качество семян ярового рапса в зависимости от систем удобрения // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 109–212.

В статье приводятся показатели качества семян ярового рапса при возделывании на дерново–подзолистых легкосуглинистой и супесчаной почвах в зависимости от систем удобрения. Установлено, что масса 1000 семян, содержание белка и масла в семенах ярового рапса не зависели от плодородия и гранулометрического состава почв. Применение разных доз и форм минеральных удобрений не оказало существенного влияния на содержание глюкозинолатов и эруковой кислоты. Семена ярового рапса по содержанию эруковой кислоты и глюкозинолатов отвечали 1 классу, т.к. оно было менее 2 %.

Табл. 7. Библиогр. 9.

УДК 631.445.2:631.83:633.16

**Путятин Ю.В., Богдевич И.М., Таврыкина О.М., Довнар В.А., Третьяков Е.С., Маркевич Д.В.** Влияние агрохимических свойств дерново–подзолистой супесчаной почвы и калийных удобрений на урожайность и качество зерна ячменя // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 121–127.

В результате проведения стационарного опыта на дерново–подзолистой связно–супесчаной почве с ячменем установлено, что максимальный урожай и сбор белка с единицы площади был сформирован в варианте с внесением N60P60K180 на фоне  $pH_{(KCl)}$  –  $pH$  6,9 и содержанием обменных Са – 715 и Mg – 184 мг/кг при их эквивалентном соотношении – 2,7. Эффективность применения полного минерального удобрения возрастала с увеличением показателя  $pH$ . Окупаемость минеральных удобрений прибавкой зерна с увеличением дозы калия снижалась незначительно. На почвах с реакцией близкой к нейтральной ( $pH_{(KCl)}$  – 6,5–6,9) рентабельность внесения минеральных удобрений была выше, чем на почве с

$pH_{\text{KCl}}$  5,5 и содержанием обменных Са – 548 и Mg – 135 мг/кг. Существенное повышение содержания критических и незаменимых аминокислот в зерне ячменя наблюдалось при нейтрализации кислой почвы до уровня  $pH$  6,9 и содержании обменных Са 715 мг/кг, Mg 184 мг/кг и их соотношения 2,7. Прирост аминокислот в зерне на известкованных фонах обеспечивался в большей степени за счет увеличения массы треонина, лейцина и фенилаланина.

Табл. 4. Библиогр. 6.

УДК 631.81.095.337:633.16:631.445.2

**Шпока Е.И.** Влияние комплексного применения макро- и микроудобрений на урожайность и вынос элементов питания ячменем при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 128–134.

Изучено влияние комплексного применения макро- и микроудобрений на урожайность и вынос элементов питания ячменем при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве. Установлено положительное влияние оптимальных доз минеральных удобрений N70+40P60K150 в сочетании с медными и марганцевыми микроудобрениями на урожайность зерна. Отмечена тенденция к снижению урожайности зерна ячменя при увеличении дозы кобальта, вносимого в почву.

Табл. 3. Библиогр. 10.

УДК 631.824:631.445.2:633.15

**Таврыкина О.М., Богдевич И.М., Путятин Ю.В., Третьяков Е.С., Довнар В.А., Маркевич Д.В.**

Влияние обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием на урожайность и качество зерна кукурузы // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 135–143.

Приводятся 2-летние данные полевого опыта с кукурузой на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с содержанием обменного магния от низкого  $50 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$  до высокого  $265 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$  и соотношениями Са:Mg и К:Mg 2,2–16,9:1 и 0,12–1,46:1 соответственно. Установлено, что наибольшая урожайность зерна кукурузы  $10,8\text{--}14,1 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  на фоне внесения минеральных удобрений в дозе  $N_{110+30} P_{60} K_{120}$  получена в пределах соотношения Са:Mg 5,1–5,7 при содержании обменного Mg  $145\text{--}160 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

Повышение содержания обменного магния в почве в диапазоне 50–265 мг Mg/кг почвы способствовало увеличению его содержания в листьях кукурузы в 1,7 раза на ранней стадии развития, в фазе 6–8 листьев. Установлено также снижение содержания конкурирующих катионов кальция и калия в растениях кукурузы по мере повышения содержания обменного магния в почве.

Табл. 1. Рис. 5. Библиогр. 16.

УДК 633.491:631.8.022.3:631.559:631.445.24

**Персикова Т.Ф., Терешонкова А.В.** Влияние комплексного удобрения, регуляторов роста и микроэлементов на урожайность и качество клубней картофеля

на дерново–подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – №2 (49). – С. 143–149.

Проблема по обеспечению картофелеперерабатывающих предприятий качественным техническим сырьем является актуальной, и возникает необходимость в разработке технологии выращивания картофеля для переработки на картофелепродукты.

В результате проведенных исследований получены данные о влиянии жидкого комплексного удобрения, регуляторов роста и микроэлементов на фоне органо–минеральной системы удобрения на урожайность и качество клубней картофеля.

Установлено, что наиболее высокая урожайность и качество клубней картофеля получены на фоне органо–минеральной системы удобрения с дополнительными некорневыми подкормками по вегетирующим растениям жидким комплексным удобрением.

Табл. 1. Библиогр. 15.

УДК 635.342:631.82:631.559:631.51(476)

**Аксенюк А.Р., Забара Ю.М., Якимович А.В., Мойсевич Н.В.** Влияние комплексных минеральных удобрений на урожайность и качество капусты белокочанной ранней при разных способах посадки // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 150–159.

В статье представлены результаты исследований по изучению влияния комплексных минеральных удобрений со сбалансированным соотношением элементов питания на морфометрические показатели, продуктивность и качество урожая капусты белокочанной ранней группы зрелости на различных профилях поверхности почвы.

Табл. 4. Рис. 3. Библиогр. 18.

УДК 631.81.095.337:633:631.445.2

**Рак М.В., Титова С.А., Николаева Т.Г., Пукалова Е.Н.** Эффективность микроудобрений МикроСил при возделывании зерновых, зернобобовых и пропашных культур на дерново-подзолистых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 159–165.

В полевых опытах на дерново-подзолистых почвах с зерновыми, зернобобовыми и пропашными культурами изучена эффективность различных марок и доз жидких микроудобрений с экосилом МикроСил.

Табл. 7. Библиогр. 8.

УДК 633.112.9:631.81.095.337

**Привалов Ф.И.** Применение микроудобрений для предпосевной инкрустации семян озимых зерновых культур // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 166–170.

В статье представлены результаты изучения моно- и комплексных микроудобрений, включенных в защитно-стимулирующие составы. Выявлено, что предпо-

читительнее использование комплексных соединений, что приводит к повышению качества посевного материала и росту урожайности озимых зерновых культур.

Табл. 4. Библиогр. 4.

УДК 631.33:631.81.095.337

**Кутовая А.Н.** Содержание микроэлементов в сельскохозяйственных культурах в зависимости от применения макро- и микроэлементов // Почвоведение и агрохимия. – № 2(49). – С. 171–176.

Приведены результаты исследования изменений агрохимических параметров чернозема оподзоленного под влиянием многолетнего внесения удобрений и содержание микроэлементов в зерне озимой пшеницы и зеленой массе кукурузы в зависимости от применения макро- и микроудобрений.

Табл.1. Рис. 3. Библиогр. 15.

УДК 633.88:582.975:631.81.095.337

**Милоста Г.М.** Влияние микроудобрений на динамику накопления биомассы валерианы лекарственной // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 177–187.

В исследованиях, проведенных на дерново-подзолистой супесчаной почве, подстилаемой моренным суглинком, установлено, что применение на фоне органических и минеральных удобрений (60 т/га навоза +N<sub>135</sub> P<sub>60</sub> K<sub>120</sub>) борных, цинковых, медных микроудобрений оказывает существенное влияние на формирование биомассы валерианы лекарственной. Микроэлементы по эффективности их влияния на формирование биомассы корней и корневищ валерианы как при почвенном, так и при некорневом внесении можно расположить в следующем порядке убывания: Zn > B > Cu.

Наибольшей интенсивностью накопления общей и подземной биомассы характеризуются варианты с применением некорневых подкормок цинком (Фон + Zn<sub>(0,15+0,15+0,15)</sub>) и особенно совместным применением цинка с бором (Фон + B<sub>(0,1+0,1+0,1)</sub> Zn<sub>(0,1+0,1+0,1)</sub>).

Табл. 4. Рис. 2. Библиогр. 7.

УДК 631.461.5:631.559:633.22

**Лапа В.В., Михайловская Н.А., Ломонос М.М., Лопух М.С., Василевская О.В., Погирницкая Т.В.** Влияние систем удобрения на ферментативную активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 187–200.

На основании данных биохимической диагностики, активности минерализации органических веществ (по гидролитическим ферментам), а также по агрохимическим свойствам и продуктивности севооборота установлено, что на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве наиболее обоснована система удобрения с дробным внесением азотных удобрений N<sub>54</sub> и N<sub>72</sub> на фонах P<sub>60</sub> K<sub>132</sub>, обеспечиваю-

щая высокую продуктивность при сберегающем уровне минерализации органических веществ.

Табл. 6. Рис. 2. Библиогр. 23.

УДК 633.18:631.452

**Гуторова О.А., Шеуджен А.Х.** Динамика агрохимических свойств почв при возделывании риса // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 200–206.

На стационарном участке бессменного возделывания риса (с 1937 г.) в течение вегетации растений рассмотрено изменение реакции почвенной среды, суммы восстановленных продуктов, подвижности элементов питания и водорастворимых органических веществ. Установлено, что внесение минеральных и зеленых удобрений, а также их совместное использование способствовали развитию восстановительных процессов и благоприятно влияли на пищевой и гумусовый режимы почвы.

Рис. 5. Библиогр. 9.

УДК 633.2/.3:631.8:631.559:631.445.24

**Сороко В.И., Пироговская Г.В.** Влияние системы удобрения на накопление корневых и пожнивных остатков многолетними травосмесями на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2 (49). – С.206–215.

Целью представленной работы является изучение влияния систем удобрения на накопление органического вещества корневыми и пожнивными остатками различных видов многолетних травосмесей. Выявлена тенденция увеличения накопления корневых остатков под влиянием применяемых удобрений. Приведен пример расчета массы остатков по урожаю сухого вещества и перевода их в соответствующее количество навоза.

Табл. 3. Библиогр. 11.

УДК 635.713:[543.9+631.559]

**Сачивко Т.В.** Содержание основных элементов питания и их вынос различными сортообразцами базилика // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 215–222.

В исследованиях на окультуренной дерново-подзолистой среднесуглинистой почве урожайность зеленой массы различных сортообразцов базилика в фазу технической спелости в зависимости от видовых особенностей составила 51,3–431,0 ц/га при сборе сухого вещества 5,4–49,6 ц/га.

Содержание общего азота в зеленой массе различных сортообразцов базилика в фазу технологической спелости в среднем составило 2,53 %, фосфора – 1,74 %, калия – 4,87 %, кальция – 3,63 %, магния – 0,94 % в сухом веществе. Нормативный вынос основных элементов питания с 1 т товарной продукции оказался 2,8 кг (N), 2,0 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 5,5 (K<sub>2</sub>O), 4,1 (CaO) и 1,1 кг (MgO).

Табл. 2. Библиогр. 11.

УДК 633.877:632.15

**Пироговская Г.В., Хмелевский С.С.** Содержание и соотношения элементов питания в листьях и хвое зеленых насаждений (на примере г. Минска) // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 222–232.

В статье представлены данные по содержанию основных элементов минерального питания и их соотношений в листьях древесных пород, наиболее часто используемых в озеленении г. Минска. Выявлены нарушения в листьях ослабленных деревьев (каштан конский, липа мелколистная, клен остролистный и туя западная) соотношений элементов питания (N/P, P/Ca, Ca/P и Na/K) без существенных изменений соотношений K/(Ca+Mg), (Ca+ Mg)/ K.

Табл. 8. Библиогр. 19.

УДК 631.82:631.452:631.41:631.445.4(470.62)

**Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Исупова Ю.А.** Плодородие и физико-химические свойства чернозема выщелоченного Западного Предкавказья при длительном применении минеральных удобрений // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 233–239.

В условиях стационарного опыта на черноземе выщелоченном изучено влияние длительного (2000–2010 гг.) применения минеральных удобрений на физико-химические и агрохимические свойства почвы. За время опыта на неудобренном варианте увеличилась кислотность почвы. Минеральные удобрения оказали дополнительное подкисляющее действие на почву. Их внесение не обеспечивало воспроизводство гумуса в почве, но повышало содержание в ней минеральных форм азота и подвижных соединений фосфора и калия.

Табл. 2. Рис. 3. Библиогр. 7.

УДК 631.82/6

**Лукашенко Н.К., Головатый С.Е., Сидорейко Н.В.** Пространственное распределение минерального азота, подвижного фосфора и калия в почвах территорий, прилегающих к животноводческим комплексам // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 239–249.

В результате почвенно-экологического обследования сельскохозяйственных земель, прилегающих к животноводческим комплексам ЗАО «1 Мая» и ОАО «Лань–Несвиж» Несвижского района Минской области, установлено пространственное распределение минерального азота, подвижного фосфора и калия в почвах.

Основными загрязнителями почв сельскохозяйственных земель этих зон являются подвижный фосфор и калий, которые обнаруживаются в почвах в количествах, превышающих оптимальные значения. Установлено, что почвы с повышенным содержанием подвижного фосфора в зоне влияния животноводческих комплексов занимают 58–60 % от площади обследованных земель, с высоким и очень высоким содержанием подвижного калия – 58–84 %, с очень низким и низким содержанием минерального азота – 70–82 %.

Табл. 2. Картосхема 4. Библиогр. 12.

УДК 631.445

**Сафроновская Г.М., Пироговская Г.В., Царук И.А.** Агрохимические показатели деградированных торфяных почв по данным крупномасштабного агрохимического обследования // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 249–260.

По результатам 11 тура крупномасштабного агрохимического обследования сельскохозяйственных земель установлено, что количество деградированных торфяников по сравнению с предшествующим периодом в Брестской области возросло до 79,4 тыс. га (на 16,4 тыс. га), в Гомельской – до 63,2 тыс. га (на 5,2 тыс. га). В общем объеме деградированных торфяников Брестской области на долю почв с содержанием органического вещества менее 20 % приходится 65 %, в Гомельской – 84,5 %. По уровням кислотности деградированные торфяники распределяются следующим образом: с рН 5,01–6,0–62–66 % от общей площади, с рН менее 5,01–19–20 %, с рН более 6,01–15–19 %.

Табл. 4. Библиогр. 11.

УДК 631.81:631.631.442

**Доценко А.В.** Баланс питательных веществ и изменения агрохимических свойств чернозема типичного Левобережной Лесостепи Украины при различных системах удобрения // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 260–267.

Рассчитан баланс питательных веществ на черноземе типичном Левобережной Лесостепи Украины при различных системах удобрения. Рассмотрены количественные изменения агрохимических показателей почвы при различных уровнях нагрузки внесения минеральных удобрений.

Табл. 2. Библиогр. 8.

УДК 631.8:633.491:631.445.2

**Потапенко Л.В., Кризская М.А.** Агрохимическая и агроэкологическая оценки системы удобрения картофеля на дерново-подзолистых почвах Полесья // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – №2 (49). – С. 267–276.

На основании исследований, проведенных в стационарном полевом опыте и стационарной лизиметрической установке, дана агрохимическая и агроэкологическая оценки традиционной (навоз + NPK) и альтернативных систем удобрения (сидерат + NPK и Биопроферм + NPK), установлена возможность без ущерба для урожайности и качества картофеля, а также плодородия почвы замены традиционной системы удобрения альтернативными.

Табл. 9. Библиогр. 8.

УДК 633.853.494:631.84

**Булавин Л.А.** Экономическая эффективность азотных удобрений на посевах озимого и ярового рапса // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 276–282.

В статье представлены результаты исследований по изучению влияния возрастающих доз азотных удобрений на урожайность маслосемян озимого и ярового рапса. Установлено, что на среднекультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве наибольший экономический эффект при возделывании озимого рапса обеспечило применение в два приема дозы азота  $N_{200}$ , а ярового рапса –  $N_{160}$ .

Табл. 4. Библиогр. 4.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия» согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 4.07.2005 № 101 включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований. Направляемые статьи должны являться оригинальными материалами, не опубликованными ранее в других печатных изданиях.

Текст научной статьи должен быть подготовлен в соответствии с требованиями главы 5 Инструкции по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации (утверждена Постановлением ВАК Республики Беларусь от 22.02.2006 № 2) и иметь следующую структуру: индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК); введение; основную часть (разделы – методика и объекты исследования, результаты исследований и их обсуждение), выводы, список цитированных источников. К статье прилагается аннотация на русском и английском языках (с переводом названия статьи, фамилий авторов). Статья должна быть подписана всеми авторами.

Объем статьи не должен превышать 10 страниц формата А 4, но не менее 14 тыс. печатных знаков. Все материалы представляются распечатанными на белой бумаге и на дискете 3,5S.

Электронный вариант должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word шрифтом Arial (размер кегля – 10 пт, через одинарный интервал, абзац – 0,75). Рисунки даются в формате TIF.JPG 300–600 точек на дюйм. Текст на рисунках также должен быть набран гарнитурой Arial, размер кегля соизмерим с размером рисунка. Подписи к рисункам и схемам делаются отдельно.

Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ссылки нумеруются согласно порядку цитирования в тексте. Порядковые номера ссылок по тексту должны быть написаны внутри квадратных скобок (например [1], [2]). Ссылка на неопубликованные работы не допускается.

Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

Размерность всех величин, используемых в статьях, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ).

Поступившая статья направляется на рецензию, затем визируется членом редколлегии и рассматривается на заседании редколлегии. Возвращение статьи автору на доработку не означает, что она принята к печати. Статьи не по профилю журнала возвращаются авторам после заключения редколлегии.

Редакция оставляет за собой право вносить в текст редакционную правку.

Ответственная за выпуск *Н.Ю. Жабровская*  
Редактор *В.А. Долгая*  
Компьютерная верстка *И.В. Волчецкой*

Подписано в печать 20.12.2012. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.  
Усл. п.л. 23,48. Уч.-изд. л. 17,55. Тираж 150 экз. Заказ 604.

Отпечатано в Республиканском унитарном предприятии  
«Информационно-вычислительный центр Министерства финансов  
Республики Беларусь»  
ЛП № 02330/0494120 от 11.03.2009.  
Ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск

